LECCIONES

DE

FÍSICA ELEMENTAL Y EXPERIMENTAL

CORRESPONDIENTES Á LA SEGUNDA ENSEÑANZA

POR EL

DOCTOR EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS

DON LUÍS MORÓN Y LIMINIANA

ALUMNO PENSIONADO POR EL ESTADO EN LA ESCUELA NORMAL DE FILOSOFÍA

AÑO 1846

EN VIRTUD DE OPOSICIÓN

Y CATEDRÁTICO NUMERARIO DE DICHA ASIGNATURA EN EL INSTITUTO

DE

GRANADA

1885

Imp. de D. José López Guevara

San Jerónimo, 29

ADVERTENCIA.

Las circunstancias desfavorables que, por más de un concepto, me han rodeado hace algunos años, impidieron hacer á su debido tiempo segunda edición de las lecciones que, con el título de *El Estudiante de Física y nociones de Química,* publiqué en 1868. Hoy, sin embargo de no hallarme en mejores condiciones por el delicado estado de mi salud, me aventuro á ejecutarla en la forma que lo hago y *respecto de la cual creo conveniente no entrar en discusiones,* sin más objeto que el de facilitar el estudio y aprovechamiento á mis discípulo, tal vez á nadie más, y muy lejos de esperar honra ni provecho. No honra, porque si fué siempre difícil problema la redacción de compendios, hoy lo es mucho más tratándose de Física, por el estado de transición en que, como las demás ciencias de la Naturaleza, se halla; ni tampoco lucro, pues es fácil comprender que no es posible como se lograba cuando sólo se podía seguir uno de los tres textos señalados por la superioridad.

El Autor.

FÍSICA

PARTE PRIMERA

PRELIMINARES.

LECCIÓN I.

Ideas generales acerca del tiempo, espacio y materia ó sustancia.— Concepto de las voces causa, fenómeno, cuerpo y extensión; de las expresiones fuerza, agentes naturales, naturaleza, observación, experiencia, leyes físicas y teoría.

1.ª *Las voces* tiempo, espacio y materia ó sustancia, á que se refiere cuanto comprende el estudio de la naturaleza, son indefinibles, por no ser posible el conocimiento completo de las entidades que expresan; por cuya razón en cualquier proposición, ley ó definición en que suenen, se considerarán como ya definidas, por el conocimiento intuitivo que de las mismas tenemos.

El tiempo, espacio y materia ó sustancia; los cuerpos, movimiento y fuerza, son voces que representan ideas tan sencillas como grandes las entidades á que se refieren, por cuya razón y la de no poder ser conocidas en sí cada cual aisladamente, es imposible definirlas de modo alguno. Todos tenemos de ellas una idea intuitiva; pero el espacio, no obstante poderlo considerar infinito en absoluto, sin cuerpos y sin la luz sería la nada; la materia sin su agrupación en los cuerpos no sería perceptible; sin cuerpos, agrupación de la materia, no habría idea de movimiento, y sin éste no podría apreciarse el tiempo ni haber idea de fuerza. Cuanto percibimos, cuanto pensamos, cuantas ideas adquirimos ó juicios formamos, por más abstracciones que podamos hacer, todo se referirá á una ó más de dichas entidades, si no á todas á la vez.

En efecto, si se nombra el espacio es por algo de los cuerpos, y al hablar de éstos no es posible dejar de pensar en su materia, fuerza que la agrupara, su movimiento y tiempo empleado; si la materia, hay que considerar los cuerpos, la fuerza que los formó, su movimiento, tiempo de su formación y espacio en que ésta se efectuó; si el movimiento, y se considera por tanto los cuerpos, se nos presenta inmediatamente la idea de su materia, la de una fuerza motriz, espacio en que se ejecuta y tiempo de su duración; si la fuerza, no puede menos de surgir la idea de movimiento, cuerpos, y, por consiguiente, materia, espacio y tiempo; finalmente, si suena la voz tiempo, se refiere á un hecho ó acción, ó á un pensamiento, esto es, siempre á un movimiento de que inmediatamente se origina la consideración de los cuerpos y su materia, espacio en que se hallan, su movimiento y la necesidad de una fuerza motriz.

Dichas voces, por más que no se puedan conocer en sí mismas las entidades que expresan, hay que considerarlas como definidas y basar en ellas cuantas ideas pueda el hombre concebir con ese conocimiento intuitivo que de ellas adquiere durante su existencia y el ejercicio de sus facultades intelectuales: resultado final y único á que realmente conducen cuantas consideraciones verdaderamente filosóficas pueda el hombre hacer.

2.ª *Causa física* es el sér ó principio que produce cualquier fenómeno. Las causas pueden ser inmediatas y mediatas: causa inmediata de un fenómeno es la que lo produce por sí sola, sin ninguna otra acción ó fenómeno intermedio; y causa mediata es la que no lo produce por sí ó directamente, sino que es el origen ó causa inmediata, que á su vez, ó por el intermedio de otro ú otros de él dependientes, produce el fenómeno que se considera. Por ejemplo: el instrumento cortante que divide á un cuerpo es la causa inmediata de tal división, y la fuerza de la mano que mueve el instrumento para producir tal hecho es su causa mediata.

3.ª *Fenómeno* es todo hecho, modificación ó trasformación que se produce en los cuerpos ó su materia: se admite como axioma que no hay efecto sin causa. *La voz fenómeno* se suele usar en el lenguaje vulgar para significar objetos ó hechos raros, ó producidos de un modo poco conforme, y hasta opuesto, á las leyes naturales.

4.ª *Cuerpo físico* es todo sér, que formado por una agrupación de materia, puede impresionar los sentidos, especialmente

el del tacto, esto es, todo lo que puede tocar ó ser tocado, por cuya razón se suele decir, que cuerpo físico es toda extensión dotada de impenetrabilidad.

5.ª *Extensión* es una parte cualquiera del espacio. La idea de extensión es una idea abstracta originada por la existencia de los cuerpos físicos en el espacio, haciendo abstracción de su materia.

6.ª *Fuerza* es toda causa capaz de producir, modificar, impedir ó destruir un movimiento.

7.ª *Agentes físicos*, agentes naturales ó fuerzas naturales son las causas invisibles que sólo se conocen por los efectos que producen en los cuerpos ó en su materia, por cuya razón no se conocen en su esencia.

Los agentes físicos ó fuerzas naturales, considerados hasta hoy, se denominaron atracción, calórico, lumínico, magnetismo y electricidad, habiendo sido apellidados los cuatro últimos flúidos imponderados, porque si bien se perciben partiendo de los cuerpos y actuando siempre en ellos, parecen seres distintos é independientes de su materia y que no influyen en su peso: también se llamaron incoercibles, para significar que no era posible retenerlos en vasos cerrados como á los líquidos y gases. Por otra parte, la atracción se consideró como inherente á la materia y por tanto cual propiedad de ella y de los cuerpos. También se ha considerado por algunos como otro agente natural, la fuerza ó espíritu vital, causa y sostén de la vida; pero como los fenómenos de ésta y las funciones de los cuerpos vivos, ó mejor, las llamadas fuerzas vitales no se engendran ni desarrollan sino por la acción y concurso de los mencionados agentes naturales, en Física no se consideran tales fuerzas y se prescinde del estudio de los fenómenos de los cuerpos vivos: estudio que hace la Fisiología fundada en los conocimientos de la Mecánica, Física y Química, de cuyas leyes son consecuencias más ó menos directas todas las de la vida vegetal y animal.

En la actualidad, según las teorías modernas, resultado de los grandes adelantos y descubrimientos en todas las ciencias, se admite un solo principio como causa de todos los fenómenos, consistente en una sola materia dotada de un contínuo movimiento ó energía, de cuyas combinaciones y trasformaciones dichos agentes, ó toda fuerza y sus efectos, no son más que manifestaciones de aspecto distinto. Sin embargo, por más que todos los fenómenos se puedan concebir referidos á un solo principio, no estando enteramente completa la síntesis de la ciencia á que conducen las nuevas hipótesis, no es dable trasformar de pronto su estructura y tecnicismo, por cuya razón es casi imprescindible el emplear los expresados nombres calórico, lumínico, etc., y por

lo mismo se hace necesario conservar la marcha y forma seguida hasta hoy en la descripción y explicación de los fenómenos, sobre todo en la enseñanza elemental, sin perjuicio de las oportunas indicaciones y aclaraciones que convenga ir haciendo, en los lugares correspondientes de la asignatura, en conformidad á las nuevas teorías.

8.ª *Naturaleza* ó Universo es el conjunto que constituyen con el espacio, la materia y cuerpos que en él existen, los fenómenos que en él se observan y los agentes ó fuerzas naturales. La voz naturaleza, además de su acepción propia y de otras muchas, se suele usar frecuentemente en las distintas acepciones siguientes: 1.ª Como equivalente de la palabra Dios ó Creador, tomando la obra por el autor; 2.ª Como expresión colectiva, aunque indeterminada, de todo lo relativo á un sér, á sus propiedades conocidas y hasta las ocultas que pueda poseer, y 3.ª Como expresión del conjunto de las leyes, orden, armonía, etc., que se observa en la producción de los fenómenos.

9.ª *Observación, en Física,* es la operación del entendimiento por la que atendemos fija y detenidamente á los cuerpos de la naturaleza y fenómenos que aquellos presentan, para contemplarlos, comparar unos con otros y adquirir conocimiento de ellos, formando los juicios y razonamientos convenientes para llegar á deducir las correspondientes consecuencias y determinar ó formular las respectivas leyes naturales.

10.ª *Experimento* es toda operación ejecutada por medio de instrumentos, máquinas ó aparatos convenientes, á fin de reproducir, en mayor ó menor escala, los fenómenos observados ó de descubrir nuevos hechos ó propiedades de los cuerpos.

Instrumento es todo objeto material con que se ejecuta cualquier acto ú operación. Aparato el conjunto de instrumentos que, ligados y formando un todo, sirven para trabajar simultánea ó sucesivamente en alguna operación; y máquina todo instrumento ó aparato dispuesto en las condiciones que se expresa en su definición.

Se acostumbra llamar experiencias al conjunto ó serie de experimentos practicados, repetidos y variados con igual fin, ya para resolver alguna cuestión determinada, ó bien para fundar, comprobar ó perfeccionar alguna teoría.

11. *Experiencia* es el conocimiento adquirido por la prác-

tica, esto es, por medio de la observación y experimentos convenientes, variados y repetidos.

12. *Leyes físicas* ó naturales son las relaciones deducidas de la comparación de los fenómenos naturales con sus causas por medio de la observación y experimentos convenientes, ó con el auxilio del cálculo, esto es, la relación entre un fenómeno y la causa ó causas que lo producen.

Las leyes físicas se reducen á proposiciones, que en lenguaje vulgar expresan la manera constante y circunstancias con que se verifican los fenómenos, bien á teoremas matemáticos, fórmulas algébricas ó construcciones gráficas de sistemas de curvas, etc., como se podrá observar en los lugares oportunos de los diferentes tratados de la asignatura.

13. *Teoría física* es la manera de explicar un fenómeno ó una serie de ellos relacionados entre sí. Comprende la exposición y comparación de hechos y experimentos, y la deducción y discusión de sus respectivas leyes, bien por simple raciocinio ó por medio del cálculo.

14. *Las teorías* pueden ser particulares y generales. Teoría particular es la de un solo fenómeno, como la del péndulo, ebullición, etc. Teoría general es la que se refiere á varios fenómenos que forman un conjunto ó todo dependiente de un origen ó causa común, cual la teoría del calórico, del lumínico, etc.

LECCIÓN II.

Hipótesis y resultados que han producido.—Energías.—Principio de su conservación y de la indestructibilidad de la materia.

1.ª *Hipótesis ó sistema* en ciencias naturales son suposiciones más ó menos probables, que, dando por existentes ciertos hechos, sirven para explicar algún fenómeno determinado, como la formación del granizo, auroras boreales, etc., ó son base de toda una teoría como lo son las de la emisión y la de las ondulaciones respecto del estudio del calórico y lumínico. No se debe confundir la hipótesis con la teoría, pues la primera sólo tiene posibilidad más ó menos probable, cuando la teoría la constituyen hechos reales y tangibles.

Aunque parezca imposible dudar de la utilidad de las hipótesis, no siempre ha sucedido así, pues se ha discutido mucho sobre ello y hasta llegaron á ser consideradas por sabios eminentes como inútiles y aun perjudiciales. Hoy, sin embargo, es tan manifiesta no ya la utilidad de las hipótesis, sino su necesidad, que bastan para evidenciar una y otra los resultados producidos en las ciencias mediante la adopción de aquellas; pues aunque se hayan formulado muchas, unas arbitrarias ó á priori y otras erróneas ó en un orden inverso de los hechos, y hasta absurdas, sin su empleo y el del método experimental seguiría la sociedad en el mismo estado de ignorancia y oscuridad en que, durante siglos, permanecieron sumergidos y ocultos tan grandes tesoros y prodigios de la naturaleza descubiertos en los dos últimos siglos, sobre todo en el actual en que cada día es mayor la velocidad adquirida en el acelerado movimiento científico de sus dos anteriores. Sin hipótesis y el método experimental é inductivo no se hubieran desenvuelto y perfeccionado los tratados del calórico y lumínico, ni creado el de la electricidad, cuyas numerosísimas y respectivas aplicaciones, sobre todo las máquinas de vapor, análisis espectral, fotografía, galvanoplastía, luz y telegrafía eléctricas, con su séquito de teléfonos, micrófonos, etc., han trasformado las costumbres y bienestar de las naciones, como tan elocuentemente han demostrado las grandiosas exposiciones que se han sucedido rápidamente desde mediado de este siglo, cuando en sus primeros años se hubiera considerado un sueño ó locura sólo el imaginarlas: lo que justifica la necesidad de no poner á la ciencia trabas ni limitaciones, tan fatales en siglos anteriores y cuyas consecuencias se revelan en el atraso científico é industrial en que quedara nuestra patria respecto de la mayoría de las naciones civilizadas.

Admitido el axioma de que *no hay efecto sin causa*, y siendo tantos y tan variados los fenómenos en la naturaleza, de aquí la multitud de hipótesis para su explicación; el haber ideado tantas y tan diferentes causas para origen de ellos, y la admisión de los cinco agentes citados, suponiendo al primero, la atracción, como una propiedad esencial de la materia y causa de la pesantez, y los otros cuatro como sustancias sutiles y sin peso, que, unidas á la materia de los cuerpos, llamada materia ponderable, y pasando de unos á otros, mediante rapidísimos movimientos, producían los variados fenómenos caloríficos, lumínicos, magnéticos y eléctricos.

Por medio de estas hipótesis y el método experimental, tan felizmente adoptado en el estudio de la naturaleza, todas sus ciencias se enriquecieron de hechos y teorías que produjeron su rápido progreso; con lo que, y adoptando, para relacionar los fenómenos, términos de comparación perceptibles y más apropósito, como los que ofrece la Acústica en sus movimientos vibratorios, producción y propagación de los sonidos, y comparando las tan variadas y admirables sensaciones del

ojo con las tan semejantes, bajo ciertos puntos de vista, á las del oido, esto es, los fenómenos luminosos con los acústicos, surgió la hipótesis de las vibraciones y ondulaciones etéreas que, por las circunstancias observadas en los efectos caloríficos y la recíproca trasformación del movimiento en calórico y del calórico en movimiento, hizo desechar la gratuita suposición de un flúido calórico diferente del lumínico y admitir, como causa común de ambas clases de fenómenos, el indicado movimiento de las vibraciones y ondulaciones etéreas y las moleculares de los cuerpos; cuya nueva hipótesis, robustecida con el descubrimiento y determinación del equivalente mecánico del calórico, dió origen á la teoría mecánica del mismo casi á mediados del actual siglo. Esta nueva teoría y la revolución causada por ella en la ciencia, produjeron tal orden de estudios é ideas, que, con la establecida *correlación de las fuerzas físicas* expuesta por Grove en la bella obra que con tal título publicó, y su mayor y sucesivo desenvolvimiento, se llegó á la reducción de todos los agentes ideados á uno solo, esto es, á la *unidad de la fuerza:* hipótesis que, expuesta magistral y admirablemente en la obra que así titulada escribió el padre Sechi, á quien tanto debe la ciencia moderna, pudiera considerarse ya como verdadera teoría.

En la actualidad, aunque son tantos y tan variados los trabajos y escritos, producidos en este último medio siglo, referentes á las llamadas *nuevas teorías* ó *teorías de la Física moderna*, las ciencias físicas se hallan en tal estado de transición, que no es fácil resumir los diferentes conceptos con que se explica la correlación de los agentes naturales, inclusa la atracción en sus diferentes fases de atracción universal ó planetaria, gravedad, etc., para reducirlos á uno solo como causa común de todos los fenómenos; sin embargo, y no obstante lo árduo del problema, con el estudio de las diferentes partes de la física, aun en su grado más elemental, posible es llegar á comprender, por la mancomunidad de hechos, trasformación de unos en otros de los que ofrece el estudio de los cuatro agentes que se llamaron imponderados, así como por los efectos de la gravitación y cuanto se estudia bajo el nombre de acciones moleculares, que todo lo que se produce ú observa en la naturaleza, desde la constitución y rápido curso de los astros hasta el movimiento, unión y separación de los átomos, se reduce á la mínima expresión *materia* y *movimiento*, esto es, á no ser las fuerzas ó agentes físicos y los cuerpos del universo más que el resultado de un contínuo movimiento inherente á la materia ó impreso á la misma en su principio ó creación: movimiento que, continuado y variado al infinito, viene á constituir la *energía universal* y ser como la vida de todos los seres, tanto vivos como inertes, y por consiguiente de toda la naturaleza.

2.ª *La energía*, que se suele decir *aptitud para el trabajo*, es como una frase, cual las de espacio, tiempo y materia, que sirve

para indicar otra gran entidad, la cual, por ser tan incognoscible como aquellas, tampoco puede ser definida. Sin embargo, su significado se comprende por el que estudia bien la naturaleza, como sucede en el lenguaje vulgar con el calificativo de enérgico, que se da al sabio, industrial, guerrero, etc., cuando persiste en sus especulaciones y empresas, sin retroceder ante los obstáculos, fatigas y peligros que dificultan el logro de su propósito, y no desmaya hasta conseguirlo; ó que si las adversidades le hacen retroceder, disminuir ó suspender sus gestiones, las continúa ó vuelve á emprender tan pronto como nuevas circunstancias se lo permiten. *La energía universal* es, pues, *la actividad* que, inherente á la materia y teniéndola en verdadero contínuo movimiento, produce todos los de la naturaleza, desde el imperceptible ú oculto de los átomos etéreos hasta los infinitamente grandes de los cuerpos celestes.

3.ª *Las manifestaciones de la energía*, ó sean las hasta hoy denominadas fuerzas, pueden presentársenos: produciendo movimiento, ó tendiendo solamente á producirlo, por cuya razón se les denomina de distintas maneras. En el primer caso, cuando la fuerza produce movimiento, se denomina fuerza viva, energía dinámica, energía actual, energía de movimiento ó energía en acción. En el segundo, cuando sólo tiende á producir movimiento, se le suele llamar fuerza muerta, energía latente, energía virtual, energía de tensión, energía potencial, energía de posición ó en reserva. Además de estos diferentes aspectos de la energía, hay que considerar la energía degradada ó disipada: las fuerzas ú obstáculos que se oponen á la producción ó continuación del movimiento suelen ser denominadas fuerzas pasivas ó resistencias.

Todas estas denominaciones será más facil que definirlas el hacerlas comprender con los ejemplos y comparaciones oportunas en las cuestiones que repetidamente lo exigirán. Su adopción no puede por hoy evitar el continuar usando las denominacienes de fuerzas atractivas, repulsivas, elásticas, etc., en la dificultad de reemplazar el lenguaje establecido por otro enteramente nuevo y completo.

4.ª *Principio de la conservación de la energía* é *indestructibilidad de la materia* es la verdad descubierta por la ciencia, cuyo enunciado es: 1.º que las diferentes fases de la energía no son

más que trasformaciones de unas en otras, sin pérdida alguna en su totalidad; esto es, que si desaparece una parte de *fuerza viva ó energía actual*, es porque se trasforma en otra cantidad equivalente de *fuerza muerta ó energía potencial*, de tal suerte que la suma de la fuerza viva restante, más la potencial ó latente, ó viceversa, es igual á la total primitiva; y 2.° que cualesquiera que sean los fraccionamientos, combinaciones, descomposiciones y trasformaciones de los cuerpos, su materia ni aumenta ni disminuye, porque, aunque los volúmenes varíen, el peso nunca altera: hecho que la Química admite desde que la base de su estudio es la balanza, pues las pérdidas que puedan aparecer son ocasionadas por la intervención de los instrumentos é imperfección de los medios experimentales, imposible de llevarlos al extremo de la exactitud matemática.

Colocado el hombre en un punto, ó término medio, tan lejano de lo infinitamente grande como de lo infinitamente pequeño, le es tan imposible remontarse y llegar á dominar lo primero como el poder penetrar en lo segundo; por esta razón tan incognoscible le es y será siempre el concepto del espacio como el de los átomos. Sin embargo, así como partiendo de algo perceptible y bien conocido bajo tal ó cual aspecto, de inducción en inducción, llega al conocimiento de otro algo mayor y mayor, ó por deducciones sucesivas al de otro menor y menor, de igual suerte, y desde tiempos remotos, ha llegado á vislumbrar en uno y otro concepto ideas, que si no son axiomáticas ni demostrables cual teoremas geométricos, le han ido iluminando más y más en tan oscuros é intrincados senderos, hasta darle la convicción en cuya virtud se admite el que pudiera llamarse principio de los principios, el indicado de la conservación é indestructibilidad de la energía y materia, que pudiera tomarse como verdad de certeza evidente, á no impedirlo las estrictas leyes de la Lógica.

Si tales conclusiones ocasionan argumentos ó refutaciones apasionadas, ingeniosas ó sofísticas, bien examinadas éstas, se puede comprender son consecuencia de la falta de exactitud en la apreciación de la cuestión científica y también de las reliquias de la sofística, que tan pervertida ha tenido á la sana lógica y verdadera Filosofía. Por igual razón es como se concibe solamente que entre los mismos grandes pensadores, factores de las nuevas teorías, se haya llegado no sólo á negar la existencia de la verdadera materia, la extensión é impenetrabilidad de los átomos, admitiendo en su lugar un no se sabe qué *monadas*, especie de puntos matemáticos, como centros de fuerza solamente, sino que también, por otros, la del espacio y hasta la del movimiento.

4.ª *Si á la vez* que se admite el principio de la conservación de la energía é indestructibilidad de la materia, hay que considerar la *degradación* ó *disipación* de *las energías parciales*, bien estudiada ésta, nada autoriza para deducir la posibilidad de la disminución de la energía total del universo, ni mucho menos la de su completa extinción ó anulación; porque si bien se examinan sus múltiples y contínuas trasformaciones en ese infinito espacio, occéano etéreo, al considerar en éste su contínuo flujo y reflujo y extenso y complicado oleaje, también se concibe que la degradación ó disipación de la energía debe ser, no verdadera pérdida de ella, sino una especial ocultación resultante de trasformaciones y propagaciones imposible de perseguir en tan insondable abismo. Por lo demás, continuar obstinándose en querer conocer el principio y fin de la materia y energía, como los del espacio y del tiempo, sería querer conocer lo incognoscible y hacer posible lo imposible, sin otro resultado que el de entorpecer el desenvolvimiento de la ciencia y el logro de todo progreso.

LECCIÓN III.

Clasificación de los cuerpos.—Particula, molécula y átomo.—Atracción, repulsión, estados de los cuerpos y propiedades de los mismos.

1.ª *La idea de la materia* sólo se concibe por la existencia de los cuerpos que de ella están formados y de contínuo se forman; pero los resultados de la experiencia y los que la Química obtiene por sus manipulaciones hacen ver que no es igual en todos ni en cada uno de ellos.

2.ª *Los cuerpos, por razón de su materia*, se dividen en simples y compuestos.

3.ª *Cuerpo simple* es el que hasta hoy no se ha podido descomponer, y de quien, por consiguiente, se dice no consta más que de una sola materia ó sustancia. Los cuerpos simples se suelen llamar elementos.

Los antiguos consideraron como factores de todos los cuerpos de la naturaleza ciertos séres que unos llamaron elementos y otros denominaron principios, y de aquí los renombrados cuatro elementos tierra,

agua, aire y fuego, cuya historia y la de los átomos, tanto dice en favor de las teorías modernas de la Física y de la Química, pues hace ver que no son concepciones fantásticas, sino la gradual y lenta evolución y perfeccionamiento de las ya vislumbradas sucesivamente, desde el siglo séptimo antes de la era cristiana por Thales, Anaximandro, Anaximenes, Xenofonte, Heráclito, Empedocles, Epicuro y Leucipo; ideas que, mediante los adelantos y experiencia de los siglos, sobre todo desde el anterior y en el actual, tanto se han esclarecido y metódicamente ordenado.

4.ª *Cuerpo compuesto* es el que se puede descomponer y, por consiguiente, consta de más de una materia ó sustancia diferentes de la suya y distintas entre sí.

5.ª *La formación de los cuerpos*, aunque sea un hecho imposible de conocer en su origen, sin embargo, por la división de todos hasta las partes más pequeñas posibles y su reconstrucción por nuevo agrupamiento de las mismas, por la descomposición y recomposición de los cuerpos compuestos, y por los tantos y tantos hechos y descubrimientos así de la Física y Química como de la Astronomía, Física celeste, Física del globo, Física molecular y Fisiología, se llega á comprender por inducción: que aunque se admita la división de los cuerpos en simples y compuestos y la consideración de materias ó sustancias distintas, útil y necesaria para el estudio de la Química y demás ciencias naturales, cuantos cuerpos ó sustancias diferentes existen deben provenir de una sola y primera materia, y, por consiguiente, á los cuerpos simples se los puede considerar como compuestos.

En efecto, dada dicha primera materia, llámese Éter, materia prima, materia del caos, materia creada ó sacada de la nada, se concibe que, conmovida por una primera fuerza ó primer impulso, ó dotada de un movimiento propio y esencial, esto es, de una energía actual propia, y y agrupada de variadas maneras, produjo la materia ponderable; que ésta, por nuevas y sucesivas agrupaciones, formó ese innumerable conjunto de cuerpos celestes y cuantos seres en sí encierran, semejantemente á lo que se observa respecto de la formación de los variados cuerpos que resultan de unos mismos componentes por la sola variación de las relaciones de peso ó volumen con que éstos se combinan ó de la manera distinta de verificarse su agrupación: maravilloso artificio por cuyo medio con los cuatro cuerpos simples oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y carbono, llamados por lo mismo elementos orgánicos,

con algún otro, azufre, fósforo, etc., puede decirse que se forman esencialmente todos los seres orgánicos.

En este supuesto, las nuevas ó modernas teorías físicas inducen á concebir: 1.° el espacio infinito lleno de un infinito número de entidades infinitamente pequeñas, independientes é indivisibles, éter, materia imponderable ó (llámeseles como se quiera) dotadas de una energía actual ó contínuo movimiento, en virtud del cual y de sus infinitas direcciones, géneros y velocidades se reunieron y enlazaron entre sí en distinto número y formas varias, sin penetrarse ni justaponerse por completo, formando variados grupos de magnitud sumamente pequeña, tan invisibles, inconcebibles ó incognoscibles como las entidades primeras, pero con propiedades diferentes y dando así origen á los llamados átomos ó materia ponderable, para producir por su reunión los cuerpos considerados como simples; 2.° que estos átomos, por un movimiento también incesante, sus mútuos choques y variadísimos agrupamientos, produjeron nuevas entidades de magnitud todavía imperceptible como la de los átomos de los llamados cuerpos simples, pero con nuevos y continuados movimientos, propiedades diferentes entre sí y distintas respecto de las de los átomos simples, constituyendo así los átomos compuestos; 3.° que éstos y los simples, sumergidos en el gran occéano del éter subsistente en todo el espacio y sometidos á sus múltiples y respectivos movimientos y choques, ejecutaron respectivamente la formación de los innumerables cuerpos tanto simples como compuestos, y, finalmente, que por la sucesiva y continua transformación de éstos resulta asimismo otra sucesiva, contínua y variadísima comunicación y transformación de movimientos vibratorios de los átomos al éter, y, recíprocamente, de éste á los átomos de los cuerpos y éter entre ellos interpuesto, *como lo queda el agua de cristalización entre las moléculas de los sólidos que se forman en el seno de las disoluciones*, de cuyas transformaciones y recíprocas comunicaciones y cambios de movimiento, resulta la energía universal y sus tan variadas fases, los diferentes agentes naturales supuestos y sus efectos.

En resumen, por esta simultaneidad y continuación de movimientos, tan varios en grado y forma cual las leyes mecánicas determinan, la existencia de los cuerpos de la naturaleza y sus fenómenos, inclusos los de la vida, queda reducida á la sola idea de *materia* y *movimiento;* de donde resulta que los diferentes cuerpos considerados como simples y diferentes, no son otra cosa, tal vez, que compuestos más sencillos é inmediatos de la materia única.

6.ª *Los cuerpos*, por las notables diferencias que presentan independientes de su materia, se han dividido en dos grandes grupos que se denominan: *inorgánicos* ó *minerales*, y *orgánicos*, que á su vez se subdividen en *animales* y *vegetales*, y de aquí los

tres reinos de la naturaleza, denominados *mineral*, *animal* y *vegetal*, cuyo estudio constituye en la actualidad la ciencia denominada *Historia Natural*.

7.ª *Cuerpos inorgánicos* ó minerales son los que resultan formados de partes semejantes y homogéneas, no nacen, no se nutren ni crecen, y no se reproducen ni mueren: si se admite su crecimiento, éste, como se dice, es por justaposición, esto es, por capas superpuestas.

8.ª *Cuerpos orgánicos* son los formados de partes desemejantes y heterogéneas, que se nutren, crecen por intussucepción se reproducen y mueren; gozando los animales de sensibilidad y movimientos voluntarios de que los vegetales carecen.

9.ª *Las leyes de la vida* á que están sujetos los seres orgánicos no son del dominio de la Física, sino que siendo consecuencia de las leyes que ésta enseña, su estudio constituye una de las tantas ciencias que comprende el de la naturaleza, y se denomina *Fisiología*.

10. *Los cuerpos orgánicos*, aunque durante su vida no dejan de estar sujetos á las leyes físicas ó de la inercia como los inorgánicos, por sus funciones ó fuerzas vitales pueden contrariar aquellas y sustraerse más ó menos á las mismas; pero cuando por cualquier medio ó circunstancia se suspende ó contraría la energía vital, ó ésta se extingue por completo con la muerte, quedan sometidos á las solas leyes físicas y reducidos á seres inertes, que es como los considera á todos la Física.

11. *Partículas* son las pequeñas partes de los cuerpos, simples ó compuestos, que resultan como término de la división de aquellos por medios físicos ó mecánicos.

12. *Átomos* son las partes infinitamente pequeñas ó que se puede llevar la división de los cuerpos, simples ó compuestos, por la acción de los líquidos ó reactivos y agentes naturales. Pueden ser simples y compuestos: simples, los que proceden de cuerpos simples, y no sólo son indivisibles, sino que también indescomponibles; y compuestos, los que procediendo de esta clase de cuerpos son indivisibles, pero aún descomponibles en los simples, y aún compuestos más sencillos por quienes estén constituidos.

Los átomos suelen denominarse: *átomos ó moléculas integrantes* los ho-

mogéneos, simples ó compuestos, cuya reunión forma un cuerpo, y *átomos ó moléculas constituyentes* los heterogéneos, simples ó compuestos, que, combinándose, forman los homogéneos integrantes, los cuales, á su vez, reunidos forman los cuerpos compuestos: los integrantes, tanto en los cuerpos simples como en los compuestos, siempre son homogéneos y los constituyentes heterogéneos. En los cuerpos simples, sus átomos, que siempre son integrantes, se pueden considerar á la vez como sus constituyentes.

Las tres únicas voces que tal vez sería más conveniente usar, prescindiendo del sentido que según las teorías químicas modernas se pueda asignar á los nombres de átomo y molécula, serían las de átomo, molécula y partícula: el átomo, para designar las partes infinitamente pequeñas de los cuerpos simples, indivisibles é indescomponibles; la molécula para significar las partes de los cuerpos compuestos indivisibles pero descomponibles, y la partícula para lo expresado en su definición.

13. *Los átomos* son como el verdadero límite de la división de los cuerpos á que no alcanzan los sentidos ni los más perfectos instrumentos, y sólo la Química puede hacer concebir su existencia.

Cualquiera que sea la hipótesis de que se parta para explicar la formación y descomposición de los cuerpos, por lo que la observación y experiencia enseñan, se admite resultar del concurso de dos fuerzas antagonistas, en relaciones variables, denominadas atracción y repulsión, que actuando de contínuo sobre los átomos, la primera tiende á unirlos y la segunda á separarlos.

14. *Atracción* es la tendencia que se nota en los cuerpos y sus átomos á unirse ó aproximarse unos á otros.

15. *Repulsión* es la tendencia que se nota en los cuerpos ó en sus átomos á separarse y alejarse unos de otros.

16. *Estados físicos de los cuerpos* son las diferentes maneras con que uno mismo, ó unos respecto de otros, pueden presentarse relativamente á la mayor ó menor unión de sus moléculas.

17. *Propiedades de los cuerpos* son las diferentes maneras con que constantemente se nos presentan los mismos, impresionando nuestros sentidos y causándonos sensaciones que no podemos dejar de referir á los mismos cuerpos que las originan. Las propiedades de los cuerpos no se deben confundir con los fenómenos, porque aquellas, aunque no dejan de ser fenómenos, éstos no se

pueden considerar siempre como propiedades por no ser sino hechos pasajeros y no constantes en los cuerpos en que se producen.

LECCIÓN IV.

División del estudio de la Naturaleza.—Definición de la Física y de la Química.—Método del estudio de las ciencias naturales y división del de la Física.

1.ª *Se daba antiguamente* el nombre de Física por unos, y el de Historia Natural por otros, al estudio de la Naturaleza considerado en conjunto; pero siendo tan ámplio y complicado, se hizo necesario dividirlo en varias ciencias, que á su vez se han ido dividiendo y subdividiendo más y más.

2.ª *El estudio de la Naturaleza*, prescindiendo del de las Matemáticas y la Mecánica, base de todo él, se puede considerar dividido, lo más racionalmente, en cuatro ciencias principales: Astronomía, que estudia de los cuerpos celestes ó que pueblan el espacio; Historia Natural, que estudia los seres de la tierra y la historia del globo terráqueo, Física y Química; pues cualquiera otra rama del saber humano, llámense ciencias morales, políticas, médicas, artes de construcciones, etc., siempre se referirán ó relacionarán con alguna de aquellas ó de sus derivadas: indicación suficiente para concretarse á definir lo que hoy se debe entender por Física y Química, sin penetrar en el árduo problema de la clasificación de los conocimientos humanos, intentado ó ensayado por tantos sin que pueda decirse hayan llegado á conseguirlo de una manera completamente satisfactoria.

3.ª *Física* es la ciencia que estudia las propiedades y fenómenos que presentan los cuerpos de la Naturaleza, en cuanto aquellos sólo afectan al modo de estar de éstos, y los agentes ó causas productoras de dichos fenómenos.

4.ª *Química* es la ciencia que estudia las propiedades y fenómenos que presentan los cuerpos de la Naturaleza, en cuanto aquellos sólo afectan al modo de ser de estos.

5.ª *Los fenómenos* pueden ser físicos, químicos y mixtos ó físico-químicos.

6.ª *Fenómeno físico* es todo el que sólo afecta al modo de estar de los cuerpos, esto es, todo hecho ó transformación que experimentan los mismos sin alterarse su naturaleza ó composición, como la caida de un cuerpo, su ruptura, etc.

7.ª *Fenómeno químico* es todo el que sólo afecta al modo de ser de los cuerpos, esto es, todo hecho ó transformación que experimentan los mismos, alterándose su naturaleza ó composición, como el paso de un cuerpo simple por diferentes estados alotrópicos ó el de un compuesto por los diferentes estados isoméricos, de que se ocupa la Química, y la descomposición del agua ó su recomposición.

8.ª *Fenómeno físico-químico* es todo el que, por su mayor ó menor complicación, participa á la vez de los caracteres de unos y otros de los antedichos, como son la combustión y tantos otros que se efectúan en las funciones de la vida animal y vegetal, en las artes industriales y en los usos de la vida.

9.ª *No es fácil* establecer límite divisorio entre los fenómenos físicos y los químicos, porque no verificándose los hechos de la naturaleza aislados é independientes, la mayoría de ellos vienen á ser fenómenos físico-químicos; por cuya razón la Física estudia en éstos el aspecto físico, haciendo abstracción del químico, concretándose la Química al aspecto químico, apoyada en el conocimiento de los fenómenos físicos con los que aquellos puedan estar relacionados: razón por la cual el estudio de la Física debe preceder al de la Química.

10. *Los medios* más propios de estudiar la Física son: la observación, los experimentos multiplicados y repetidos, y el empleo de las matemáticas; por cuya razón el estudio de éstas debe anteceder al de la Física.

11. *No es suficiente* en el estudio de la Física la sola observación, porque no siendo perceptibles á los sentidos todas las circunstancias de los fenómenos sin el auxilio de los instrumentos ó aparatos con que se verifican los experimentos, sin éstos, y con sólo la observación, las deducciones que pudieran hacerse serían erróneas muchas veces.

12. *Tampoco serían suficientes en Física* los experimentos solos para adquirir conocimiento de los fenómenos y sus leyes, porque

sin el auxilio de la observación, del cálculo, ó de ambos, no sería posible establecer las comparaciones necesarias para llegar á deducciones verdaderas.

13. *El solo empleo de los experimentos*, ó la sola observación, han sido siempre, en Física, causa de muchos errores é interminables disputas, que impidieron el adelanto de su estudio, del de la Química y del de las demás ciencias naturales, como lo han demostrado sus rápidos progresos en estos últimos siglos, desde que se adoptó el método verdaderamente racional de la observación y los experimentos, con su gran auxiliar, el cálculo, y fueron rotas las trabas que por tanto tiempo aprisionaron al pensamiento.

14. *No siempre es posible en Física* adquirir conocimiento claro, seguro y cierto de los fenómenos y leyes naturales, aunque nos valgamos del método prescrito de la observación y experiencias, porque no verificándose aquellos aisladamente, cuando se escapa ú oculta la dependencia en que un hecho puede estar con otro ú otros á él ligados, ó cuando no es dable reproducirlos artificial ó experimentalmente, no es fácil establecer deducción alguna, ó si se establece, podrá no ser cierta.

15. *Las denominaciones* Física elemental, de ampliación, superior, matemática, experimental, agrícola, médica, industrial, etc., no establecen diferencia alguna respecto del objeto esencial de su estudio; sirven únicamente para indicar la forma del mismo; el mayor ó menor empleo de los conocimientos matemáticos, ó la clase de hechos que se propone explicar con mayor detención y preferencia, pero fundándose siempre en las leyes físicas. Por esta razón no es posible ninguno de dichos estudios sin los principios fundamentales que contiene la Física elemental y experimental.

16. *La Física elemental y experimental* es el primer grado del estudio de la Física en que se debe dar á conocer, con estricto orden, claridad y exactitud, todas sus definiciones y leyes, formando su lenguaje técnico y explicando con razonamientos claros y sencillos, ó con experimentos convenientes, los principales fenómenos que, por su importancia y generalidad, deben ser conocidos de todos y el fundamento de estudios ulteriores ó de orden superior en la misma ciencia.

17. *El estudio de la Física* está tan ligado al de la Mecánica, y viceversa, que no es fácil aislarlos por completo ni evitar ciertas inmistiones de una en otra, cualquiera que sea la forma y división de sus estudios, pues sin el conocimiento de los estados y propiedades generales de los cuerpos y algunas otras nociones elementales de Física, no es posible emprender el estudio de la Mecánica; así como sin ciertas nociones acerca de las fuerzas, equilibrio y movimiento que pueden producir al obrar sobre los cuerpos, esto es, sin algunas nociones de Mecánica, no es dable hacer el de la Física: lo que origina indispensablemente esa más ó menos vaguedad en la marcha y división de su estudio, sobre todo en su primera parte que, más ó menos explícitamente, se suele presentar subdividida en Mecánica de sólidos y en Mecánica de flúidos.

18. *Cualquiera que sea la división* que se pueda hacer de la Física elemental, vienen á resultar las partes siguientes, que comprenden: 1.ª los preliminares convenientes y los estados y propiedades generales de los cuerpos; 2.ª los efectos de la atracción en general y especialmente de la gravedad, cuyo tratado se suele denominar *pesantez* ó *Barología*, las acciones moleculares y la *Acústica* ó *Fonología;* 3.ª *el calórico* ó *Termología;* 4.ª *el lumínico* ó *Fotología*, y 5.ª los fenómenos magnéticos y eléctricos, ya en un todo ó separadamente con los nombres de *magnetismo* ó *Magnetología, y electricidad* ó *Electrología.*

19. *Si además* se suele incluir un último tratado denominándole Metereología, es, porque, si bien ésta, más que parte integrante de la Física, es una nueva ciencia aplicación de la misma, y que puede decirse está aún en formación, á falta de cátedras y hasta de obras completas de dicha asignatura, se suple con dicho tratado ó con las convenientes indicaciones referentes al mismo en cada una de las partes enumeradas.

20. *La división que*, por las antedichas razones, resulta para las anteriores y sucesivas lecciones, es la siguiente: Primera parte; preliminares más principales del estudio de las ciencias de la naturaleza en general y de la Física y Química en particular. Segunda; Mecánica con sus divisiones y subdivisiones; acciones moleculares y Acústica. Tercera; agentes denominados hasta

hoy flúidos imponderados; estudiando en la Mecánica las más indispensables nociones acerca de las máquinas en general, de las simples en particular y de todo lo relativo á los efectos de la pesantez, tanto en los sólidos como en los líquidos y gases; así como en las acciones moleculares, lo correspondiente á la cohesión y adhesión, capilaridad, difusión, oclusión, osmosis y dialisis.

Aunque el título de la asignatura objeto de estas lecciones nada expresa respecto á la Metereología, siguiendo, como por costumbre, lo establecido por algunos autores, se hacen las oportunas indicaciones referentes á ella en las lecciones correspondientes.

LECCIÓN V.

Estados físicos de los cuerpos.—Sus caracteres distintivos.—Ideas generales acerca de las causas y circunstancias de que depende la diferencia de dichos estados (*).

1.ª *Los estados físicos* de los cuerpos definidos (III.—16) son tres: el sólido, el líquido y el gaseoso.

2.ª *Cuerpos sólidos* son aquellos cuyas moléculas tienen tanta unión entre sí, que no es posible separar unas de otras, ó variar la forma de ellos, sin esfuerzos más ó menos considerables. Sus caracteres son los siguientes: tienen una forma propia y constante, y al querer mover ó separar una cualquiera de sus partes, tras de ella siguen las demás.

3.ª *Cuerpos líquidos* son aquellos cuyas moléculas tienen tan poca unión entre sí, que pueden separarse y girar fácilmente unas sobre otras. Sus caracteres son los siguientes: carecen de forma propia y toman siempre la de los vasos en que es necesario encerrarlos, formando la superficie llamada de nivel y conservando su volumen igual ó equivalente al primitivo.

4.ª *Cuerpos gaseosos* son aquellos cuyas moléculas tienden á separarse y alejarse unas de otras, si no se los retiene en vasos completamente cerrados y suficientemente resistentes. Sus carac-

(*) Los números entre paréntesis sirven: para indicar el primero, en caracteres romanos, la lección, y el segundo, en arábigos, el número de ella á que se haga alguna referencia.

teres son los siguientes: llenan siempre todo el espacio que encuentran vacío, toman la forma del vaso en que se los coloca, variando su primitivo volumen de tal modo, que el gas contenido en una capacidad de un pié, un decímetro, etc., cúbicos llena la de otro vaso mayor á que se traslade, ó puede ser encerrado en otro menor comprimiéndolo convenientemente.

5.ª *Las piedras*, las maderas, etc., son cuerpos sólidos. El agua, el vino, el mercurio (vulgarmente azogue), etc., son cuerpos líquidos. El aire, el humo y otros semejantes son cuerpos gaseosos.

Las harinas y demás sustancias semejantes, llamadas cuerpos pulverulentos, son cuerpos procedentes de sólidos como quedan siéndolo cada una de sus moléculas, pues aunque éstas puedan separarse fácilmente, no les es posible girar con la facilidad que las de los líquidos, por cuya razón no adquieren por sí la forma de los vasos ó cavidades en que se los deposita ni forman superficie de nivel. El aceite, miel y otras sustancias, procedentes de seres orgánicos, cuando alcanzan cierta temperatura, condensados, aún sin llegar á una verdadera congelación, pierden la facilidad de girar y separarse sus moléculas, por cuya razón se les suele llamar flúidos viscosos.

6.ª *Se da el nombre* de flúidos á los líquidos y á los cuerpos gaseosos para designarlos á la vez por las propiedades comunes de que gozan: llamando flúidos incompresibles á los líquidos, y flúidos aeriformes á los cuerpos gaseosos, por su semejanza con el aire, que es el tipo de todos ellos.

7.ª *Los flúidos aeriformes* se dividen en gases y vapores.

8.ª *Gases* son los cuerpos que subsisten en el estado gaseoso, sin que las variaciones naturales y ordinarias de presión y temperatura de la atmósfera puedan hacerlos pasar á ninguno de los otros estados.

9.ª *Vapores* son los cuerpos gaseosos ó aeriformes que provienen del cambio que experimentan muchos de los cuerpos que, presentándose líquidos á la presión y temperatura ordinarias, y pasando al estado gaseoso por disminución de la primera ó aumento de la segunda, pueden volver fácilmente á su primitivo estado de liquidez por aumento no considerable de presión ó por cierto descenso de temperatura.

10. *Los gases* se dividieron en liquefactibles y permanentes.

11. *Gases liquefactibles* son los que, gozando de tal estado á toda presión y temperatura de la atmósfera, se los puede transformar en líquidos por los medios artificiales, gran baja de temperatura, aumento considerable de presión, ó ambos medios á la vez.

12. *Gases permanentes* se denominaron los que no era posible reducir á líquidos por medio alguno: hoy puede decirse que todos son liquefactibles.

13. *El estado de solidez ó fluidez* de los cuerpos no es una propiedad esencial de ellos, porque aunque la mayoría de los existentes en la tierra subsista en uno solo dentro de los límites de presión y temperatura de la atmósfera, algunos al variar en ésta aquellas circunstancias, pasan de uno á otro de los tres estados físicos y hasta por todos ellos, como sucede con el agua. Además, sabido es hoy, por los resultados de la experiencia, que es posible hacer á todos pasar por los tres estados disponiendo de los medios, ya existentes, de poder variar su presión y temperatura, entre límites antes desconocidos, y, por consiguiente, las relaciones de atracción y repulsión entre sus moléculas, de que puede afirmarse depende la diferencia de estado de los cuerpos, su mayor ó menor persistencia en ellos y sus diversos grados de solidez y de fluidez.

14. *Se admite* que las relaciones de atracción y repulsión entre las moléculas de los cuerpos, de que depende su diferencia de estado, son las siguientes: 1.ª que en los sólidos la atracción entre sus moléculas es mucho mayor que su repulsión; 2.ª que en los gases la repulsión entre sus moléculas es mucho mayor que su atracción, y 3.ª que en los líquidos, como estado intermedio, predomina muy poco la una sobre la otra y pueden considerarse próximamente iguales.

15. *La formación de los cuerpos*, su diferencia de estados y sus diversos grados de solidez y fluidez, según la mayor ó menor desigualdad de la atracción y repulsión simultánea y contínua entre sus moléculas, aunque no sea fácil demostrarlos de un modo directo y terminante, se conciben bien por la observación y la experiencia y por los conocimientos que suministra el estudio de la Física y de la Química.

Aunque, según las teorías modernas, el paso de los cuerpos de unos estados á otros resulte por los cambios ó transformaciones de los diversos movimientos de los átomos, tanto etéreos como de materia ponderable-siempre podrá representarse como sintetizado todo en un resultado, cual si realmente obrasen dos fuerzas antagonistas que por lo mismo se continuará denominándolas atracción y repulsión.

16. Se suele admitir por algunos, además de los tres verdaderos estados de los cuerpos, otros tres, denominándolos estado pastoso ó viscoso, estado pulverulento y estado líquido-gaseoso; pero en realidad estos no son sino unos intermedios de aquellos, dependientes de la mayor ó menor proximidad á uno ú otro de los tres verdaderos, por la mayor ó menor aproximación ó alejamiento de los átomos en grado tan difícil de precisar, que impide la determinación de tales intermedios como verdaderos estados y el fijar sus límites.

Estado radiante es, según Crookes y otros, cualquier resíduo gaseoso á tan pequeña presión, que resulta con propiedades tan nuevas que le hacen aparecer como materia en un cuarto estado. Este es tan hipotético, poco estudiado y poco conocido aún, que nada se puede asegurar respecto de él.

LECCIÓN VI.

Propiedades de los cuerpos y su materia.—Clasificación de ellas.—Cantidad.—Extensión y forma.—Vernier ó nónius.—Impenetrabilidad.

1.ª *Las propiedades* de los cuerpos (III—17) se dividen en generales y particulares.

2.ª *Propiedades generales* son las que se observan ó pueden observar en todos los cuerpos siempre, de la misma manera y en todos sus estados.

3.ª *Propiedades particulares* son las que sólo se hallan en algunos cuerpos, ó que, aunque se puedan observar en todos, sólo se presentan en algunos de sus estados ó en ocasiones y circunstancias especiales.

4.ª *Las propiedades generales* no pueden servir para distinguir unos cuerpos de otros, por ser comunes á todos; mas sí el

concurso de las particulares en número conveniente, razón por la cual son las que sirven para la clasificación de aquellos.

5.ª *Las propiedades generales* se estudian como en un primer capítulo, porque siendo comunes á todos los cuerpos, siempre y de la misma manera, no es posible estudiar las particulares sin el conocimiento de aquellas, por cuya razón debe preceder el conocimiento de las generales, como fundamento del estudio de las particulares. Al contrario, las propiedades particulares no pueden presentarse reunidas en un capítulo aislado é independiente, porque su conocimiento puede decirse que constituye todo el estudio de la Física.

6.ª Se consideran como propiedades generales de los cuerpos las siguientes: Cantidad, Extensión, Impenetrabilidad, Porosidad, Divisibilidad, Compresibilidad, Dilatabilidad, Contractibilidad, Elasticidad, Movilidad, Inercia y Atracción.

7.ª *Las propiedades generales* pueden subdividirse en tres grupos: primero, el de las que pertenecen exclusivamente á la materia; segundo, el de las que sólo corresponden á los cuerpos, y tercero, el de las que son propias tanto de los cuerpos como de la materia. La impenetrabilidad es propia de la materia; de los cuerpos, todas las demás, excepto la cantidad, extensión, movilidad y atracción, que tanto pertenecen á los cuerpos como á su materia.

8.ª *Cantidad* es la propiedad que tienen los cuerpos, sus propiedades, las fuerzas y los fenómenos de poder aumentar ó disminuir; llamándose cantidad matemática cuanto, además de aumentar ó disminuir, se puede medir, como el peso, la extensión, duración de los fenómenos, etc.

Medir una cantidad es compararla con otra de su misma especie, que, dada por la naturaleza ó adoptada por convenio, se toma por término de comparación ó como de patrón respecto de las demás de su especie, cuyo resultado constituye el número: el estudio de éste en abstracto corresponde á las Matemáticas.

9.ª *Extensión* es la propiedad general de los cuerpos de ocupar una parte limitada del espacio.

10. *La generalidad de la cantidad y extensión* la demuestran la observación y la experiencia.

11. *La extensión de los cuerpos* envuelve otra propiedad, la

figurabilidad, que es la de tener una forma propia los sólidos y la de tomar los flúidos la de los vasos en que se colocan: forma es la manera de estar limitados ó terminados los cuerpos.

12. *La Geometría* estudia las propiedades y relaciones de la extensión, forma, dimensiones, superficies y volúmenes de los cuerpos, así como sus relaciones de posición, hecha abstracción de su materia; razón por la cual, aunque su origen sea físico, es una ciencia abstracta.

13. *La Física y la Mecánica* dan los aparatos, máquinas é instrumentos apropiados para ejecutar la medida y división de las dimensiones, superficies y volúmenes de los cuerpos físicos en los numerosos y variados casos en que aquella se hace necesaria.

14. *Muchos son los instrumentos* que en los usos vulgares y en las ciencias matemáticas y de la naturaleza se emplean para la medida de la cantidad: unos son de uso común al geómetra, físico y naturalista, y otros apropiados á determinados usos, manipulaciones y experimentos, por cuya razón se dan á conocer en los tratados especiales.

15. *Entre los diferentes instrumentos* destinados á medir pequeñas dimensiones y dividir éstas, y aun los volúmenes, en partes iguales, se halla el vernier ó nonius, cuyo manejo y uso es sumamente interesante.

16. *El vernier ó nónius* es un aditamento que se aplica á las escalas lineales y graduaciones de círculo para apreciar fracciones de su última división.

Su construcción es la siguiente: Se dispone convenientemente una reglilla de corta longitud sobre la escala principal, de modo que se pueda mover paralelamente á éstas; en dicha reglilla se toma una longitud igual á un número de partes de la última división de la escala principal expresado por (n-1), y se divide en n partes iguales, representando n el número que, como denominador, dé nombre á las partes en que se quiera apreciar las fracciones de la última unidad; se escribe 0, 1, 2, 3,..... n en las líneas de la nueva escala y se tendrá graduado el nónius.—Por ejemplo, si la escala de un barómetro contiene hasta milímetros y se quiere apreciar décimas de los mismos, siendo en tal caso $n=10$ se tomará 9^{mm}, que es el denominador 10—1=9; se dividirá esta longitud en 10 partes iguales, que es el número valor del denominador n, lo que dará para cada división $9^{mm}: 10=\frac{9^{mm}}{10}$, de modo que sien-

do la última unidad de la escala $1^{mm}=\frac{10^{mm}}{10}$ y las de la reglilla $\frac{9^{mm}}{10}$ su diferencia $\frac{10^{mm}}{10}-\frac{9^{mm}}{10}=\frac{10^{mm}-9^{mm}}{10}=\frac{1^{mm}}{10}$ será la unidad del nónius.

17. *El uso del nónius* es el siguiente: se aplica la medida ó escala sobre la extensión longitudinal que se quiera medir, ó viceversa, de modo que una de las extremidades de ésta coincida con el 0 de la escala principal, y que sobre la otra se haga apoyar ó coincidir el 0 de la reglilla. El valor de la longitud medida será el número de unidades de la escala principal que comprenda dicha extensión, más el número de la línea ó división de la escala de la reglilla que coincida, ó esté más próxima á coincidir, con una de las de la escala principal.

El mecanismo para aplicarlo á los círculos graduados es igual al indicado ya, con la única diferencia de que en vez de la reglilla se aplicará un arquito de círculo concéntrico al del aparato y que pueda moverse resbalando paralelamente á su limbo.

18. *Impenetrabilidad* es la propiedad general de los cuerpos de no poder ocupar á la vez uno el mismo lugar en que otro se halla colocado.

19. *La impenetrabilidad*, según se comprende por la experiencia y la Química demuestra con sus hechos, es propiedad inherente ó esencial á la materia y, por consiguiente, pertenece más bien á ésta, ó á los átomos, que no á los cuerpos.

Se atribuye generalmente á éstos, porque en ellos es donde la notan nuestros sentidos, no obstante verse muchas veces que algunos cuerpos se introducen en otros como penetrándose, pero esto depende de otra propiedad, su porosidad, que permite á las partes materiales aproximarse más por unos puntos para dejar huecos mayores por otros.

20. *La impenetrabilidad* de los sólidos entre sí, la de unos líquidos con otros, y la de éstos y los gases con aquellos, es bien manifiesta por los mil ejemplos que se observan en los usos domésticos ó de la vida.

21. *La que resulta* entre líquidos y gases se hace visible por el experimento de introducir un vaso boca abajo dentro de un líquido, poniendo un papel en el fondo de aquél, ó cubriendo con el mismo vaso una luz flotante sobre el agua; pues haciendo que el vaso descienda en ésta, el papel no se moja ni la luz se apaga,

en virtud de que el agua no llega á ocupar el lugar del aire, aunque éste se comprima algo.

22. *La impenetrabilidad* de los cuerpos gaseosos entre sí se prueba haciendo uso de dos vasos de igual capacidad, llenos de dos gases de diferente densidad y caracteres distintos, como el oxígeno y el ácido carbónico, é invirtiendo uno, el del más pesado, sobre el otro; pues examinando dichos vasos antes y después de la inversión, se nota, por los resultados, que han cambiado de colocación.

23. *La impenetrabilidad* es el fundamento de la trasvasación de los gases en la cuba hidroneumática, de los tubos de seguridad y de las campanas de los buzos, mejoradas con las modificaciones en ellas introducidas, prescindiendo de su reemplazo por las escofandras. Por la impenetrabilidad se explican infinidad de fenómenos y aplicaciones importantes en las ciencias, artes y usos de la vida.

24. *La impenetrabilidad y la extensión* suelen llamarse propiedades inseparables, porque dada la impenetrabilidad, no es posible deje de haber un espacio ocupado, y, por lo mismo, donde hay impenetrabilidad hay extensión: la recíproca no siempre se verifica.

LECCIÓN VII.

Porosidad.—Volumen real y aparente de los cuerpos.—Masa y densidad de los mismos.—Relaciones entre las densidades, masas y volúmenes de los diferentes cuerpos ó de uno mismo en diferentes circunstancias.—Divisibilidad de los cuerpos físicos.—Su división y descomposicion.

1.ª *Porosidad* es la propiedad general de los cuerpos en virtud de la cual presentan dentro de sí pequeños espacios vacíos de su propia materia.

2.ª *Poros* son los espacios que existen en los cuerpos vacíos de la materia de éstos.

3.ª *La porosidad* se suele considerar de dos modos: molecular ó invisible y aparente ó visible.

4.ª *La porosidad molecular* ó invisible, que se puede decir es

la verdadera, es la que poseen todos los cuerpos á consecuencia del enlace más ó menos íntimo de los átomos, según la relación entre las fuerzas atractivas y repulsivas que, al intervenir en la formación de aquellos, impiden la completa justaposición de los átomos.

5.ª *Los poros que se consideran* en esta clase de porosidad se suelen llamar poros físicos, ó invisibles, por su pequeñez, los cuales son intersticios, que si bien impiden el íntimo contacto de los átomos, tanto simples como compuestos, permiten á las fuerzas moleculares, atractivas y repulsivas, ejercer sus acciones recíprocas, esto es, el variado giro de los átomos: tales poros, aunque invisibles, son los que permiten la dilatación y contracción de los cuerpos por los cambios de temperatura, presión, etc.

6.ª *La porosidad aparente ó visible* es la que se observa en los cuerpos sólidos, producida por falta notable de continuidad de su materia á causa de la interposición entre sus moléculas de sustancias extrañas ó diferentes de la suya, que han desaparecido después de la formación de aquellos, ó resultante por causas accidentales que, durante el agrupamiento de las moléculas, han impedido á la acción de las fuerzas moleculares producir en algunos puntos un enlace tan íntimo entre los átomos como en el resto del cuerpo.

7.ª *Los poros físicos ó invisibles* sólo se conciben por los resultados de la experiencia y del raciocinio, como sucede con los del vidrio, metales bruñidos, etc., cuando los de la porosidad aparente, que en realidad no son verdaderos poros, resultan siempre visibles por su tamaño, como en la esponja, maderas, etc.; producen fenómenos más ó menos perceptibles y variados como la absorción de los líquidos y gases, y son el fundamento de importantes aplicaciones.

8.ª *Volumen de un cuerpo*, en Geometría, es la medida de su extensión y por consiguiente la de la parte de espacio que ocupa.

9.ª *En física*, teniendo en cuenta la porosidad, el volumen se considera de dos modos, distinguiéndosele con los nombres de volumen real y volumen aparente.

10. *Volumen real* de un cuerpo es el de su materia, hecha abstracción de los poros.

11. *Volumen aparente* de un cuerpo es la suma del que corresponde á la materia del mismo y del perteneciente á los poros.

12. *Masa de un cuerpo* es la suma de sus átomos ó de la materia que contiene.

13. *Densidad de un cuerpo* es la relación entre su masa y su volumen aparente.

14. *Representando* por M la masa, por V el volumen y por D la densidad, ésta se puede expresar algébricamente por la sencilla fórmula $D=\frac{M}{V}$, que servirá para establecer otras relaciones importantes.

15. *Las densidades de un cuerpo*, con la misma masa, pero bajo diferentes volúmenes, resultan en razón inversa de éstos.

En efecto: siendo $D=\frac{M}{V}$, si llamamos D' á la densidad correspondiente á un segundo volumen V' del mismo cuerpo, con la misma masa M, tendremos que $D'=\frac{M}{V'}$; dividiendo ordenadamente por los miembros de esta igualdad los de la $D=\frac{M}{V}$, se obtendrá $D: D'::\frac{M}{V}:\frac{M}{V'}$, y quitando los divisores de los términos de la segunda razón, resultará que D:D'::M V':M V, y suprimiendo el factor común M, que D:D'::V':V.

16. *Divisibilidad* es la propiedad general de los cuerpos de permitir la separación de sus partes, bien sean grandes ó pequeñas, ya iguales ó desiguales.

17. *La divisibilidad física* no se debe confundir con la matemática, cuya confusión fué causa de las grandes disputas acerca de si la división de los cuerpos podía ó no tener fin.

18. *La divisibilidad física* se diferencia de la matemática en que ésta considera siempre partes iguales y es infinita, y la física se refiere á partes cualesquiera, grandes ó pequeñas, iguales ó desiguales, y tiene fin, no sólo por la imperfección de nuestros sentidos y de los instrumentos con que pueda ejecutarse la división, sino porque los resultados de la Química enseñan que los átomos de la materia deben tener una magnitud y formas determinadas, porque si así no fuese, los cuerpos se podrían dividir unas veces más y otras menos; los átomos resultarían en unos casos con dimensiones, formas y agrupaciones distintas que en otros, y en la cristalización, ó en sus combinaciones, los resultados serían muy variables y no según las leyes fijas con que una y otras se forman.

19. *No se debe confundir la idea de división* con la de descomposición, porque la primera es una operación mecánica ejecutada sobre los cuerpos para separar sus partes homogéneas, cuando la segunda es una operación propia de la Química, puesto que su objeto es verificar la separación de las sustancias heterogéneas que contienen los cuerpos compuestos.

20. *Dividir los cuerpos* es ejecutar la separación de sus partes homogéneas, grandes ó pequeñas, iguales ó desiguales, por medios mecánicos: operación que toma distintos nombres, según los medios que se emplean, como el de limar, aserrar, triturar, etc., y cuyos ejemplos son prodigiosos.

21. *Descomponer* los cuerpos es separar unas de otras las sustancias heterogéneas que encierran, por los medios de que dispone la Química.

22. Los ejemplos de gran divisibilidad son tantos y tan prodigiosos, que la imaginación se pierde en la contemplación de lo infinitamente pequeño de las partes á que se puede llevar la división, como al considerar lo infinitamente grande del espacio, de las dimensiones de los astros, distancias entre éstos y velocidades de sus movimientos.

LECCIÓN VIII.

Compresibilidad.—Dilatabilidad.—Contractibilidad.—Elasticidad.—Medios de desenvolverla y su límite.

1.ª *Compresibilidad* es la propiedad general de los cuerpos de poder disminuir su volumen, ó alguna de sus dimensiones, por la presión ó percusión, llamándose compresión esta disminución.

2.ª *Presión es* el acto de dos ó más fuerzas que, aplicadas á un cuerpo, tienden á aproximar ó unir más sus moléculas en uno ó varios sentidos, y percusión el acto de chocar ó golpear un cuerpo con otro.

3.ª *La compresibilidad de los sólidos* no sólo se deduce como consecuencia del modo de formación de los cuerpos y su porosidad, sino que está evidenciada por la observación y experiencia, así como por el aumento de densidad que adquieren con el batido,

laminado ó por el enfriamiento, aunque en este caso resulte alguna excepción.

4.ª *Se suele llamar á los líquidos* flúidos incompresibles, porque antiguamente no se podía probar su compresibilidad. Hoy se demuestra y mide con el piezómetro de Oersted; pero resultando tan pequeña, se puede despreciar en las aplicaciones y considerarla como nula.

5.ª *La compresibilidad de los gases* es tan grande como se hace ver con el eslabón neumático, y por su medida se ha podido hallar la ley de la misma, denominada ley de Mariotte.

6.ª *La ley de Mariotte* se enuncia diciendo: los gases se comprimen en razón directa de sus presiones, esto es, que sus volúmenes resultan en razón inversa de las presiones que sobre ellos se ejercen. De modo que, representando por V y V' los volúmenes de un gas, por P y P' sus presiones, resulta que V':V::P:P'. Se demuestra con el tubo denominado de Mariotte.

7.ª *De la ley de Mariotte se deduce* que las densidades de los gases resultan en razón directa de sus presiones, esto es, que D:D'::P:P'

En efecto, representando por P y P' las presiones á que sucesivamente se someta un gas, por V y V' sus volúmenes bajo dichas presiones y por D y D' las respectivas densidades, siendo de igual masa, tendremos, por la ley de Mariotte y ser de la misma masa, que V':V::P:P' y (VII—15) que V':V::D:D'. Ahora bien, como estas dos proporciones tienen común la razón V':V, de las otras dos resulta D:D'::P:P'.

8.ª *Dilatabilidad* es la propiedad general de los cuerpos de aumentar su volumen, ó alguna de sus dimensiones, por aumento de calor ú otra causa, llamándose dilatación este aumento.

9.ª *Espansibilidad* es la propiedad general de los cuerpos en cuya virtud las moléculas de los mismos se pueden separar y alejar en uno ó más sentidos para recuperar sus dimensiones cuando cesan ó disminuyen las fuerzas que los comprimieran, cuyo acto se denomina espansión.

10. *Las voces dilatación y espansión*, sí se pueden considerar como de igual significado por expresar ambas aumento de extensión, la segunda se suele usar más principalmente para designar

el acto de recuperar los cuerpos sus dimensiones cuando dejan de obrar sobre ellos las fuerzas comprimentes y, sobre todo, para significar el acto de extenderse los flúidos aeriformes en mayor espacio al dejar de ser comprimidos, ó al romperse los vasos en que se encierran: fenómeno que se suele denominar esplosión, y el ruido que en ésta se produce estampido ó estallido.

11. *Contractibilidad* es la propiedad general de los cuerpos de disminuir su volumen ó dimensiones por el enfriamiento ó al cesar las tracciones ejercidas sobre ellos, cuyo acto se denomina contracción.

12. *No se debe confundir* las voces compresión y contracción, pues aunque ambas signifiquen el acto de disminuir el volumen ó las dimensiones de los cuerpos, la compresión es por la acción de fuerzas comprimentes y la contracción es por disminución del calor ó de las fuerzas de tracción.

13. *Tracción* es la acción de dos ó más fuerzas que obrando en las partes extremas de los cuerpos sólidos, y en sentidos opuestos, tienden á aumentar su longitud ó á ponerlos en línea recta; llamándose flexión el acto de doblar ó encorvar un cuerpo por la acción de dos ó más fuerzas aplicadas á las partes extremas del mismo, apoyándolo sobre algunos de sus puntos intermedios.

14. *Torsión* es la acción de una ó más fuerzas que, aplicadas convenientemente á las partes extremas de ciertos sólidos, imprimen movimientos rotatorios é inversos á sus moléculas.

15. *Elasticidad* es la propiedad general en virtud de la cual las moléculas de los cuerpos pueden volver á sus primitivas posiciones, recobrando aquellos su forma ó volumen anterior, ó ambas cosas á la vez, luego que cesa la causa que, variando su arreglo molecular, los había comprimido ó desformado.

16. *La elasticidad* se puede desenvolver en los sólidos por presión, choque ó percusión, tracción, flexión y torsión, esto es, comprimiéndolos, al chocar unos con otros, al estirarlos, al doblarlos ó encorvarlos y al torcerlos: en los flúidos sólo es posible desenvolverla comprimiéndolos.

17. *Límite de elasticidad* es el máximum de fuerza con que se puede comprimir, chocar, estirar, etc., un sólido sin romper su enlace molecular ó sin producir una agregación más íntima

entre sus moléculas: cuando se excede dicho límite, los sólidos se rompen ó desforman y no pueden volver á su volumen ó forma anterior, como sucede con una varilla de madera de cierto grueso que, al tratar de encorvarla con cierto exceso de fuerza, se rompe, ó con una bala de plomo que, dejada caer de cierta altura, se aplana y no recupera su forma esférica; pero no por esto dejan de poder ser considerados como elásticos, toda vez que no sucede lo mismo cuando dichos experimentos se ejecutan con fuerzas que no excedan dicho límite.

18. *Si algunos autores* consideran la elasticidad como *propiedad particular*, es porque no teniendo presente, tal vez, la existencia de su límite, han creido que dicha propiedad no existía en algunos cuerpos.

19. *La generalidad* de las propiedades que por razón de su modo de formación pertenecen exclusivamente á los cuerpos y no á los átomos, *porosidad*, *compresibilidad*, *dilatabilidad*, *contractibilidad* y *divisibilidad*, no se puede demostrar de una manera directa y concluyente sino sólo por inducción, mediante los numerosos ejemplos de porosidad, compresibilidad, etc.; pero si la imposibilidad de examinar uno por uno todos los cuerpos hiciese dudar de ella, bastaría para evidenciarla el modo de formación y constitución de aquellos en sus diferentes estados y las consideraciones siguientes: 1.ª la repulsión hace imposible el completo contacto de los átomos y por lo mismo no es posible concebir cuerpo alguno sin poros; 2.ª, la compresibilidad, dilatabilidad, etc., son consecuencia de ese mismo modo de formación de los cuerpos y de su porosidad y, además, se deduce su generalidad porque la observación y experiencia enseñan que en todos los cuerpos puede variar su densidad por el calor ó por el enfriamiento, lo que no es posible conservando la misma masa sino variando su volumen; 3.ª, siendo todos los cuerpos porosos, compresibles y dilatables, sus moléculas tienen la posibilidad de girar unas sobre otras y, por consiguiente, son á la vez elásticos; 4.ª, de ser todos los cuerpos porosos resulta posible la separación de sus partes, que sería impracticable si en el cuerpo se hallasen completamente unidos los átomos formando un todo único sin dejar poros.

LECCIÓN IX.

Movilidad.—Movimiento y reposo.—Inercia y sus leyes.

1.ª *Movilidad* es la propiedad general de los cuerpos de poder ser trasladados de unos puntos á otros del espacio.

La movilidad no se debe confundir con la *motilidad* ni con la *locomoción*, pues la primera es la posibilidad que tienen los animales de ejecutar movimientos, ya voluntarios ó involuntarios, y la segunda es la de poder trasladarse por sí de unos puntos á otros del globo terráqueo.

La locomoción, si la verifica el hombre sobre la superficie de la tierra, por la manera distinta de ejecutarla, se denomina marcha, carrera y salto; si en las aguas, *natación* y *navegación*, y si en la atmósfera, *vuelo y areostatación*.

2.ª *Movimiento* es el acto de pasar los cuerpos ó los átomos de unos puntos á otros del espacio. El de los cuerpos se percibe y aprecia por las variaciones de distancia de cada uno á los demás que le rodean. El de los átomos es imperceptible como ellos y las distancias infinitamente pequeñas que los separan, inversamente de lo que sucede en la observación vulgar de los astros, cuyos movimientos, excepto los aparentes de sol y luna, tampoco se perciben por lo infinitamente grande de sus distancias intermedias.

3.ª *El movimiento* puede ser *absoluto* y *relativo*.

4.ª *Movimiento absoluto* sería el referido á un punto fijo en el espacio; pero es imposible el considerarlo, toda vez que no es dado determinar dicho punto fijo ó hallar cuerpo alguno en que determinarlo, hallándose como se hallan todos en contínuo movimiento.

5.ª *Movimiento relativo* es el que ejecuta un cuerpo, variando sus distancias respecto á otro ú otros que se consideran como fijos, aunque en realidad se estén moviendo.

6.ª *Movimiento común* es el de un cuerpo que, hallándose sobre otro que se esté moviendo, se traslada á la vez con éste.

7.ª *Todos los movimientos* que se pueden observar son desde luego relativos, porque todos se efectúan respecto de los cuerpos que los rodean: el movimiento de la tierra es relativo al sol; el de

un carruaje lo es á las casas, á los árboles, etc., de quienes se aleja, ó á quienes se aproxima, y el de un buque es relativo á los demás buques que le rodean, ó á las costas, etc.

8.ª *Todos los cuerpos* existentes en la tierra, cualquiera que sea su estado de quietud ó movimiento, se hallan en movimiento común con ella; el que va á caballo, en carruaje, embarcado, etc, se halla respectivamente en movimiento común con dichos objetos.

9.ª *Reposo* se dice ser la constante permanencia de un cuerpo en los mismos puntos del espacio. Se puede considerar de dos modos: absoluto y relativo.

10. *Reposo absoluto* sería la completa privación de movimiento por carencia de toda fuerza, lo cual es imposible en el sistema del mundo, en que todos los astros, inclusa la tierra, y cuanto en ellos se encierra, se hallan girando en el espacio, y sus átomos y éter entre ellos interpuestos en contínua vibración,

11. *Reposo relativo* se llama á la aparente quietud ó permanencia de un cuerpo en los mismos puntos del espacio al guardar las mismas distancias respecto de los objetos que le rodean, aun cuando uno y otros se estén moviendo, como en realidad están en moviento común con la tierra todos los cuerpos de ella.

12. *Todos los objetos* situados sobre la superficie terrestre, como los árboles, las casas y los animales cuando están quietos, se dice que se hallan en reposo relativo, porque conservan invariables sus distancias á los demás, aunque en realidad tienen siempre movimiento común con ella.

13. *Todos los movimientos* que se puedan observar en los cuerpos, lo mismo que su reposo, serán siempre relativos, por cuya razón, aunque las ideas de movimiento y reposo absolutos sean antitéticas, un mismo cuerpo podrá ser considerado á la vez tanto en reposo como en movimiento: los árboles, casas, etc., se hallan en reposo relativo sobre la superficie de la tierra y á la vez en movimiento común con ella.

Ademas es posible considerar en un mismo cuerpo reposos y movimientos simultáneos que conviene saber distinguir; por ejemplo, un hombre ú objeto cualquiera que se halle quieto sobre un buque en marcha, se hallará en reposo respecto de los objetos del buque; en movimiento

común con éste, y á su vez, con el mismo buque, en movimiento relativo respecto de las costas, etc., y en movimiento común de rotación y traslación con la tierra: ejemplo que puede variarse suponiendo al hombre ú objeto del buque estando también en marcha, ó que, hallándose el buque en reposo, el hombre ú objeto se halle también en reposo ó en movimiento.

14. *Inercia* es la propiedad general de los cuerpos y de la materia de no poder darse por sí movimiento, ni suspender ó modificar el que poseen ó se les comunica, mientras fuerzas exteriores ó nuevas comunicaciones de movimiento, no les obligan á ello; lo que envuelve los dos extremos siguientes: que no pueden pasar del reposo al movimieto, ni del movimiento al reposo ó modificar aquél, mientras fuerzas exteriores no obren sobre ellos.

15. *El primero* de los extremos que comprende la idea de inercia está demostrado por la observación y la experiencia, las cuales enseñan que allí donde se deja un cuerpo, allí se vuelve á encontrar, sin que se haya dado caso de ver salir del reposo á cuerpo inerte alguno mientras una acción exterior no le haya puesto en movimiento.

16. *El segundo extremo*, que parece opuesto á lo que de ordinario observamos, pues que todo cuerpo puesto en movimiento se para más ó menos pronto, se comprende también fácilmente, advirtiendo que si se paran, es por los obstáculos ó fuerzas exteriores que disminuyen y llegan á destruir las que los movían, tales como la gravedad, resistencia del aire ó del agua y rozamiento contra la superficie de los cuerpos sobre ó entre quienes se mueven.

La imposibilidad de pararse los cuerpos por sí ó de modificar sus movimientos, se comprende fácilmente por la que tienen de moverse: pues observando que al parar un cuerpo empleamos esfuerzos iguales á los necesarios para moverlo, claro es, que si los cuerpos se pudiesen parar por sí, tendrían dentro de sí también la posibilidad de ejecutar el esfuerzo que se emplea para pararlos, en cuyo caso lo mismo podrían desplegarlo para moverse; luego siendo esto imposible, se sigue la imposibilidad de pararse ó modificar sus movimientos.

17. *Los extremos* que comprende la idea de inercia se pueden formular en las llamadas *leyes de la inercia*, que son las tres siguientes: 1.ª *Todo cuerpo* permanece en el estado de quietud ó

movimiento en que se halla, mientras que fuerzas exteriores no le obligan á pasar del uno al otro. 2.ª *Todo cuerpo* en movimiento lo continúa, sin variación alguna en su velocidad y dirección, mientras nuevas fuerzas exteriores no vengan á modificárselo. 3.ª *La reacción* es siempre igual y contraria á la acción, esto es, que la misma resistencia oponen los cuerpos al tratar de moverlos como al querer pararlos; así es, que al chocar contra un cuerpo experimentamos el mismo efecto que si él fuese el que chocase contra nosotros.

18. *Los cuerpos inorgánicos* siempre son *inertes;* mas al apellidar así á un cuerpo, podemos referirnos ya á un inorgánico, como una piedra, un metal, el aire ó el agua, ó bien á objetos que hayan pertenecido, en todo ó en parte, á un animal ó vegetal, pero que privados de vida y no siendo regidos ya por las leyes que dominan á los cuerpos vivos, se hallen sujetos á las de la inercia como los inorgánicos.

19. *Aunque se admita,* según las teorías modernas, que el universo todo es materia en movimiento y por lo tanto que posee una actividad ó energía propia, no por esto se debe decir que la materia no es inerte, toda vez que del principio de la conservación de la energía, se deduce que la de unos átomos, de éter ó de materia ponderable, no debe variar á no ser contrariada ó modificada por la de sus inmediatos.

LECCIÓN X.

Atracción en general.—Atracción universal ó planetaria.—Atracción molecular.—Gravedad ó pesantez.—Fuerzas moleculares.—Cohesión y adhesión ó adherencia.—Afinidad.—Algunas propiedades particulares de los sólidos que dependen de la cohesión.—Dureza, tenacidad, fragilidad, maleabilidad, ductilidad.—Templadura y recocido.

1.ª *La atracción* (III—14), cuyas relaciones con la repulsión (III—15) producen los diferentes estados físicos de los cuerpos, las variaciones de sus densidades y las propiedades exclusivas de ellos, aunque realmente no sea una propiedad esencial ó inherente á los átomos, sino una de las fases de la energía; sin embargo, por la manera en que percibimos y comparamos los hechos

que á ella se refieren, aparece como si aquellos y los cuerpos la poseyesen esencialmente, por cuya razón se puede continuar admitiéndola así para su más fácil y sencilla explicación. Según los diferentes aspectos bajo que se observa, se denomina: atracción universal ó planetaria, gravedad ó pesantez y atracción molecular.

2.ª *Atracción universal* ó planetaria es la fuerza en cuya virtud los cuerpos celestes, inclusa en ellos la tierra, se atraen mútuamente y de cuyas atracciones resultan sus movimientos: estudio que corresponde á la Mecánica celeste.

3.ª *Gravedad ó pesantez* es la fuerza en virtud de la cual se atraen mútuamente la tierra y los cuerpos de ella, su atmósfera y cuerpos elevados en la misma. También se da el nombre de gravedad ó pesantez á la propiedad general que esta fuerza produce en los cuerpos, en cuya virtud todos se dirigen hacia el centro de la tierra cuando se les abandona á sí mismos; así es que la voz gravedad tiene dos acepciones, la de fuerza y la de propiedad, que se distinguirán por el sentido de la locución.

4.ª *Caida de un cuerpo* es el movimiento que adquiere de arriba abajo cuando se le abandona á sí mismo.

5.ª *La gravedad, como propiedad de los cuerpos de la tierra,* se puede considerar extensiva á los astros, pues aunque no lleguen á caer sobre ella, ni viceversa, como los cuerpos de la tierra caen sobre la superficie de ésta, es porque componiéndose sus mútuas atracciones, les hacen variar á cada instante de dirección y ejecutar sus movimientos curvilíneos en las grandes curvas denominadas órbitas.

6.ª *La ley con que se efectúa tanto la atracción universal como la gravedad* es la siguiente: todos los cuerpos del universo se atraen mútuamente en razón compuesta directa de sus masas é inversa de los cuadrados de sus distancias, esto es: que si representamos por m y m' las masas de dos cuerpos, por d y d' sus distancias á un tercero, y por a y a' los valores de sus respectivas atracciones sobre el mismo, $a:a'::d'^2m:d^2m'$; de donde se deduce, que si d=d', $a:a'::m:m'$, y si m=m', $a:a'::d'^2:d^2$: proporciones que expresan respectivamente que á igualdad de distancias las atracciones son como las masas, y que á igualdad de

masas resultan en razón inversa de los cuadrados de las distancias. Respecto de las leyes de la atracción molecular nada se ha podido aún determinar.

7.ª *Atracción molecular* es la que se ejerce entre las moléculas de los cuerpos á las distancias infinitamente pequeñas que entre ellas median. Se denomina adhesión ó adherencia, cohesión y afinidad en los diferentes casos en que se puede considerar, apellidándose en común fuerzas moleculares.

8.ª *Adhesión ó adherencia* es el caso particular de la atracción cuando ésta se efectúa entre las moléculas de las superficies de los cuerpos en contacto, tendiendo á la unión de los mismos por dichas superficies.

9.ª *Cohesión* es el caso particular de la atracción cuando ésta produce la unión de las partículas, moléculas ó átomos homogéneos de los cuerpos simples ó compuestos.

10. *Afinidad* es el caso particular de la atracción cuando ésta efectúa la unión de átomos heterogéneos para formar cuerpos compuestos más ó menos complicados.

11. *La mayor ó menor cohesión de las moléculas de los cuerpos* produce en ellos mayor ó menor elasticidad y da lugar á varias propiedades particulares en los cuerpos sólidos. De éstas las que como consecuencia de la diferente cohesión conviene conocer desde luego, principalmente son: la dureza, tenacidad, fragilidad, ductilidad, maleabilidad, templadura y recocido.

12. *Dureza* es la propiedad particular de algunos sólidos, que consiste en la resistencia que oponen á ser rayados ó desgastados por otros. Se ensaya rayando unos con otros y se dice que un cuerpo es más duro que otro cuando el primero raya al segundo, esto es, que el que raya es más duro y el rayado más blando.— En esto se funda la escala de Mohs en Mineralogía, que es una serie de los diez minerales talco, yeso, espato de Islandia, fluorina, apatito, feldespato, cuarzo, topacio, corindon y diamante, cuyas durezas se designan con los números 1, 2.....10. Las de los demás cuerpos sólidos se refieren á dichos números y sus intermedios.

13. *Tenacidad* es la propiedad particular de algunos sólidos, que consiste en la resistencia que oponen á ser rotos por la tracción. Se ensaya suspendiendo los cuerpos, como cuerdas, varillas,

alambres, fibras, etc., por un extremo y cargándoles en el otro pesos convenientes hasta que, alargados y excedido el límite de su elasticidad, no recuperan su primitiva longitud, indicación de su proximidad á la ruptura.

14. *No se debe confundir* la dureza con la tenacidad tal como se considera en Mineralogía, resistencia de los cuerpos á ser rotos por la percusión, esto es, la no fragilidad, pues un cuerpo duro, como el diamante y otros, puede ser muy frágil.

15. *Fragilidad* es la propiedad particular de algunos sólidos de poder ser rotos fácilmente por la percusión, que es el acto de chocar ó golpear un cuerpo con otro.

16. *Ductilidad* es la propiedad particular de algunos sólidos de poder ser extendidos en hilos por medio de la hilera.

17. *Maleabilidad* es la propiedad particular de algunos sólidos de poder ser extendidos en láminas por medio de la acción del martillo, laminadores, etc.

18. *Templadura ó temple* es la propiedad particular de algunos sólidos de hacerse más duros y elásticos, cuando se les calienta hasta altas temperaturas y se les enfría repentinamente introduciéndolos en agua fría.

19. *Recocido* es la propiedad particular de algunos sólidos de hacerse más blandos, más flexibles, menos elásticos, menos quebradizos y menos sonoros, cuando después de calentados hasta altas temperaturas se les deja enfriar lentamente.

Hay cuerpos en que los efectos de la operación del templado y recocido resultan inversos. Ejemplo de ello es la aleación con que se fabrica el tantan de los chinos, que por el templado se hace más dúctil y maleable y por el recocido más frágil, dura y sonora. *El tantan* es un instrumento sonoro por la percusión, como las campanas, fabricado con una aleación compuesta, en 100 partes, de 78 de cobre y 22 de estaño, esto es, en relación, próximamente, de 4 de cobre á 1 de estaño.

PARTE SEGUNDA

MECÁNICA

ESTÁTICA

LECCIÓN XI.

Mecánica, su división y subdivisiones.—Ideas acerca de la apreciación y representación de las fuerzas.—Preliminares referentes á su composición y descomposición.

1.ª *Mecánica* es la ciencia físico-matemática que trata de las fuerzas, enseñando el modo de apreciarlas y relacionarlas, y resolviendo los problemas de su composición y descomposición para formular las leyes con que en los cuerpos físicos se efectúan los fenómenos de equilibrio y movimiento.

2.ª *La Mecánica se divide* en *Estática* y *Dinámica*. La primera estudia las fuerzas produciendo equilibrio y la segunda cuando producen movimiento.

3.ª *La Estática se subdivide* en Estática propiamente dicha é Hidrostática. La primera estudia el equilibrio en general y en particular el de los sólidos; la segunda el de los flúidos, que á su vez se suele dividir en Hidrostática propiamente dicha y Aerostática, según que estudia el equilibrio de los líquidos la primera, y el de los flúidos aeriformes la segunda.

4.ª *La Dinámica se divide* hoy en Cinemática, que estudia el movimiento de los cuerpos, hecha abstracción de las fuerzas que lo producen y de su materia, considerándolos reducidos á un solo punto, su centro de gravedad, esto es, estudia el movimieento bajo

el punto de vista de sus direcciones y formas, y en *Dinámica propiamente dicha*. Ésta se subdivide en *Dinámica* propiamente dicha ó de sólidos, é Hidrodinámica; estudiando la primera el movimiento de los sólidos y la segunda el de los flúidos. *La Hidrodinámica* también se suele subdividir en *Hidrodinámica propiamente dicha* y en *Aerodinámica*, según que su estudio se refiere á los líquidos ó á los flúidos aeriformes.

5.ª *La Mecánica se denomina racional* cuando su estudio es puramente teórico y se hace mediante el empleo de las matemáticas puras, inclusos los cálculos superiores.

6.ª *La Mecánica se llama aplicada*, práctica ó industrial, cuando, por los conocimientos matemáticos y de la racional, establece principios y reglas para la práctica de las artes y sus aplicaciones científicas; denominándose *Hidráulica* la parte de la Mecánica práctica que se refiere particularmente al estudio de las aplicaciones de la Hidrostática é Hidrodinámica, esto es, todo lo relativo á la conducción y elevación de aguas y construcción de obras ó mecanismos sobre que hayan de obrar los flúidos.

7.ª *Las fuerzas* bajo cualquiera de las manifestaciones de la energía que se las considere, no siendo posible conocerlas sino por los fenómenos que producen, se ha convenido en admitir que son proporcionales á sus efectos; por cuya razón, comparando éstos es como únicamente se las podrá apreciar y por consiguiente medir.

8.ª *La medida de una fuerza* se efectúa comparando su efecto con el de otra tomado por término de comparación, esto es, como unidad, y el resultado ó número obtenido será el valor de la primera respecto de la segunda que se tomará como unidad. Al efecto se admite que una fuerza es igual á otra cuando aplicadas ambas en un punto de una misma recta, pero en sentido opuesto, se destruyen mútuamente y no producen efecto.

9.ª *Las circunstancias* que es necesario considerar en una fuerza son: su intensidad, dirección, sentido de ésta y su punto de aplicación.

10. *Intensidad de una fuerza* es su valor numérico; dirección la recta según la cual tiende á mover el punto á que se halla aplicada; sentido de su dirección el segmento de la misma por

donde se concibe obrando, esto es, si á derecha ó izquierda, si adelante ó atrás, y su punto de aplicación aquel en que se considera fija y como reconcentrada.

11. *Las fuerzas se pueden representar* numérica, algebráica y geométricamente. De estos medios el más apropósito es el geométrico, porque con él se expresan á la vez todas las circunstancias de la fuerza, pues con una recta queda marcada la dirección; con las unidades de escala correspondientes la intensidad; con uno de los segmentos, en que divida á la recta el punto de aplicación, queda determinado el sentido, y con las coordenadas correspondientes el punto de aplicación.

12. *Las relaciones de posición y magnitud de las fuerzas* son las mismas que las de las rectas con que aquellas se representan, esto es, pueden ser iguales ó desiguales; estar en una ó más direcciones y sentidos; ser concurrentes ó paralelas, y estar situadas en uno ó más planos.

13. *Sistema de fuerzas* es el conjunto de dos ó más de éstas qne obran á la vez sobre un cuerpo. Componentes de un sistema son cada una de las fuerzas que lo constituyen. Resultante de un sistema de fuerzas es una nueva capaz de producir por sí sola el mismo efecto que el sistema de las dadas.

14. *Se da el nombre de equilibrio* al caso en que la disposición de las fuerzas de un sistema es tal que, destruyéndose sus efectos, no logran producir movimiento alguno en el cuerpo á que se hallan aplicadas, ó lo que es lo mismo, el caso en que siendo cero la resultante de un sistema de fuerzas no se produce movimiento.

15. *No se debe confundir* la idea de equilibrio con la de reposo, pues éste envuelve la de carencia de toda fuerza, y aquel es el resultado de un sistema de ellas, con la circunstancia especial de ser cero su resultante y no producir movimiento.

LECCIÓN XII.

Composición y descomposición de fuerzas.—Principales casos á que es posible reducir todos los sistemas de ellas.—Teoremas fundamentales.—Composición de fuerzas dirigidas en una sola recta.

1.ª *Composición de fuerzas* es el problema: dado un sistema de fuerzas, hallar su resultante; y la *descomposición* el inverso: dada una fuerza, como resultante de un sistema, y alguna ó varias de sus componentes, con una ó más circunstancias de ellas, determinar las demás fuerzas y circunstancias de dicho sistema.

2.ª *Las fuerzas* se representan del modo siguiente: la dirección con una recta, **DD'** (f.ª 1.ª), el punto de aplicación por uno, **a**, de ella, su sentido por uno de sus segmentos, **ab**, y su intensidad señalando en dicho segmento tantas unidades de escala como las del número que exprese el valor suyo: representación que se suele hacer dibujando una flecha, **a'b'** (f.ª 1.ª), de igual extensión que la del segmento, ó scñalando éste solamente con las correspondientes letras, **a"b"** (f.ª 1.ª).

3.ª *Todos los casos* de composición de fuerzas se pueden reducir á los tres principales siguientes: de fuerzas que obran en una sola dirección (f.ª 2.ª); de fuerzas que obran en dos ó más direcciones concurrentes (f.ª 3.ª), y de dos ó más que lo efectúan en direceciones paralelas (f.ª 4.ª).

4.ª *Dada una fuerza*, **ab** (f.ª 5.ª), aplicada á un punto, **a**, es posible, sin alterar su efecto, trasladarla á otro, **a'**, de su misma dirección que esté invariablemente ligado al primero. En efecto, introduciendo en el punto, **a'**, dos fuerzas, **a'b'** y **a'b"**, iguales entre sí y en sentidos opuestos é iguales á la dada, **ab**, el efecto de ésta no se alterará, por ser cero el de aquellas; mas pudiendo considerar también como cero, en el sistema de las tres indicadas fuerzas, el efecto de la dada, **ab**, y el de la **a'b'**, por iguales y opuestas, se las podrá suprimir sin alterar aquel sistema, y se deberá obtener el mismo resultado con la fuerza restante, **a'b"**.

5.ª *En todo sistema* de fuerzas en equilibrio, **oa, ob, oc,** (f.ª 6.ª) una cualquiera de ellas, **oc**, deberá ser igual y directamente opuesta á la resultante, **or**, de las demás, con la cual se pueda destruir;

pues de lo contrario, ésta y aquélla darían otra resultante y por consiguiente un movimiento, contra lo supuesto.

6. *Los sistemas de fuerzas* aplicadas en una sola recta pueden ofrecer los casos siguientes: estar todas aplicadas á un solo punto ó en puntos diferentes, y, en ambos casos, en un solo sentido ó en sentidos opuestos.

7.ª *La resultante*, aR, (f.ª 2.ª) de dos ó más fuerzas, ab y a'b', que obrando sobre un mismo cuerpo, se aplican en un solo punto, a, de una recta y en el mismo sentido, es igual á la suma de las intensidades de todas ellas: teorema fácil de demostrar experimentalmente.

8.ª *La resultante* de dos fuerzas iguales, ab y a'b', (f.ª 7.ª) aplicadas en el mismo punto, a, de una recta, DD', pero en sentidos opuestos, es siempre cero y el caso más sencillo de equilibrio; pues que éste también se puede producir con un sistema de mayor número de fuerzas, iguales ó desiguales: verdad que se puede considerar como axioma, según la idea dada de la igualdad de las fuerzas (XI—8.ª) y que también se puede comprobar experimentalmente.

9.ª *La resultante* de dos fuerzas desiguales, ab y a'b' (f.ª 8.ª), aplicadas en un punto, a, de una recta, una, ab, en un sentido y otra, ab', en el opuesto, es igual á la diferencia, aR, de las mismas, y obra en el sentido de la mayor, ab: lo que es fácil deducir y también demostrar experimentalmente.

10. *La resultante* de varias fuerzas aplicadas en un mismo punto de una recta y dirigidas en sentidos opuestos, es igual á la diferencia entre la resultante de las dirigidas en un sentido y la de las que se dirigen en el opuesto, obrando en el de la que da mayor resultante; pues componiendo unas y otras según el primero de los dos casos anteriores (XII—7.ª), este tercer caso queda reducido al segundo de aquellos (XII—9.ª).

11. *Cuando las fuerzas* de un sistema se hallan dirigidas en una misma recta, pero aplicadas á diferentes puntos, aquel se puede reducir al correspondiente de los anteriores, trasladando todas las fuerzas á un solo punto de la recta, invariablemente unido á los de aplicación de las componentes, bien sea este punto el de aplicación de una de ellas ú otro cualquiera.

12. *El problema* de la descomposición de una fuerza dada, como resultante de un sistema de fuerzas dirigidas en una sola recta, es más ó menos difícil, indeterminado y hasta irresoluble; pero como ejemplo sencillo y resoluble podemos proponer el siguiente: dada una fuerza como resultante de dos aplicadas á un mismo punto de una recta y en un mismo sentido, y conocida la intensidad de una de ellas, determinar la intensidad de la otra; pues se hallará con sólo restar la segunda fuerza de la primera de las dos dadas, toda vez que su sentido y punto de aplicación son los mismos que los de aquellas. En todos estos problemas, las sumas y restas de las fuerzas se obtendrán como las de las líneas con que están representadas sus intensidades.

13. *Si la fuerza* dada como resultante lo fuese de dos fuerzas dirigidas según una sola recta y en el mismo sentido, pero aplicada en dos puntos diferentes, sería necesario conocer también el punto de aplicación de la componente dada y de la desconocida. Los demás casos inversos á los que comprende la composición de fuerzas dirigidas en una sola recta, se complican más y más, por ser necesarios también más y más datos.

LECCIÓN XIII.

Composición de fuerzas concurrentes en sus diferentes casos.—Descomposición de una fuerza como resultante de un sistema de fuerzas concurrentes en los casos más sencillos y necesarios.

1.ª *Dos fuerzas concurrentes*, oa y ob (f.ª 9.ª), no pueden producir equilibrio y por consiguiente dan siempre una resultante. En efecto: si pudiesen producir equilibrio, introduciendo en el punto, o, de aplicación y concurso de las componentes una fuerza, oa', igual á una de las dadas, oa, y en sentido contrario, tanto se podría considerar el equilibrio supuesto de, oa y ob, como el que resultaría entre la fuerza introducida, oa', y su opuesta, oa: en el primer caso, el cuerpo sobre que obrasen las fuerzas dadas se debería mover según la introducida, oa', y en el segundo, según la fuerza, ob, de las dos dadas no opuesta á la antedicha, oa'; y como tanta razón habría para lo uno como para lo otro, resultaría que el cuerpo podría seguir á la vez las dos direcciones, oa'

y **ob**, lo cual, siendo imposible, demuestra que es absurdo suponer el equilibrio de dos fuerzas concurrentes; luego darán siempre una resultante, y como el cuerpo no podrá seguir á la vez las dos direcciones de las componentes, la de dicha resultante habrá de ser una intermedia á las de aquellas.

2.ª *Teorema del paralelógramo* de fuerzas es el enunciado siguiente: La resultante de dos fuerzas concurrentes, **oa** y **ob** (f.ª 10), aplicadas en su punto de concurso, **o**, es igual, en intensidad y dirección, á la diagonal, **or**, del paralelógramo, **aobr**, construido sobre las intensidades de las componentes, esto es, sobre las longitudes, **oa** y **ob**, que las representan.

3.ª *El teorema del paralelógramo* de fuerzas se puede demostrar por un sencillo razonamiento ó experimentalmente, ó con el aparato denominado del paralelógramo de fuerzas.

4.ª *La resultante* de dos fuerzas concurrentes no depende sólo de la intensidad de ellas, sino que también del valor del ángulo de sus direcciones, pues si éste no varía, depende de los valores de las componentes, y si éstas permanecen constantes, depende del valor del ángulo que forman; de donde resultan las consecuencias siguientes:

1.ª Si aumentan ó disminuyen una ó ambas componentes, **oa** y **ob**, y su ángulo, **aob**, no varía, la resultante, **or**, aumenta, como indica la f.ª 11, ó disminuye también; pero si aumenta ó disminuye dicho ángulo, **aob** (f.ª 12), y las componentes, **oa** y **ob**, no varían, la resultante, **or**, por el contrario, como indica la f.ª 12, disminuye ó aumenta.

2.ª La resultante no varía si, aumentando ó disminuyendo alguna de las componentes, ó las dos á la vez, **oa** y **ob** (f.ª 13), su ángulo, **aob**, por el contrario, disminuye ó aumenta en grado conveniente; por cuya razón es posible obtener igual resultante con muy distintas componentes.

5.ª *Los límites* entre que puede variar la resultante de dos fuerzas concurrentes, al hacerlo sus intensidades y no su ángulo, son: cero, cuando las intensidades de las dos componentes por su disminución llegan á ser cero, y el infinito cuando creciendo sus valores, estos llegan á ser infinitamente grandes, es decir, que la resultante se puede obtener con infinitos valores.

6.ª *Los límites* entre que se puede obtener la resultante de dos fuerzas concurrentes, **oa** y **ob** (f.ª 14), al variar el ángulo, permaneciendo constantes las componentes, son: la suma, **oR**, cuando dicho ángulo por su disminución queda reducido á cero, esto es, cuando las dos componentes, **oa** y **ob**, se superponen y quedan en una misma dirección y sentido, **oR**; y la diferencia, **or"**, cuando el ángulo, **aob**, llega á ser de 180°, esto es, cuando las dos componentes resultan en la misma dirección, pero en sentido opuesto, **oa"** y **ob"**.

7.ª *La resultante* de dos fuerzas concurrentes, **oa** y **ob** (f.ª 10), es siempre menor que la suma de ellas y mayor que su diferencia; porque siendo cualquiera de los lados de todo triángulo menor que la suma de los otros dos y mayor que su diferencia, dicha resultante, **or**, se hallará en iguales relaciones con sus componentes, **oa** y **ob**, pues deben ser las mismas que las de los tres lados de cualquiera de los dos triángulos de la figura, siendo como son los valores de una y otras los de dichos lados.

A primera vista podrá parecer esta deducción falta de conformidad respecto de los valores deducidos para los límites de la resultante de dos fuerzas concurrentes, pero no es así, pues en los límites 0° y 180° de los valores del ángulo, éste, en realidad, deja de existir y tales casos quedan reducidos á los dos siguientes: cuando cero, al de dos fuerzas de igual dirección y sentido, cuya resultante (XII—7.ª) es la suma; y cuando 180°, al de dos dirigidas en la misma recta y sentido opuesto, cuya rssultante es la diferencia (XII—9.ª).

8.ª *La resultante* de tres fuerzas concurrentes en un punto y situadas en un solo plano, se determina hallando primero la de dos, **or** (f.ª 15), por la regla correspondiente (XIII—2.ª) y después la, **oR**, de esta resultante y de la fuerza tercera. Si se hallan en planos diferentes, es igual á la diagonal del paralelípedo construido sobre las intensidades de ellas, como se ve fácilmente componiendo primero dos y después la resultante de éstas con la fuerza restante, según el teorema del paralelógramo (XIII—2.ª).

9.ª *Cuando las fuerzas* concurrentes en un punto son más de tres, si están en un solo plano, su resultante se halla: componiendo primero dos, después la resultante de éstas con otra ó con la resultante de otras dos, y así sucesivante, y la última resultante así obtenida será la del sistema. Si las fuerzas no se hallan

todas en el mismo plano, se componen dos á dos ó tres á tres, y la resultante final será la pedida.

10. *Los casos* de fuerzas concurrentes, pero aplicadas en diferentes puntos, se reducen á los anteriores, prolongando las direcciones de dos hasta que se corten; trasladando ambas á su punto de concurso y componiéndolas por el teorema del paralelógramo (XIII—2.ª); se procede de la misma manera con la resultante así obtenida y otra de las componentes, y se continúa del mismo modo hasta haber empleado todas las del sistema.

11. *El problema* de la descomposición de una fuerza en un sistema de fuerzas concurrentes puede ser más ó menos difícil é indeterminado, ó imposible; pero como ejemplos de descomposición de una fuerza dada cual resultante de alguno de los casos de composición de dichos sistemas, podemos resolver fácilmente los problemas siguientes:

1.° Dada una fuerza, **oR**, (f.ª 16) como resultante de dos concurrentes en el punto, **o**, de aplicación de aquella, y sus direcciones, esto es, el ángulo que cada componente forma con la fuerza dada, hallar sus intensidades.

Resolución.—Por el extremo, **o**, de la fuerza dada, **oR**, punto de aplicación supuesto de las componentes, se trazan dos rectas, **oA** y **oB**, que formen con aquellas los ángulos dados 25.° y 56.°, y por el otro extremo, **R**, las respectivas paralelas á ellas, **bR** y **aR**, y las partes de las **oA** y **oB**, comprendidas entre su punto de concurso y dichas paralelas serán respectivamente las intensidades pedidas, esto es, **oa** y **ob**.

2.° Dada una fuerza como resultante de dos concurrentes en el punto de aplicación de aquella y las intensidades de éstas, hallar sus direcciones, esto es, el ángulo que hayan de formar con la fuerza dada (f.ª 17).

3.ª Dada una fuerza como resultante de dos concurrentes en el punto de aplicación de aquella y la dirección é intensidad de una de ellas, hallar la dirección é intensidad de la otra (f.ª 18).

4.° Dada una fuerza como resultante de dos concurrentes en el punto de aplicación de aquella, la dirección de una y la intensidad de la otra, hallar la intensidad de la primera y la dirección de la segunda (f.ª 19).

Los tres últimos problemas se resuelven tan sencillamente como el primero, según indican las respectivas figuras.

LECCIÓN XIV.

Composición de fuerzas cuyas direcciones son paralelas. — Par de fuerzas. — Centro de fuerzas paralelas é indicación respecto á la descomposición de las mismas.

1.ª *Los casos* de composición de fuerzas paralelas pueden ser los siguientes: 1.°, de dos, y 2.°, de más de dos. En el primero, se podrán hallar ambas en un solo plano y dirigidas en el mismo sentido ó en sentidos opuestos. En el segundo podrán estar en uno ó más planos, ya en el mismo sentido ó en sentidos opuestos.

2.ª *La resultante* de dos fuerzas paralelas y dirigidas en el mismo sentido es igual en intensidad á la suma de las intensidades de las componentes, su sentido el de las mismas, y su punto de aplicación resulta situado entre los de aplicación de las componentes, dividiendo la distancia del uno al otro en partes inversamente proporcionales á las intensidades de las mismas; de modo, que si las intensidades de las dos fuerzas se representan respectivamente por P y Q, (f.ª 20), por R, su resultante, y por a, b y c, sus respectivos puntos de aplicación se tendrá $R = P + Q$, y que $P : Q :: bc : ac$. Esta proporción, traducida al lenguaje vulgar, quiere decir: que si dividimos la distancia entre los puntos de aplicación de las dos fuerzas en tantas partes iguales como unidades tenga la suma de sus intensidades, el punto de aplicación de la resultante distará del de aplicación de la primera tantas de aquellas partes como unidades tenga la intensidad de la segunda, y del de aplicaeión de ésta tantas como sean las unidades de la intensidad de la primera.

Ejemplo: si la primera vale 3 y la segunda 2, cuya suma es 5, dividiendo la distancia del punto a de aplicación de la primera fuerza, al b del de la segunda, en 5 partes iguales, el c de aplicación de la resultante distará del a de la primera 2 y del b de la segunda 3.

Este teorema que la Mecánica demuestra completa y exactamente, se puede hacer comprender por un sencillo razonamiento,

y experimentalmente con el aparato destinado á esta demostracion.

Cuando las direcciones de las fuerzas P y Q sean perpendiculares á la recta que una sus puntos de aplicación, las distancias ab y bc de ellos al de aplicación c de la resultante, serán á la vez distancias de dicho punto á las direcciones de las fuerzas dadas. En este caso, llamándose momento de una fuerza con relación á un punto, la distancia de éste á la dirección de aquella multiplicada por su intensidad, los productos iguales $P \times ac$ y $Q \times bc$ de medios y extremos de la proporción $P : Q :: bc : ac$, serán los respectivos momentos de P y Q con relación á c, por cuya razón la igualdad $P \times ac = Q \times bc$ de dichos productos se denomina ecuación de los momentos con relación á c. La teoría de éstos, sumamente importante en Mecánica, como la de los pares, no puede tener oportuna cabida en la naturaleza y grado de la enseñanza á que corresponden estas lecciones.

3.ª *El punto de aplicación* de la resultante de dos fuerzas paralelas é iguales resulta en el punto medio entre los de aplicación de aquellas, y si son desiguales se aproxima siempre al de aplicación de la mayor de las dos: resultado que se deduce del teorema anterior y que también se puede demostrar por un sencillo razonamiento vulgar, ó experimentalmente.

4.ª *La distancia* del punto de aplicación de dos fuerzas paralelas, dirigidas en un mismo sentido, al de aplicación de una de ellas es igual al cociente que resulta de dividir la intensidad de la otra por la resultante de ambas, multiplicado por la distancia entre sus puntos de aplicación. En efecto, siendo $R = P + Q$ y $ac + bc = ab$ (f.ª 20), si en la proporción $P : Q :: bc : ac$ se compara la suma de antecedente y consecuente de cada razón con el antecedente, resulta que $ac = \frac{P}{R} \times ob$; y si con el consiguiente que $ac = \frac{Q}{R} \times ab$.

5.ª *La resultante* de tres ó más fuerzas paralelas y en el mismo sentido, hállense en un solo plano ó en planos diferentes, es siempre igual á la suma de las componentes, paralela á las mismas y en igual sentido, y su punto de aplicación se determina por medios directos que enseña la Mecánica.

Para formarse idea de la posibilidad de esta determinación, basta considerar lo siguiente: si se componen dos, se podrá hallar su resultante

y punto de aplicación según (XIII— 2.ª); componiendo esta resultante con otra de las fuerzas restantes, se podrá hallar del mismo modo su resultante y punto de aplicación, y continuando así, sucesivamente, se llegará á obtener una última resultante, suma de todas, y su punto de aplicación, que será el del sistema dado.

6.ª *La resultante* de dos fuerzas paralelas y dirigidas en sentidos opuestos es igual en intensidad á la diferencia de sus intensidades, su dirección paralela á las de aquellas y obrará en el sentido de la mayor, y su punto de aplicación se hallará fuera de la distancia de los de aplicación de las fuerzas y más próximo al de la mayor.

Este teorema se demuestra fácilmente según el teorema directo de (XIV—2.ª), y el de (XII—5.ª) con la correspondiente (f.ª 21). La distancia del punto de aplicación de la resultante al de aplicación de la fuerza mayor de las dos dadas se halla por la fórmula $bc = \frac{P}{R} \times ac$, que se deduce de la proporcionalidad $P : Q :: bc : ac$ de la (f.ª 21).

7.ª *La resultante* de dos fuerzas paralelas, iguales y de sentido opuesto, es cero; pero no por esto hay equilibrio, pues resulta lo que en Mecánica se denomina par de fuerzas.

8.ª *Par de fuerzas* es el sistema de dos fuerzas paralelas, iguales y de sentido opuesto (f.ª 22), el cual, no obstante dar resultante cero, produce siempre movimiento giratorio.

9.ª *La resultante* de más de dos fuerzas paralelas y en sentidos opuestos se halla componiendo (XIV — 2.ª) la resultante de las dirigidas en uno, y después las del opuesto; con lo que este caso quedará reducido al de (XIV—6.ª)

10. *Se dá el nombre* de centro de fuerzas paralelas al punto de aplicación de la resultante de cualquier sistema de ellas.

11. *El centro de fuerzas paralelas* no varía aunque cambie la dirección de las componentes, siempre que permanezcan paralelas y no varíen sus intensidades ni sus puntos de aplicación; pues así, no variando los datos que para su determinación se necesitan, el resultado será el mismo.

12. *El problema* de descomponer una fuerza dada como resultante de un sistema de fuerzas paralelas será tanto más difícil,

indeterminado ó imposible, á medida que sea mayor el número de componentes, circunstancias que se pidan y menor el número de datos.

13. El caso de descomponer una fuerza en un número de fuerzas iguales, paralelas, dirigidas en un mismo sentido y aplicadas en puntos equidistantes del de aplicación de aquella, es problema que, aunque indeterminado, conviene resolver en algunas ocasiones.

Resolución: dada la fuerza, se divide en el número de partes iguales que se pida y se tendrá el valor de cada componente; por su punto de aplicación se traza una ó más rectas; se toma en ellas á uno y otro lado del punto de aplicación de la fuerza dada tantas distancias iguales como sea el número de fuerzas pedido, y los puntos de división serán los de aplicación de ellas.

LECCIÓN XV.

Concepto de la atracción terrestre. — Gravedad, como fuerza, causa de la caida de los cuerpos.—Peso, centro de gravedad de éstos, vertical y horizontal.—Peso relativo y peso especifico. — Relaciones entre los pesos de los cuerpos, sus masas, densidades y volúmenes.

1.ª *La gravedad* como causa de la caida de los cuerpos se suele definir diciendo, es la fuerza en cuya virtud todo cuerpo abandonado así mismo, se dirige hacia el centro de la tierra; pero de este modo se viene á confundir con la propiedad que les dá, denominada también gravedad ó pesantez, ó con su peso, que son cosas tan distintas como causa y efecto, ó como sumando y suma.

2.ª *Fuerza de gravedad,* bajo cualquiera de la fases de la energía con que sea considerada, se puede decir es, no una fuerza, sino la resultante del sistema de fuerzas formado por las atracciones recíprocas entre los átomos de la tierra y las de uno cualquiera fuera de ella, como si dichas acciones existiesen esencialmente en los átomos; si bien para simplificar se considera cual una sola fuerza, que desde el centro de la tierra obrase respecto á los cuerpo existentes sobre ella, atrayendo á cada uno de los átomos de aquellos (f.ª 23); pues, según demuestra la Mecánica, el efecto de las atracciones de los puntos de una esfera, de capas concéntricas y homogéneas, sobre un punto material exterior á ella,

resulta como si toda su masa se redugese á su centro: consideración que se aplica á la tierra, pues, aunque no es exactamente esférica al estar aplanada por los polos, ni sus capas son homogéneas, las diferencias resultantes se pueden despreciar.

3.ª *La gravedad*, al obrar sobre cada átomo de los de un cuerpo, viene á formar en éste un sistema de fuerzas aplicadas en aquellos y concurrentes hacia el centro de la tierra, en cuya virtud es como se produce la caida de los cuerpos, y no por su peso, que es la resultante del sistema. Según esto, aunque para mayor sencillez se puede considerar esta resultante, *el peso*, en vez de todo el sistema, se ve claramente no se debe confundir la gravedad con el peso, ni el peso con la gravedad, que sólo es una de sus componentes.

4.ª *El sistema de fuerzas* que la gravedad forma al obrar sobre cada átomo de los de todo cuerpo, aunque en realidad es un sistema de fuerzas concurrentes hacia el centro de la tierra y por consiguiente en la dirección de los correspondientes radios de ésta, **ob, oc, od**, etc. (f.ª 23), se considera como uno de fuerzas paralelas, **ag, bg, cg, dg**, (f.ª 24): pues siendo tan grandes las longitudes de los radios correspondientes á los átomos de un cuerpo y estando tan poco distantes unos de otros, las inclinaciones de dichos radios, en sus prolongaciones, **cv** y **cv'** (f.ª 24), hasta los puntos del cuerpo que se considere, serán tan pequeñas que se podrán despreciar.

La resultante, *oP*, (f.ª 24) del sistema de fuerzas paralelas de la gravedad sobre los cuerpos se podrá considerar como una sola fuerza, suma de las del sistema, aplicada á un punto, *o*, interior del mismo cuerpo, que, por ser centro de fuerzas paralelas, se denomina centro de gravedad, y su dirección, que se llama vertical, pasará, como todas las de las componentes del sistema, por dicho punto, *o*, y el centro, *c*, de la tierra, esto es, deberá pasar por el centro de gravedad del cuerpo y el centro de la tierra.

5.ª *La caida de un cuerpo* (X—4.ª) se puede considerar producida por las acciones simultáneas de la gravedad sobre sus átomos, ó como por la resultante de aquellas, *su peso*, aplicada á su centro de gravedad.

6.ª *Peso de un cuerpo* es la resultante del sistema de fuerzas paralelas que la gravedad forma al obrar sobre sus átomos.

7.ª *Centro de gravedad* de un cuerpo es el centro de fuerzas paralelas del sistema que la gravedad forma al obrar sobre los átomos de aquél.

8.ª *Línea vertical,* ó simplemente *vertical,* es la recta por donde desciende en su caida el centro de gravedad de un cuerpo: recta que viene á ser el radio terrestre prolongado, co, (f.ª 24) comprendido entre el centro de gravedad del cuerpo y el centro de la tierra. Se determina por el hilo de la plomada cuando ésta queda en reposo; pues que éste no puede resultar sino cuando la dirección de dicho hilo y la de la gravedad coinciden en una misma recta y sentido opuesto.

9.ª *Plomada* es un sencillo aparato compuesto de una pesa cónica, ligada por el centro de su base al extremo de un hilo, que, suspendido por el otro extremo, determina la dirección vertical cuando aquella queda en reposo; por cuya razón se suele llamar hilo á plomo.

Las verticales correspondientes á puntos no muy distantes se pueden tomar, sin inconveniente, por verdaderas paralelas, como sucede al establecer alineaciones en las operaciones topográficas y construcción de edificios; pero si las distancias son grandes, entonces es necesario tomar en consideración el ángulo que forman, como sucede en las operaciones geodésicas.

10. *Línea horizontal* ó simplemente *horizontal* es la recta perpendicular á la vertical correspondiente á un punto dado.

11. *Plano horizontal* correspondiente á un punto de la superficie terrestre es el perpendicular á la vertical de dicho punto. Ejemplo de plano horizontal es la superficie de las aguas tranquilas en vasos de corta extensión: esta superficie se denomina *superficie de nivel. Nivelar* los objetos es ponerlos de manera que alguna cara plana de ellos resulte en plano horizontal.

12. *La expresión* del peso de un cuerpo es P=gm. En efecto: llamando P al peso del cuerpo, m á su masa y g al valor de la gravedad que actúa sobre cada átomo; siendo dicho peso, como resultante de un sistema de fuerzas paralelas, igual á la suma de ellas g+g+g... tantas veces como sea el número, m, de átomos, esto es gm, resulta P=gm.

13. *El valor del peso* de un cuerpo no se puede determinar de

un modo absoluto, lo mismo que sucede con su densidad, pues aunque en las fórmulas $P=gm$ y $D=\frac{m}{V}$ se puede conocer, g y b, no es dado determinar el valor de m.

14. *Las fórmulas* $P = gm$ y $D = \frac{m}{V}$, aunque no sea dable determinar por ellas los pesos ni las densidades en absoluto, sirven para establecer relaciones entre pesos, masas, densidades y volúmenes, de las cuales resultan los *pesos relativos* y las *densidades relativas* denominadas *pesos específicos*, por cuya razón hay que distinguir las diferentes clases de pesos que es necesario considerar.

15. *Peso absoluto* de un cuerpo es lo dicho en su definición (XV—6.ª); peso relativo de cada cuerpo es la relación entre su peso absoluto y el absoluto de otro que se toma por unidad, como el de la libra, kilogramo, etc., que constituyen lo que se llaman pesas: estos pesos son los que se aprecian en los usos de la vida y se obtienen al pesar.

16. *Pesar* es la operación que se práctica en el comercio, artes y ciencias, con las balanzas, romanas, etc., y los correspondientes sistemas de pesas, para hallar los pesos relativos de los objetos.

17. *Peso específico* de un cuerpo es la relación entre su peso relativo y el relativo de otro, con igual volumen, cuya densidad se tome por unidad.

18. *Las relaciones* de los pesos, volúmenes, masas y densidades de dos cuerpos, son las siguientes.

1.ª Los pesos absolutos son proporcionales á sus respectivas masas. En efecto: si se representan por P y P′ los pesos absolutos de dos cuerpos; por m y m′ sus masas, y por g el valor de la gravedad, siendo $P=gm$ y $P'=gm'$; $P : P' :: gm : gm'$, y suprimendo el factor común g, resulta $P : P' :: m : m'$.

2.ª *Los pesos relativos de dos cuerpos* son proporcionales á los absolutos de los mismos, P y P′, por cuya razón se toman unos por otros. En efecto: si se representan por p y p′ los pesos relativos y por z el absoluto del que se tome por unidad, como $p=\frac{P}{z}$ y $p' = \frac{P'}{z}$, resulta $p : p' :: \frac{P}{z} : \frac{P'}{z} :: P : P'$; esto es, $p : p' :: P : P'$.

3.ª *Los pesos relativos* son como las masas: En efecto, siendo P : P' :: m : m', y P : P' :: p : p', resulta que p : p' :: m : m'.

4.ª Las densidades de dos cuerpos de diferentes masas, pesos y volúmenes, están en razón compuesta directa de las masas é inversa de sus volúmenes V y V'. En efecto, siendo $D = \frac{m}{V}$ y $D' = \frac{m'}{V'}$; $D : D' :: \frac{m}{V} : \frac{m'}{V'}$ y, quitando los divisores, D : D' :: mV' : m'V.

5.ª Los pesos absolutos, y lo mismo los relativos que les son proporcionales, están en razón de los productos de sus densidades por sus volúmenes respectivos. En efecto, siendo P = gm (1.ª) y $D = \frac{m}{V}$ (2.ª), eliminando m resulta P = gDV, pues si se despeja m en la (2.ª) igualdad, m = DV, y sustituyendo este valor en vez de m en la primera, tendremos que P = gDV y por lo mismo P' = gD'V'; luego P : P' :: gDV : gD'V' y, suprimiendo g, factor comun, P : P' :: DV : D'V' (a): proporción que servirá en la lección correspondiente para la determinación de los pesos específicos.

LECCIÓN XVI.

Centros de gravedad.—Diferentes clases de equilibrio en que puede resultar un cuerpo colocado sobre otro.

1.ª *El centro de gravedad* de un cuerpo (XV—7.ª) no varía, permaneciendo el mismo cualquiera que sea su colocación, porque las acciones de aquella se conservan siempre iguales en intensidad, paralelas y aplicadas en los mismos puntos, en cuyo caso sabemos (XIV—11.ª) no cambia el centro de fuerzas paralelas.

2.ª *Para impedir* la caida de los cuerpos es necesario neutralizar el efcto de la gravedad sobre ellos, bien equilibrando la acción de ella, actuante sobre cada molécula, con una fuerza igual y opuesta, ó destruyendo la resultante de todas aquellas acciones con una fuerza igual y dirigida en sentido opuesto; lo que se puede ejecutar de dos modos: suspendiendo el cuerpo de uno ó más puntos fijos y resistentes; ó apoyándolo sobre uno ó más de

éstos, es decir, colgándolo ó colocándolo sobre otros cuerpos que le sirvan de apoyo.

3.ª *Suspendido un cuerpo* por uno de sus puntos, no podrá quedar en equilibrio sino cuando su centro de gravedad persista en la vertical correspondiente al punto de suspensión; pues entonces su peso y la resistencia del hilo, ó del punto de suspensión, se hallarán en una misma recta, en sentidos opuestos, y se destruirán si la resistencia del hilo, ó del punto de suspensión, no es menor que el peso del cuerpo: si éste no se halla suspendido sino colocado sobre otro, quedará en equilibrio cuando la vertical que pase por su centro de gravedad no caiga fuera de su base de sustentación.

4.ª *Base de sustentación* de un cuerpo es la superficie constituida por sus puntos de contacto con los de aquel sobre el cual se halla colocado, ó la comprendida entre los puntos del segundo sobre que se apoya el primero. En un paralelipípedo colocado con una de sus caras sobre una mesa, su base de sustentación es el paralelógramo de la cara sobre que descansa; mas si un objeto se sostiene por tres ó más piés, como los veladores, trípodes, etc., su base de sustentación es el polígono que determinan los puntos en que aquellos se apoyan.

5.ª *La determinación* del centro de gravedad de los cuerpos es cuestión muy interesante, por lo que influye su colocación en la estabilidad de sus posiciones.

El primero que consideró el centro de gravedad, y se ocupó en determinar su posición en un gran número de cuerpos, fué Arquímedes.

6.ª *El centro* de gravedad de un cuerpo es el de su figura ó simetría cuando es de materia homogénea; pero en caso contrario su situación depende del modo con que aquella se halla colocada ó distribuida.

7.ª *El centro* de gravedad de un cuerpo se halla siempre en su interior, porque siendo centro de fuerzas paralelas, dirigidas en igual sentido, se ha de hallar entre los puntos de aplicación de las componentes, que son los del cuerpo.

8.ª *En los anillos*, esferas huecas, etc., aunque el centro de gravedad se hallará en su interior, no siempre será punto material de ellos.

En tales casos, para tenerlos en equilibrio, no siendo dable suspender ó sostener directamente el centro de gravedad, por lo imposible de aplicar en él fuerza alguna, por ser inmaterial, es necesario proceder del modo siguiente: ligar dos ó más de sus puntos al de suspensión ó de apoyo del cuerpo y con él, por consiguiente, su centro de gravedad, en disposición que éste venga á caer en la vertical correspondiente al punto de suspensión, ó, si está apoyado sobre otro, que la vertical correspondiente al centro de gravedad no caiga fuera de la base de sustentación.

9.ª *Al decir centro* de gravedad de una recta, círculo, etc., se debe sobreentender que las dimensiones del cuerpo son tales que sólo se considera su longitud, como en los alambres, barras, etc., ó que por ser pequeño su grueso no se toma éste en consideración y se atiende solamente á una de sus caras, como en las placas de metal, vidrio, madera, etc.

10. *Los centros* de gravedad que más principalmente conviene saber determinar son los siguientes: Los de la línea, triángulo paralelógramo, polígonos regulares y círculo; los de la pirámide, prisma, poliedros regulares y esfera, y los del cono y cilindro.

11. *El centro* de gravedad de una recta se halla en su punto medio; el del triángulo á la tercera parte de la recta que une el punto medio de un lado, centro de gravedad de éste, con el vértice del ángulo opuesto, relativamente al lado, ó á los dos tercios respecto de dicho vértice, según se demuestra con la (f.ª 25); el de los paralelógramos en la intersección de sus diagonales, y en los polígonos regulares y círculo en sus respectivos centros.

12. *El centro* de gravedad de la pirámide triangular se halla en el punto de la recta que une su vértice con el centro de gravedad del triángulo de la base, á la cuarta parte de dicha recta respecto de aquella, ó á las tres cuartas partes desde el vértice: si la pirámide no es triangular, se halla del mismo modo en la línea de igual situación.

13. *El centro* de gravedad de los prismas se halla en la intersección de sus diagonales; el de los poliedros regulares y esfera, en sus respectivos centros; el del cono en iguales condiciones que en las pirámides sobre la línea que une su vértice con el centro de gravedad de la base, y el del cilindro en el punto medio de su eje.

14. *El centro* de gravedad de los cuerpos de forma irregular no es de fácil determinación, pero en los de poco grueso es posi-

ble hallar en alguna de sus caras un punto que en la práctica sirva en vez de aquel; lo que se consigue por el método siguiente: suspéndase el cuerpo por uno de sus puntos con el hilo de una plomada y, cuando quede en reposo, señálese la dirección de dicho hilo sobre la cara del cuerpo con la cual coincida; hágase igual operación suspendiendo el cuerpo por otro de sus puntos, que no esté en la recta ya trazada; señálese de la misma manera la dirección del hilo en la nueva posición del cuerpo, y el punto en que las antedichas líneas se corten, será equivalente, en la práctica, al verdadero centro de gravedad.

En efecto, el punto así determinado sería el centro de gravedad del cuerpo si éste no tuviese grueso, pero como esto no es exacto, tampoco dicho punto es el verdadero centro de gravedad; sin embargo, como éste se debe hallar en la línea que por aquel punto atraviesa al cuerpo, según es fácil hacer ver, sostenido el punto hallado, lo queda igualmente la citada línea y con ella el verdadero centro de gravedad.

15. *El centro* de gravedad del hombre en su estación, esto es, en actitud bípeda y vertical, se halla en la parte interior y central de la pelvis ó bacinete, y su base de sustentación es la parte de plano ocupada por sus piés y comprendida entre los mismos; pero varían uno y otra al cambiar de actitud ó posición.

16. *Cuando los cuerpos* no se suspenden sino que se apoyan sobre otros, pueden quedar con más ó menos seguridad ó estabilidad, según las circunstancias de su colocación, en una de las tres clases de aquilibrio siguientes: en equilibrio estable, inestable é indiferente.

17. *Se dice* que un cuerpo colocado sobre otro está en equilibrio estable, cuando su forma y la situación de su centro de gravedad son tales, que desviado de su posición tiende á recobrarla cuando cesa la causa del desvío. Se verifica siempre que para sacar al cuerpo de su posición, es necesario imprimir movimiento ascensional á su centro de gravedad: cuanto más próximo resulte éste á la base, tanto mayor será la estabilidad del cuerpo.

18. *Se dice* que un cuerpo colocado sobre otro está en equilibrio inestable cuando su forma y la situación de su centro de gravedad son tales, que desviado de su primera posición no tiende á recobrarla y sí á tomar otra más estable. Se verifica siempre que

al sacar al cuerpo de la primera posición, su centro de gravedad resulta en condiciones de descender por sí: cuanto más alto ó distante de la base resulta el centro de gravedad de un cuerpo, tanto mayor es su inestabilidad.

19. *Se dice* que un cuerpo colocado sobre otro está en equilibrio indiferente cuando su forma y situación de su centro de gravedad son tales, que persiste con igual estabilidad en cuantas posiciones pueda tener, como sucede con una esfera cuando se la coloca sobre un plano horizontal.

20. *La estabilidad* de los cuerpos depende de la amplitud de su base de sustentación y de la distancia á ésta de su centro de gravedad; pero á igualdad de base depende de la distancia á ésta de su centro de gravedad, y á igualdad de la distancia de éste á la base de la amplitud de esta misma.

21. *Todo cuerpo* colocado sobre otro permanecerá en equilibrio más ó menos estable, inestable ó indiferente, siempre que la vertical que pase por su centro de gravedad no caiga fuera de su base de sustentación; pero si cae fuera, el equilibrio deja de existir y el cuerpo cae.

22. *Las torres*, pirámides, etc. con cierta inclinación, siendo de materia homogénea, no pueden conservar su posición y caen; pero construidas, cargando materiales más pesados hacia la base y parte opuesta de aquella á que se inclinan, su centro de gravedad baja, se consigue que la vertical que pasa por aquél no caiga fuera de la base y que persistan en su posición con más ó menos estabilidad.

23. *La teoría* de los centros de gravedad explica multitud de hechos sorprendentes, como los que se presencian en muchos de los espectáculos públicos y usos de la vida, que sería largo de enumerar.

LECCIÓN XVII.

Ideas generales relativas á las máquinas.—Principio de las velocidades virtuales.—Clasificación de las máquinas.

1.ª *Máquina* es todo instrumento ó aparato destinado á trasmitir, por su intermedio, la acción de unas fuerzas sobre otras, en condiciones de poder equilibrar una resistencia dada con una po-

tencia cualquiera, esto es, una resistencia de un valor fijo con una fuerza igual, mayor ó menor.

2.ª *En toda máquina* hay que considerar tres cosas esenciales: potencia, resistencia y punto de apoyo. Este no se debe confundir con el que se llama punto de aplicación de una fuerza.

3.ª *Potencia* es la fuerza ó sistema de fuerzas que se emplea para equilibrar ó mover un cuerpo, esto es, la fuerza que tiende á producir su movimiento y por consiguiente su trabajo.

4.ª *Resistencia* es la fuerza, ó sistema de fuerzas ó de cuerpos materiales, que se desea equilibrar ó mover.

5.ª *Punto de apoyo*, en las máquinas, es el punto ó sistema de puntos materiales sobre el cual debe resultar el de aplicación de la resultante del sistema de fuerzas formado por la potencia, resistencia y peso de la máquina, para que dicha resultante quede destruida por la resistencia de aquél.

6.ª *La consideración* del punto de apoyo es muy interesante, porque de su situación respecto de los puntos de aplicación de potencia y resistencia, puede decirse depende todo el artificio de la máquina, así como la relación entre los valores de ambas, necesaria para su equilibrio y recíprocamente, ó sea su ley de equilibrio.

7.ª *Ley de equilibrio* de una máquina, es la proporción en que es necesario estén, para el equilibrio, por su intermedio, la potencia, resistencia y dos elementos de la máquina.

8.ª *La potencia* y resistencia, al equilibrarse por el intermedio de las máquinas, se las puede relacionar como se quiera, disponiendo sus puntos de aplicación y el de apoyo del modo conveniente; pero siempre resultará una de estas tres cosas: que sea necesario emplear una potencia menor, igual ó mayor que la resistencia.

9.ª *Se dice* que la potencia se halla favorecida en una máquina cuando es menor que la resistencia, esto es, cuando puede equilibrar una resistencia mayor que ella.

10. *Se dice* que la potencia está perjudicada en una máquina cuando es necesario que sea mayor que la resistencia, esto es, mayor que la que se necesitaría sin la máquina.

11. *El poder* equilibrar por el intermedio de las máquinas una resistencia cualquiera, tanto con una potencia igual como con

otra menor ó mayor, consiste en que el artificio de aquellas y la situación de potencia y resistencia son tales, que éstas no se equilibran destruyéndose directamente, sino verificándolo su resultante sobre el apoyo

12. *Vulgarmente* se cree ser conveniente el uso de las máquinas, por el ahorro de potencia que producen en la generalidad de los casos; pero esto no es exacto, pues muchas veces se emplea en ellas igual ó mayor potencia que la necesaria sin la máquina, y sin embargo no son menos útiles, toda vez que proporcionan otras ventajas.

Si bien por el intermedio de las máquinas es posible equilibrar una resistencia dada, no sólo con una potencia igual, sino que también con otra mayor ó menor, esto no debe admirar ni hacer creer que hay creación ó destrucción de parte alguna de ellas, pues al turbarse el equilibrio, el favor ó perjuicio resultante por una parte es siempre compensado por otra, según el importante principio de las velocidades virtuales.

13. *Un instrumento* no dejará de ser verdadera máquina porque con él no se favorezca á la potencia, toda vez que no es ésta la única condición que para ello deba cumplir.

14. *Todo instrumento* será verdadera máquina cuando pueda variar una ó más de estas cuatro cosas: intensidad, dirección, velocidad y género del movimiento de la potencia.

15. *Principio* de las velocidades es el enunciado siguiente: en el uso de las máquinas lo que se gana en potencia se pierde en tiempo ó velocidad de la resistencia; esto es, siempre se verifica que si una potencia equilibra á una resistencia no igual, roto el equilibrio, las distancias andadas en igual tiempo por la potencia y resistencia no son iguales, sino que á medida que se emplea menos potencia que resistencia, ésta recorre una distancia tanto menor ó necesita un tiempo tanto mayor y viceversa. Por esta razón la verdadera ventaja de las máquinas consiste en que si se dispone de mucha fuerza es posible la ejecución de un trabajo en muy poco tiempo; y viceversa, cuando no se cuenta sino con poca, no obsta para poder ejecutar un trabajo, aunque sea grande, empleando mucho tiempo, como se observa respecto del trabajo del hombre en los usos ordinarios de la vida: por ejemplo, si un hombre puede ejecutar el trasporte de 10 arrobas, de un

local á otro en una hora, para trasportar 120 arrobas, como son 10×12, necesitará 12 veces más tiempo, esto es, 12 horas; pero si se emplean 12 hombres en vez de uno, ejecutando el trasporte llevando cada cual y á la vez 10 arrobas, resultarán trasportadas en una sola hora las 120 arrobas, producto de 10 arrobas por 12, número de hombres.

16. *Las máquinas* pueden ser: simples y compuestas. Simples son las que tienen un solo apoyo, y compuestas las que resultan por la reunión y enlace de dos ó más simples y presentan por consiguiente más de un apoyo.

17. *Se consideran* como máquinas simples la palanca, la polea, torno, plano inclinado, rosca, cuña y cuerda, y se pueden clasificar así: máquinas que tienen por apoyo un punto, una línea ó un plano. También se pueden considerar reducidas todas á una sola, la palanca; pero el número de las compuestas no es determinable.

18. *Se da el nombre* de mecanismo á cualquier conjunto de instrumentos, aparatos y máquinas, que combinados convenientemente pueden obrar separada ó simultáneamente para ejecutar una ó más operaciones, como las de moler, hilar, tejer, etc.

19. *Todo mecanismo* consta de receptor, operador é intermedios. Receptor es la parte en que se aplica la fuerza motriz ó potencia; operador es el instrumento ó conjunto de ellos que ejecuta la operación á que está destinado el mecanismo, y los intermedios ú órganos trasmisores son las partes que enlazan el operador al receptor y sirven: unas para la trasmisión de la fuerza desde éste hasta aquél, y otras para moderar ó regularizar los movimientos. Los más principales de tales órganos son las bielas, manivelas, excéntricos, volantes, cuerdas, correas ó cadenas sin fin y engranajes.

LECCIÓN XVIII.

Palancas y su clasificación. – Ley de equilibrio de toda palanca y sus consecuencias.—Sistemas de palancas y su ley.

1.ª *La palanca* es una máquina simple, que consiste en una barra cilíndrica ó prismática, inflexible y que puede girar alrededor de un punto fijo, sobre que se apoya, llamado punto de apoyo, fulcro ó hipomoclio.

2.ª *La potencia* y la resistencia, en la palanca, se aplican á dos de sus puntos, cuya situación respecto del fulcro determina los brazos y género de toda palanca. Dichos dos puntos podrán ser los extremos de la barra, en unos casos, y en otros no, según sea el género de la palanca.

3.ª *Brazos de palanca* son las distancias desde su fulcro hasta los puntos de aplicación de potencia y resistencia; llamándose brazo de potencia la distancia desde su punto de aplicación al fulcro, y brazo de resistencia la distancia desde su punto de aplicación á dicho fulcro.

4.ª *Las palancas,* por razón de su forma, pueden ser: rectas, curvas y angulares, según sus ejes ó aristas sean, respectivamente, líneas rectas, curvas ó compuestas de dos segmentos que formen ángulo (f.ª 26).

5.ª *La palanca,* por la situación de su punto de apoyo respecto de los de aplicación de potencia y resistencia, puede ser: de primer género, ó intermóvil, de segundo, ó interresistente, y de tercero, ó interpotente.

6.ª *La palanca* es de primer género cuando el fulcro se halla entre los puntos de aplicación de potencia y resistencia (f.ª 27): el alzaprima, las tenazas de carpintero, cuando se usan para arrancar clavos con facilidad, y el martillo, en igual caso, son, respectivamente, ejemplos de palancas de primer género, rectas, curvas y angulares.

7.ª *La palanca* es de segundo género cuando el punto de aplicación de la resistencia resulta entre el fulcro y el punto de aplicación de la potencia (f.ª 28). Ejemplos de este género son: los remos de una barquilla, las cuchillas, cuando se usan articuladas por un extremo y aplicando la potencia en el otro, las carretillas que se usan en las obras y en agricultura, y los cascanueces.

8.ª *La palanca* es de tercer género cuando el punto de aplicación de la potencia se halla entre el fulcro y el de aplicación de la resistencia (f.ª 29). El uso de las pinzas, palas, extremidades del hombre y los resortes de cierta disposición ofrecen ejemplos de palancas de tercer género.

9.ª *La ley de equilibrio* de la palanca es la siguiente: potencia es á resistencia en razón inversa de sus brazos; esto es, que

el valor de la potencia estará contenido en el de la resistencia tantas veces como el brazo de la resistencia lo esté en el de la potencia: ley que se expresa algebráicamente por la proporción P:R::b':b, representando, P y R, las intensidades respectivas de potencia y resistencia, y b, y b', sus correspondientes brazos.

10. *De la proporción* que expresa la ley de equilibrio de la palanca y de la inspección de las respectivas (f.ª 27, 28 y 29) se deducen las consecuencias siguientes:

1.ª Que cuanto menor sea el brazo de resistencia respecto al de la potencia, tanto menor será la cantidad de ésta necesaria respecto á la de la resistencia y, por consiguiente, que la potencia resultará tanto más favorecida, cuanto el brazo de resistencia sea menor que el de potencia, ya porque se aproxime más y más el fulcro á la resistencia, ó porque se aleje de él la potencia. 2.ª Que con la palanca de primer género se puede favorecer á la potencia, ya á la resistencia, ó bien á ninguna de ellas y necesitar emplear una potencia de intensidad igual á la de la resistencia como sin la máquina. 3.ª Que con la palanca de segundo género se favorece siempre á la potencia. 4.ª Que con la palanca de tercer género resulta favorecida la resistencia, esto es, que se necesita emplear una potencia de mayor intensidad que la de la resistencia.

11. *Las palancas de tercer género* aunque no favorecen á la potencia, no por esto dejan de ser muy útiles, pues en cambio producen aumento de velocidad en la resistencia y, por consiguiente, rapidez en sus movimientos en conformidad al principio de las velocidades vertuales (XVII—15): lo que es fácil demostrar respecto de la palanca (f.ª 30).

12. *La palanca*, aunque es la máquina más sencilla, su uso es muy útil y general, porque sobre que todas las demás máquinas pueden ser reducidas á élla, se usa no solamente aislada sino como elemento intermedio en muchos aparatos y mecanismos; formando á veces la esencia de ellos, enlazando unas á otras y formando sistemas de palancas.

13. *Sistema de palancas* es el conjunto de dos ó más de éstas, que, enlazadas convenientemente, sirven para trasmitir la acción de la potencia, aplicada en la primera, á la resistencia colocada en la última.

14. *La ley de equilibrio* de los sistemas de palancas es la siguiente: potencia es á resistencia, como el producto de los brazos que en cada una se pueda considerar como de resistencia, es al de los que en las mismas se los pueda considerar como de potencia.

LECCIÓN XIX.

Balanza.—Partes de que consta.—Circunstancias que debe reunir.—Métodos de pesar é indicación de otros aparatos destinados al mismo fin.—Dinamómetros.

1.ª *La balanza* es un aparato de los que sirven para pesar, fundado en la teoría de la palanca y que consta de las partes siguientes: la cruz ó astil, el fiel, las armas, la alcoba y los platillos suspendidos en los extremos de la primera. El todo se cuelga por el gancho ó anillo en que terminan las armas, ó se coloca sobre un sustentáculo de forma y disposición conveniente.

2.ª *La cruz* ó astil es una barra resistente, inflexible y de forma cortante, atravesada en su sección media por un eje sobre el cual gira, jugando, por lo mismo, como una palanca de primer género de brazos iguales.

En esta circunstancia se funda el modo de pesar; pues así, resultando iguales los brazos de la potencia, que serán las pesas colocadas en uno de los platillos, y de la resistencia, ó peso del cuerpo que se coloca en el otro, para su equilibrio habrán de ser también iguales según la ley de equilibrio de la palanca (XVIII— 9.ª); por cuya razón cuando la cruz queda horizontal y, por consiguiente, en equilibrio la balanza, se viene en conocimiento del peso del cuerpo, y se dice que tiene tantas unidades de peso cuantas sean las de las pesas empleadas.

3.ª *El fiel* es una lengüeta ó aguja colocada perpendicularmente á la cruz en su sección media, para indicar cuando resulta en equilibrio la balanza, al pesar, y por consiguiente la igualdad del peso del cuerpo que se pone en uno de los platillos, y el de las pesas que se colocan en el otro.

4.ª *Las armas* son dos chapas ó varillas que en uno de sus extremos tienen un orificio ó hendidura, en que entran y descansan los extremos del eje de la cruz, y se reunen por el otro en un anillo ó gancho de que se suspende el aparato, en unos casos, ó sobre el pié que en otros sirve de sostén.

5.ª *La alcoba* es el hueco ó sección media de las armas donde queda colocado el fiel cuando se establece el equilibrio.

6.ª *Los platillos* son cuerpos de poco grueso, de superficie plana ó cóncava y forma conveniente, según lo que se haya de pesar, y que por medio de cuerdas, cadenas ó varillas reunidas en un gancho ó anillo, se suspenden en los extremos de la cruz, dispuestos en una ú otra de las antedichas formas, de gancho ó anillo, ó atravesados por los correspondientes ejes.

7.ª *La balanza* exige para su manejo colecciones de pesas más ó menos variadas en forma y relación de peso, según la clase de pesadas que con ella se haya de hacer.

8.° *La operación de pesar* (XV—16) resuelve, según los casos, los dos problemas siguientes: 1.° Dado un cuerpo ó sustancia, pesarlo. En este caso se coloca el cuerpo en uno de los platillos y las pesas necesarias en el otro hasta establecer el equilibrio, y el número de unidades de las pesas empleadas será el de las del peso del cuerpo. 2.° Tomar de un cuerpo ó sustancia una parte con el peso que se desee. En este caso se coloca en uno de los platillos el número de pesas que compongan el peso pedido, y en el otro las cantidades del cuerpo ó sustancia necesarias hasta que resulte el equilibrio.

9.ª *Las condiciones* necesarias para que una balanza sea exacta son las siguientes: 1.ª Que la cruz sea cortante para que, hendiendo con facilidad el aire, pueda oscilar bien. 2.ª Que los ejes y anillos ó ganchos sean de formas cortantes, para que al girar unos sobre otros su rozamiento sea el menor posible y éste no impida el poder apreciar las pequeñas diferencias entre el peso del cuerpo y el de las pesas empleadas, que en caso contrario pudieran resultar al quedar la balanza es equilibrio. 3.ª Que los brazos de la cruz sean de igual longitud, porque de lo contrario el peso del cuerpo, ó pesas, colocado en el platillo suspendido del extremo del brazo más largo, sería (XVIII—10) menor que el del colocado en el otro más corto. 4.ª Que el peso de los dos brazos de la cruz sea igual también, porque de lo contrario se conseguiría el equilibrio colocando en el platillo del brazo más pesado tanto menos peso que el de lo colocado en el otro, cuanto fuese la diferencia de peso entre ambos brazos. 5.ª Que ambos platillos con sus cuerdas, cadenas ó varillas,

cualquiera que sean sus dimensiones, sean de igual peso, pues de lo contrario al conseguir el equilibrio, el cuerpo ó pesa colocado en el platillo más pesado resultaría con tanto menos peso que el de lo colocado en el otro, cuanto fuese el exceso de peso del uno al otro platillo. 6.ª Que el centro de gravedad del aparato resulte situado bajo del eje de suspención á una distancia conveniente; pues si está muy próximo, oscila con demasiada rapidez, y si muy distante, con gran lentitud.

Las denominaciones de balanzas locas, indiferentes y perezosas son para significar su imperfección, cuando su centro de gravedad resulta respectivamente más alto que el eje de suspensión de la cruz, en un punto de dicho eje, ó muy distante del mismo por debajo.

10. *Método* de las dobles pesadas es el ideado por Borda para conseguirlas con precisión, aunque la balanza no reuna todas sus esenciales condiciones. Consiste en colocar primeramente en un platillo el cuerpo que se va á pesar y en el otro la granalla necesaria hasta establecer el equilibrio de la balanza; después se quita el cuerpo y en su lugar se ponen pesas hasta volver á establecer el equilibrio, en cuyo caso las pesas empleadas indican el verdadero peso del cuerpo.

11. *Las romanas* y las básculas son aparatos de pesar, que, según su magnitud, no sólo pueden servir para pequeñas pesadas, sino que también para las de gran consideración, difíciles y hasta imposible de ejecutar con las balanzas.

El fundamento de su disposición y manejo es la teoría de la palanca. Su explicación é inteligencia resultará más fácil, hecha aquella verbalmente á la vista de sus respectivos modelos.

12. *Las balanzas* de resorte son aparatos de variadas formas que sirven para hallar el peso de los cuerpos, que suspendidos en ellas y venciendo la fuerza de un resorte, hacen se mueva, en la correspondiente escala, un índice convenientemente enlazado con aquél.

Se suelen usar como pequeñas romanas para hacer pesadas de poca importancia. Por su disposición pueden servir como pequeños dinamómetros para apreciar esfuerzos de tracción de poco valor.

13. *Dinamómetros* son aparatos que sirven para apreciar la energía de los motores. Los hay de diferentes formas y modos de

funcionar; pues unos sirven para apreciar los esfuerzos de tracción, otros para los de presión y algunos para los de percusión; pero sus pormenores no son propios de estas lecciones, por corresponder al estudio de la Mecánica práctica.

LECCIÓN XX.

Poleas.—Su clasificación.—Ley de la polea fija. — Leyes de la polea móvil.—Sistemas de poleas.—Polipastros.

1.ª *La polea* es una máquina simple, que consta de las partes siguientes: 1.ª De la roldana, que es un cilindro de poca altura con relación al diámetro de su base, atravesado en la dirección de su eje por otro de mucho menor radio, que constituye el eje de la roldana, y cuyos extremos sobresalen perpendicularmente á las bases del primero para entrar en los ojos de unas armas. 2.ª De las armas, que son dos chapas ó varillas, unidas de una parte por un extremo á un gancho ó anillo, formando un todo, y que reciben en los ojos, dispuestos en los extremos de la otra parte, los del eje de la roldana. Ésta lleva en la superficie lateral una hendidura llamada carril ó cajera, en disposición de dar paso á la cuerda, cadena ó correa que se emplea; denominándose cordones los segmentos de aquella que resultan á uno y otro lado de la roldana.

La polea se suele llamar también garrucha, carrucha ó motón.

2.ª *Las poleas* pueden ser fijas y móviles, y combinadas unas con otras formar los sistemas de poleas y los polipastros.

3.ª *Polea fija* es la que, suspendida de un punto fijo y resistente por el gancho ó anillo de sus armas, juega moviéndose solamente la roldana con movimiento de rotación sobre su eje, pudiendo estar los cordones oblícuos ó paralelos.

4.ª *En la polea* fija la potencia y la resistencia se aplican á los extremos, R y P, de los cordones (f.ª 31), y el punto de apoyo es el a, en que se la cuelga; pero á fin de simplificar y poder referirla á la palanca, se pueden considerar dichos puntos trasladados respectivamente, según (XII — 4.ª), á los p', r' y a'; y lo mismo á los P' y R' cuando los cordones son paralelos.

5.ª *La ley* de equilibrio de la polea fija, en todos los casos, es

la siguiente: Potencia es á resistencia, como un radio de la roldana es á otro. Lo que se comprende fácilmente considerado el juego de la roldana reducido al de una palanca angular, p a' r', de primer género (f.ª 31) en el caso de los cordones oblícuos, ó al de una recta, P' a' R', de primer género en el caso de los cordones paralelos.

6.ª *En la polea* fija la potencia nunca resultará favorecida ni perjudicada respecto de la resistencia, sino que ambas serán iguales como los radios, en cuya relación están según su ley de equilibrio.

7.ª *El uso de la polea* fija es tan útil como frecuente, pues aunque no favorece á la potencia, cambia su dirección y permite innumerables maniobras con mayor facilidad y sin el peligro con que, sin su empleo, tendría que operar el hombre, en muchos casos, consumiendo una parte de su esfuerzo en sostenerse. Además permite al hombre tomar posiciones en que puede inclinar convenientemente su cuerpo y con más ó menos parte del peso de éste suplir y ahorrar una parte igual de la fuerza muscular que sin esta circunstancia tendría que desarrollar inútilmente.

8.ª *Polea móvil* es la que, al ser usada, su roldana se mueve girando sobre su eje y trasladándose á la vez con las armas, que arrastran la resistencia ligada al gancho ó anillo de ellas; pudiendo estar los cordones, como en la fija, oblicuos ó paralelos.

9.ª *En la polea* móvil el punto de apoyo es el en que se fija uno de los extremos de la cuerda, como a (f.ª 32 y 33), la potencia P se aplica al otro extremo, y la resistencia R resulta en las armas; pero á fin de simplificar y poder referirla á la palanca, se puede considerar trasladados dichos puntos, el primero al extremo a' del arco de la roldana que abraza la cuerda, más próximo al a en que está atada la misma; la potencia P al otro extremo P''' de dicho arco, y la resistencia al centro R' de la roldana.

10. *La ley de equilibrio* de la polea móvil cuando los cordones son oblicuos es la siguiente: Potencia es á resistencia como el radio de la roldana es á la cuerda del arco que abraza el cordón; pues jugando como una palanca angular de primer género P'''a'R' (f.ª 32), se tendrá, según la ley de la palanca (XVIII — 9.ª), P''' : R' :: a'R' : a'P''', de donde se deducen las consecuencias

siguientes: 1.ª Si el arco que abraza el cordón es de 60.°, entonces su cuerda a'P''', lado del exágono inscrito en la circunferencia de que es parte aquel arco, resultará igual al radio a'R', esto es, a'P''' = a'R', luego P''' y R' serán iguales y por consiguiente la potencia no resulta favorecida ni perjudicada. 2.ª Si dicho arco es menor de 60.°, la cuerda será menor que el radio, y por tanto el radio mayor que la cuerda, luego potencia será menor que resistencia, esto es, resultará favorecida. 3.ª Si el antedicho arco es de más de 60.°, la cuerda será menor que el radio, ó, al contrario, el radio mayor que la cuerda, luego la potencia será mayor que la resistencia, esto es, resultará perjudicada.

11. *La ley* de equilibrio de la polea móvil cuando los cordones son paralelos (f.ª 33) es la siguiente: Potencia es á resistencia como el radio es al diámetro, y por consiguiente, como uno es á dos; por cuya razón la potencia resulta favorecida siempre. En efecto, en este caso la polea juega, como se comprende por la figura 33, cual palanca recta de segundo género a' P''', con la resistencia en el punto medio, luego P''' : R' :: a'R', : a'P''', esto es, como el radio a'R' es al diámetro a'P''' y por consiguiente :: 1 : 2.

Cuando se usa una polea móvil, generalmente se combina con una fija para mayor comodidad, como se indica en las figuras 32 y 33.

12. *Sistema* de poleas es la combinación de dos ó más de ellas, en muy varias disposiciones. De ellos los más generalmente usados son los polipastros, tróculas ó aparejos.

13. *Polipastros* son los sistemas de poleas en que se combina y enlaza un número de poleas fijas con otro igual de móviles, colocadas las roldanas por medio de un mismo eje en distintas armas, ó en unas mismas armas con distintos ejes.

14. *La ley* de equilibrio de los polipastros es la siguiente: Potencia es á resistencia como uno es al doble de las roldanas de las poleas móviles, ó, lo que es igual, al número de cordones que las sostienen.

LECCIÓN XXI.

Tornos y sus diferentes disposiciones. — Sistemas de tornos.— Ruedas dentadas y engranajes.—Crik.

1.ª *El torno* es una máquina simple que la constituyen las partes siguientes: 1.ª, un cilindro por los centros de cuyas bases sobresalen otros dos de mucho menor radio, denominados gorrones, que entran en dos ranuras ó cajeras, llamadas coginetes, dispuestas en dos apoyos convenientemente situados para sostener á aquel de modo que pueda girar sobre su eje paralelamente á la base de sustentación del todo. 2.ª, una rueda expresa ó suplida, situada perpendicularmente al eje y con su centro sobre el mismo eje. Cuando la rueda no está expresa, va suplida con palancas ó manubrios en uno ó ambos extremos del cilindro.

2.ª *La potencia* y resistencia se aplican en el torno del modo siguiente: tangencialmente á la superficie convexa del cilindro, la resistencia suspendida al extremo de una cuerda ó cadena, que por el otro se liga y va arrollándose sobre dicha superficie del cilindro, y la potencia tangencialmente también á la circunferencia de la rueda.

3.ª *La ley* de equilibrio del torno se enuncia: potencia es á resistencia como radio del cilindro es al de la rueda. Esta ley se deduce aplicando la de la palanca; pues se puede considerar que la potencia se trasmite á la resistencia, según es fácil comprender con las (figuras 34, 35 y 36), como por el intermedio de una palanca recta de segundo género, en unas posiciones de la potencia, ó de una angular de primero en otras.

4.ª *La potencia* en el torno, según la ley de equilibrio de éste, puede resultar favorecida, igual á la resistencia ó perjudicada, según que el radio del cilindro sea menor, igual ó mayor que el de la rueda.

5.ª *El torno* reune todas las circunstancias que puede satisfacer una máquina, pues no sólo varía la intensidad, dirección y velocidad de la potencia, sino que también su género de movimiento.

6.ª *El cabrestante* es un torno que resulta dispuesto perpen-

dicular al suelo ó base de sustentación de su armadura ó plataforma. Se usa para ejecutar tracciones, y su ley de equilibrio es la misma que la del torno.

7.ª *La cabria* es un mecanismo constituido por una especie de trípode, de más ó menos altura según su destino, que sostiene en su vértice una polea ó polipastro, cuya cuerda, por el extremo á que se aplica la potencia, se arrolla á un torno colocado y sostenido entre dos de los tres piés del trípode.

8.ª *La grúa* es un mecanismo que sirve para comunicar sucesivamente á los cuerpos movimiento vertical y lateral, ó viceversa, y en el cual se aplica el torno.

9.ª *Sistemas* de tornos son combinaciones de éstos, que enlazados entre sí por cadenas, correas ó cuerdas sin fin, sirven para trasmitir la acción de la potencia, aplicada á la rueda del primer torno, hasta la resistencia aplicada al cilindro del último.

10. *Cuerdas,* correas ó cadenas sin fin, son las que, unidos uno á otro sus extremos y cerrando un circuito, se adaptan á los carriles de las poleas y tornos, con un cruzamiento intermedio ó sin él, para la trasmisión del movimiento de unos á otros de los tornos ó poleas.

11. *Ruedas dentadas* son las de los tornos, construidas con partes entrantes y salientes en sus bordes, llamadas *dientes,* y *piñón* el cilindro del torno cuando se halla estriado ó acanalado en el sentido de sus generatrices, cuyas prominencias ó partes salientes se denominan *alas del piñón.*

12. *Engranajes* son sistemas de tornos, cuyas ruedas son dentadas y los cilindros estriados, en disposición de que las alas del primer piñón puedan entrar en los huecos entre los dientes de la rueda del segundo torno; los dientes de esta rueda en los huecos entre las alas del piñón del torno inmediato, y así sucesivamente.

13. *La ley* de equilibrio de los sistemas de tornos es la siguiente: potencia es á resistencia como el producto de los radios de los cilindros es al producto de los radios de las ruedas.

14. La de los engranajes es la misma que la de los sistemas de tornos, pues sólo se diferencia en los nombres, *radio de los piñones,* en vez de los radios de los cilindros, y *radios de las ruedas dentadas,* en vez de los de las ruedas de los tornos; su enunciado es:

potencia es á resistencia como el producto de los radios de los piñones es al producto de los de las ruedas dentadas.

15. Los radios de los piñones y los de las ruedas dentadas no son las distancias desde el eje hasta el extremo del ala ni del diente, sino hasta un punto intermedio de ellos.

Los pormenores relativos á la variedad de engranajes y su construcción son estudio muy importante, que corresponde á la Mecánica y no á estas lecciones.

16. *Crik* ó pié de gato es un mecanismo que consta de un piñón, movido por un manubrio, y de una barra dentada, á la cual pone el piñón en movimiento por su mutuo engrane: el todo está dispuesto en una caja de forma conveniente; y su ley de equilibrio se enuncia así: potencia es á resistencia como el radio del piñón es al de la circunferencia descrita por la potencia aplicada al manubrio.

La barra puede ser puesta en movimiento por un engranaje, en cuyo caso se tiene el crik compuesto.

LECCIÓN XXII.

Plano inclinado.—Cuña.— Leyes del uno y de la otra.

1.ª *El plano inclinado* es una máquina simple constituida por un tablero, ó terreno, cuya cara superior forma ángulo agudo con el horizonte, esto es, con el plano horizontal sobre que descansa. Sus elementos esenciales son: longitud, base y altura, y sus relaciones las de los tres lados de un triángulo **B L H** (f.ª 37), que forman las tres intersecciones resultantes al concebir un plano vertical que corte al plano inclinado, al horizontal sobre el cual insista, y al vertical contra el cual se apoye.

2.ª *Longitud* del plano inclinado es la hipotenusa **B H** del triángulo **B L H** (f.ª 37), con que aquel se representa; la altura el cateto **B L** de dicho triángulo, intersección del plano secante y el vertical, y base el cateto **H L**, intersección del mismo plano secante y el horizontal.

3.ª *La ley* de equilibrio del plano inclinado varía según la potencia obra paralelamente á la longitud ó á la base. En el primer caso, resulta: potencia es á resistencia, como la al-

tura es á la longitud; lo que algebráicamente se expresa por la proporción P : R :: h : l. En el segundo se enuncia así: potencia es á resistencia, como la altura es á la base, esto es: P:R::h:b. Las letras P, R, h, l, b representan respectivamente la potencia, resistencia, altura, longitud y base.

4.ª *La deducción* de estas leyes estriba en las consideraciones siguientes: 1.ª Colocado un cuerpo sobre un plano inclinado, la acción de la gravedad sobre cada molécula, ó mejor su resultante ag (f.ª 37), aplicada á su centro de gravedad, esto es el peso del cuerpo que constituye la resistencia, contrariada por la del plano que le impide descender por la vertical ag, se descompone, como se ve experimentalmente, en dos fuerzas concurrentes, una ap perpendicular á la longitud del plano inclinado BH, contra el cual se destruye comprimiéndolo y tendiendo á romperlo, como en efecto sucede cuando no tiene la resistencia suficiente, y otra af paralela á la longitud del mismo, con la cual el cuerpo tiende á moverse, como lo hace descendiendo, si no lo impide el rozamiento y adherencia. 2.ª Que según esto, prescindiendo del rozamiento y adherencia, para que el cuerpo se sostenga en equilibrio sobre el plano inclinado se necesita oponer una fuerza af, igual á la paralela de las dos en que se descompone el peso del cuerpo, por cuya razón el valor de la potencia se determinará hallando el de dicha fuerza af paralela á la longitud del plano.

5.ª *La fuerza* af (f.ª 37), que tiende á mover á un cuerpo en plano inclinado y que es necesario emplear para equilibrar su peso, ó sea la resistencia, está relacionada con la resistencia y los dos elementos *altura* y *longitud,* en el caso de obrar la potencia paralelamente á la longitud, ó con la resistencia y los elementos *altura* y *base,* en el de obrar paralelamente á ésta.

6.ª *La ley* de equilibrio del plano inclinado P : R :: h : l para cuando la potencia obra paralelamente á la longitud, se establece, mediante la (f.ª 38), comparando los lados ap y aR del triángulo paR con los homólogos BL y BH de su semejante BLH, pues de esta comparación resulta que ap : aR:: BL : BH; de donde se sigue que siendo el valor de la fuerza ap, el de la potencia, si se representa por P y la resistencia aR por R, representando á su vez la altura BL por h, y la longitud BH por l, puestas es-

tas letras respectivamente en vez de **ap**, **aR**, **BL**, **BH**, se obtiene **P : R :: h : l**.

7.ª *La ley* de quilibrio **P : R :: h : b** para cuando la potencia obra paralelamento á la base, se establece como en el caso de potencia paralela á la longitud, raciocinando sobre una figura construida como la (f.ª 38), con la diferencia de que la fuerza **ap** se traza paralela á la base **LH**.

8.ª *El valor* de la fuerza **an** (f.ª 38), que comprime al plano y, por consiguiente, la resistencia que éste debe tener, se calcula de un modo análogo al de la **ap**, fijándose en el triángulo **anR**, en vez del **apR**.

9.ª *La potencia* en el plano inclinado, cuando obra paralelamente á la longitud de éste, resulta siempre favorecida, como demuestra la ley **P : R :: h : l**; mas cuando obra paralelamente á la base, puede resultar favorecida, igual ó perjudicada como se deduce de la ley **P : R :: h : b**, según que la altura sea menor, igual ó mayor que la base.

10. *La cuña* es una máquina simple que consiste en un prisma triangular de madera, metal, piedra ó cualquiera otra sustancia resistente: se usa para separar unas de otras las partes y aun las moléculas de los cuerpos.

11. *Caras de la cuña* son las dos laterales del prisma, que se introducen entre las partes ó moléculas de los cuerpos para producir su separación; cabeza ó base de la misma su tercer cara lateral; corte la intersección de las caras laterales, ó sea la arista del diedro opuesto á la cabeza, y altura la distancia del corte hasta la cabeza.

12. *Las relaciones* necesarias para el equilibrio de la potencia y resistencia por medio de la cuña son las de los correspondientes elementos del triángulo **acb** (f.ª 39), que resulta cortando el prisma con un plano perpendicular á sus aristas laterales; por cuya razón se representa la cuña con el antedicho triángulo **acb**; su altura por **mc**; con sus lados **ac**, **bc** las longitudes de sus caras, con **ab** la anchura de la cabeza ó base, y con el ángulo rectilíneo **acb**, correspondiente al diedro de las caras, su ángulo y filo ó corte.

14. *La cuña* puede ser sencilla y doble ó compuesta. La sim-

ple ó verdadera **acm** es la que tiene recto un diedro de los que la cabeza forma con las caras, y la doble **acb**, que es ya un sistema de cuñas, la que sus caras y cabeza no forman ningún diedro recto; en cuyo caso lo que se tiene es un mecanismo compuesto por dos cuñas simples **acm** y **mcb**.

14. *El uso de la cuña,* aunque tan diferente, al parecer, del de el plano inclinado, si bien se considera, es el mismo, pues sólo difieren en que cuando se pasa del equilbrio al movimiento, el plano inclinado permanece fijo y la resistencia ó cuerpo avanza elevándose ó descendiendo por él; cuando al hacer uso de la cuña, ésta se mueve avanzando entre las partes del cuerpo para separarlas ó elevar á éste respecto del plano sobre el cual se halla colocado.

15. *Las leyes* de equilibrio de la cuña dependen de tan variables circunstancias de élla y de los cuerpos á que se aplica, que son de difícil determinación; pero se pueden considerar reducidas á dos: una para la simple y otra para la doble.

16. *La ley* de equilibrio de la cuña simple se enuncia: potencia es á resistencia, como la anchura de la cabeza es á la altura de la cuña, esto es; **P : R :: am : mc**, porque se puede considerar en el caso del plano inclinado, cuando la potencia obra paralelamento á la base, toda vez que al golpear perpendicularmente á la cara **mc**, la potencia resulta dirigida paralemente á la cara **mc** que se puede considerar como base de un plano inclinado **amc**.

17. *Le ley* de equilibrio de la cuña doble ó compuesta viene á resultar de modo que se enuncia diciendo: potencia es á resistencia, como anchura de la cabeza es á la suma de las longitudes de sus caras ó al doble de su altura, esto es, **P:R::ab: (ac+bc)**, ó **P : R :: ab : 2cm.**

18. *La ley* de equilibrio de la cuña enseña, como se comprueba con el aparato denominado modelo de la cuña, que con ésta se favorece tanto más la potencia cuanto más agudo es su ángulo, ó lo que es igual, cuanto más fino es su corte ó filo.

19. Los usos de la cuña son muy variados, pues todos los instrumentos cortantes ó punzantes, como el hacha del leñador, cuchillos, tijeras, escoplos, formones, cinceles, cepillos de carpintero, sierras de idem, limas, etc. son cuñas ó sistemas de ellas.

LECCIÓN XXIII.

Rosca, su tornillo y tuerca. — Tornillo sin fin. — Cuerdas y su rigidez.— Rozamiento.

1.ª *La rosca* es una máquina considerada como simple, aunque en realidad está compuesta de *plano inclinado* y *palanca*, de cuyas leyes de equilibrio resulta la suya. Consta de dos partes esenciales, que se denominan *tornillo* ó *macho*, y *tuerca* ó *hembra*, aparte de una ó más palancas expresas ó suplidas, que resultan aplicadas al tornillo ó á la tuerca al jugar la máquina.

2.ª *Tornillo* es todo cilindro sobre cuya superficie convexa va arrollado un filete cilíndrico ó prismático (f.ª 40), de tal suerte que en todas sus circunvoluciones forma el mismo ángulo con las generatrices y deja siempre igual distancia de una vuelta á otra, cuya sucesión y continuidad de todas es lo que se llama *hélice;* denominándose *espira* cada una de aquellas vueltas, y *paso de la rosca* la distancia de una á otra espira medida en la generatriz del cilindro.

3.ª *Tuerca* ó *hembra* es una pieza cualquiera con una oquedad cilíndrica, en cuya superficie interna hay otro filete como el del tornillo, en disposición de recibir á éste como en su molde y de que las espiras del mismo se puedan introducir y resbalar entre las suyas.

4.ª *La rosca* se puede disponer con la tuerca fija y el tornillo móvil y viceversa, y cuando se usa el tornillo solo, sin tuerca, como cuando se emplea para fijar ciertas piezas ó unir unas con otras, entonces el mismo la va formando.

5.ª *Que la potencia* y resistencia se equilibran por el intermedio de la rosca como por el de un plano inclinado, se comprende por el trazado de la hélice y la colocación del filete sobre ella.

6.ª *El trazado* de la hélice se puede demostrar experimentalmente con el sencillo y denominado *aparato para la generación del tornillo*. Este aparato se compone de un cilindro con pié, á una de cuyas generatrices se fija uno de los catetos de un triángulo rectángulo, de papel ó tela, cuyo otro cateto es igual en longitud á la circunferencia rectificada de la base de dicho cilindro tan-

tas veces como espiras hayan de resultar, y la hipotenusa va señalada con una línea fuerte de cualquier color. La demostración se practica envolviendo el cilindro con todas las vueltas posibles del triángulo, pues de este modo la hipotenusa señala una hélice, y se ve, por consiguiente, que los puntos de ésta se hallan en el mismo plano inclinado según dicha hipotenusa.

7.ª *La ley* de equilibrio de la rosca es la siguiente: Potencia es á resistencia como paso de la rosca es á la circunferencia que describe la potencia al hacer girar al tornillo ó á la tuerca. Su expresión algebráica es P : R :: p : C, cuyas letras representan respectivamente la potencia, resistencia, paso de la rosca y la circunferencia que describe la potencia.

Esta ley se demuestra del modo siguiente: la proporción que resulta según la ley de equilibrio de la palanca al aplicar la potencia á la palanca unida al tornillo, se multiplica ordenadamente por la correspondiente del plano inclinado donde viene á obrar la resistencia, y simplificando lo posible la proporción resultante, se obtiene la que expresa dicha ley.

Los tornillos y tuercas se fabrican con moldes ó instrumentos destinados al objeto y que se denominan terrajas.

8.ª *El tornillo sin fin* es una máquina compuesta, que consta de un tornillo movido por un manubrio y cuyas espiras engranando con los dientes de una rueda dentada, la hacen girar para trasmitir el movimiento á donde convenga según su destino. Su ley de equilibrio se enuncia: potencia es á resistencia, como paso de la rosca multiplicado por el radio del piñón, ó cilindro de la rueda dentada, es al producto del radio de la rueda multiplicado por la circunferencia que describe la potencia aplicada al manubrio del tornillo.

9.ª *Se da el nombre* de cuerda ó cordón á los cuerpos redondos ó aplanados de gran longitud, respecto de su grueso, que se forman torciendo ó entretejiendo cuerpos filamentosos como el esparto, hebras de cáñamo, lino, pita, fibras de otros muchos vegetales, algodón, seda, lana, pelos, alambres, etc.

10. *Las cuerdas* se suelen denominar funículos ó máquinas funiculares, por el uso que de ellas se hace en numerosas operaciones mecánicas, por el empleo de las mismas en las poleas, tor-

nos, etc., y porque aplicadas las fuerzas por su intermedio á los cuerpos ó resistencias, vienen á obrar como verdaderas máquinas.

11. *Las cuerdas*, lo mismo que las correas y cadenas, obran como verdaderas máquinas cuando se usan haciendo variar la intensidad, dirección, etc. de la potencia (XVII—14), pues sucede lo mismo que en el uso de la palanca.

12. *Catenaria* ó cadenaria es la curva que forma toda cuerda, cadena, cinta, etc., cuando se fija por sus extremos á dos puntos que no estén en una sola vertical. Su origen es la acción de la gravedad, que obra sobre los puntos de la cuerda y hace imposible el que se la pueda poner en línea recta, á no estar suspendida verticalmente.

El estudio de la catenaria, y cuanto se refiere al uso de las cuerdas, es estudio muy interesante, pero que corresponde exclusivamente á la Mecánica.

13. *Al calcular* la potencia necesaria para el equilibrio de la resistencia por el intermedio de las máquinas, hay que tomar en cuenta la *rigidez de las cuerdas*, *los rozamientos* y *adherencias*, según obran perjudicando ó favoreciendo á la potencia; por cuya razón el estudio de estas cuestiones, como todo lo relativo á evitar choques, desarreglos y deterioros en las máquinas, es una parte de las más interesantes de la Mécanica, pero impropia de estas lecciones. Sin embargo, no se debe prescindir en ellas del conocimiento de la rigidez de las cuerdas y del rozamiento.

14. *Rigidez* de las cuerdas es la resistencia que oponen á doblarse ó ceñirse á los elementos de las máquinas á que aquellas se aplican.

15. *La rigidez* de las cuerdas se disminuye, cuando así conviene, engrasándolas, dándoles menos torción, ó con el uso y rozamiento previos, sin exceder al conveniente límite de la tenacidad más allá del cual pudiera resultar insuficiente su resistencia á la tracción.

16. *Rozamiento* es la resistencia ó fuerza pasiva que se advierte y es menester vencer, aparte del peso de los cuerpos, al mover á éstos. Puede ser de dos especies: de primera, que se origina en el movimiento de los cuerpos que resbalan ó son arrastra-

dos, y de segunda que se produce al rodar unos sobre otros: el de segunda resulta menor que el de primera, como es fácil comprender.

17. *La causa* del rozamiento es el mutuo engrane de las partes salientes y entrantes que existen en la superficie de los cuerpos en virtud de su porosidad.

18. *El rozamiento* se puede medir de dos modos. Primero, por el mínimum de peso que se necesita para sacar del reposo á un cuerpo, que en condiciones dadas de peso, base, etc., se halla en aquel estado sobre la superficie horizontal de otro. Segundo, por el máximum de abertura del ángulo que puede formar con el horizonte la superficie de un plano inclinado, sin que el cuerpo colocado sobre éste salga de su reposo.

El primer procedimiento se ejecuta con el tribómetro de Coulomb, y el segundo con la máquina plano inclinado de construcción apropiada al objeto.

19. *Ángulo límite* de rozamiento es el mayor valor de la inclinación que, al medirlo, se puede dar al plano con que se opera, sin que el cuerpo colocado sobre el mismo resbale ó ruede.

20. *Coeficiente* de rozamiento es la relación del rozamiento de un cuerpo con la presión que ejerce contra la superficie de otro sobre que arrastra ó rueda.

Su expresión algebraica es $f=\frac{F}{P}$; representando, respectivamente, las letras f, F, P el coeficiente, el rozamiento del cuerpo y la presión que produce. Si se aprecia por el método del plano inclinado, su valor es la tangente trigonométrica del ángulo límite.

21. *El rozamiento* se disminuye, cuando conviene, cambiando el de primera especie en el de segunda; haciendo que los cuerpos rueden en vez de resbalar ó ser arrastrados; engrasándolos ó interponiendo entre ellos sustancias grasas, como el sebo, los aceites, jabones, plombajina y esteatita, llamada vulgarmente *jabón de sastre*, y ejecutando en ellos cualquier otra operación que disminuya las asperezas de sus caras, bien rellenando los poros de las mismas ó haciendo desaparecer sus partes salientes por el raspado, acepillado, pulimento, bruñido, batido ó satinado.

22. *El rozamiento* se aumenta, cuando se hace necesario,

cambiando el de segunda especie en el de primera; arrastrando ó haciendo resbalar á los cuerpos en vez de que rueden; interponiendo entre las superficies de los mismos, ó extendiendo sobre ellas sustancias trituradas ó pulverulentas, como guijarros, arenas, ó produciendo en sus caras asperezas, rayándolas ó esculpiendo y sobreponiendo en ellas dibujos y molduras: los diferentes frenos, desde la tosca galga del carro de dos ruedas hasta los potentes de los trenes en las vías férreas, que se usan en éstas y en muchos mecanismos de los que maneja la industria, sirven para aumentar más ó menos los rozamientos á fin de moderar la velocidad y hasta impedir los movimientos.

23. *La adherencia* (X—8.ª) es otra resistencia ó fuerza pasiva que es necesario vencer al mover los cuerpos. Se demuestra y mide al tratar de las acciones moleculares.

DINÁMICA.

LECCIÓN XXIV.

Movimiento de un punto.—Clasificación de las fuerzas por el tiempo que dura su acción.— Fuerzas instantáneas.— Idem contínuas.— Naturaleza de los movimientos que unas y otras pueden producir.—Clasificación de los movimientos en los casos más principales de los múltiples aspectos bajo que se pueden considerar.

1.ª *El estudio* del movimiento de los cuerpos se simplifica considerándolos reducidos á un solo punto material, como su centro de gravedad ó el punto de aplicación de la fuerza ó resultante del sistema que los impela; así es que al hablar del movimiento de un cuerpo, al cual se da el nombre de móvil, se debe entender que nos concretamos á dicho punto, llamando trayectoria á la línea que él describe desde el principio de su movimiento.

2.ª *Las fuerzas* al obrar sobre los cuerpos y producir su movimiento, pueden hacerlo de dos modos diferentes y de aquí el dividirlas, relativamente al tiempo que dura su acción, en instantáneas y continuas.

3.ª *Fuerza instantánea* es la ejercida sobre un móvil durante un solo instante, esto es, en un tiempo infinitamente pequeño é inapreciable.

4.ª *Fuerza continua* es la que se ejerce sobre el móvil durante un tiempo apreciable, grande ó pequeño, y que se puede considerar como una instantánea repetida en los instantes sucesivos de su duración.

5.ª *Toda fuerza única* aplicada á un móvil debe producir un movimiento, según su definición, pues de lo contrario ó no sería fuerza, ó resultaría equilibrada por otra, en cuyo caso la primera no sería única. Lo mismo sucede con todo sistema de fuerzas en que no resulte equilibrio, pues considerando su resultante, queda reducido el caso al de una fuerza única.

6.ª *El movimiento* por razón de la dirección puede ser rectilíneo ó curvilíneo: es rectilíneo cuando el centro de gravedad de un móvil, lo mismo que todas sus moléculas, pasa sucesivamente de unos puntos á otros situados en una recta, y curvilíneo si dichos puntos constituyen una curva.

7.ª *El movimiento* curvilíneo será circular, elíptico, parabólico, etc., si la curva que describen las moléculas del móvil es una circunferencia, una elipse, parábola, etc.

8.ª *El movimiento* por razón de los espacios andados en tiempos iguales puede ser uniforme ó variado.

9.ª *Movimiento uniforme* es el que efectúa un móvil andando, en tiempos iguales, espacios iguales, esto es, con velocidad constante.

10. *Velocidad* del movimiento es el espacio igual que corre un móvil en cada unidad de tiempo. Ésta puede ser el segundo, el minuto, hora, etc., según la rapidez del movimiento que se considere; debiendo entenderse por espacio andado la parte de la recta ó curva corrida en un tiempo dado.

11. *Movimiento variado* es el que efectúa un móvil andando, en tiempos iguales, espacios desiguales, esto es, sin velocidad constante.

12. *El movimiento variado* puede ser acelerado ó retardado: será acelerado cuando, en tiempos iguales, el móvil ande espacios desiguales crecientes, esto es, que vayan siendo mayores; y retardado cuando, en tiempos iguales, ande espacios desiguales decrecientes, esto es, que vayan siendo menores.

12. *Toda fuerza instantánea*, ó todo sistema de fuerzas instan-

táneas en que no resulte equilibrio, produce movimiento uniforme y rectilíneo. En efecto, obrando dicha fuerza, ó la resultante del sistema, un solo instante sobre el móvil, éste, en virtud de su inercia, andará en el segundo instante y en los sucesivos el mismo espacio que en el primero y en la misma dirección, mientras otra fuerza no coadyuve á aumentarlo ó disminuirlo, ó le haga variar aquélla; por consiguiente, en tiempos iguales andará espacios iguales, esto es, con velocidad constante y en una sola recta.

14. *Toda fuerza única* continua, ó todo sistema de fuerzas continuas de igual naturaleza en que no resulte equilibrio, produce movimiento variado, acelerado y rectilíneo. En efecto, repitiéndose su impulso, ó el de la resultante, en cada instante sucesivo sobre el móvil, en virtud de su inercia aquel andará en cada uno el espacio correspondiente al mismo instante y en su misma dirección, más el debido á los impulsos anteriores, mientras no intervengan otras fuerzas, que puedan acelerarlo ó retardarlo más, ó hacer variar su dirección; por consiguiente, en tiempos iguales andará espacios cada vez mayores, ó sin velocidad constante, y en la misma dirección.

15. *El movimiento curvilíneo*, que, como el rectilíneo, podrá ser uniforme ó variado, se produce por la acción de una fuerza instantánea y otra continua, ó por un sistema de fuerzas instantáneas en combinación con otro de fuerzas continuas; cuyo segundo caso quedará reducido al primero considerando sus respectivas resultantes.

Se engendra del modo siquiente: suponiendo una fuerza instantánea en la dirección **pd** (f.ª 44) aplicada á un punto móvil **p**, capaz de hacerle andar en un primer tiempo la distancia **pa** que tomaremos por valor de aquella, y otra continua **pb**, en la dirección **pc**, que impidiendo marche **p** según **pa**, hará que ésta se descomponga en dos, una **pf** en sentido opuesto á **pb** con quien se destruirá, y otra **pt**, que resultando libre, llevará al móvil de **p** á **t** y con cuya velocidad, si no obrase de nuevo la fuerza continua, el móvil pasaría con movimiento uniforme en un segundo tiempo de **t** á **t'**; pero al repetir la fuerza continua su acción en el segundo tiempo, sucede en **t** lo mismo que en **p** y resulta **tf'** destruyéndose con **tb'**, y la **tt''** haciendo pasar al móvil de **t** á **t''**, y

así sucesivamente á t'''' etc. De modo que, considerando tiempos infinitamente pequeños, el móvil en vez de andar los lados del polígono pt, tt'', t''t'''', etc., irá pasando por puntos intermedios á p y t, á t y t'' etc., en relaciones de posición iguales á las de p, t, t'', t'''', etc., como por el perímetro de un polígono de infinito número de lados, infinitamente pequeños, y, por consiguiente, describiendo una curva, que podrá ser una circunferencia, elipse, parábola, etc., según la combinación de circunstancias de las fuerzas, resultando así el movimiento elíptico, como el de los planetas; el circular, que con tanta frecuencia se ofrece en los usos de la vida, ciencias y artes; el parabólico, etc., pero en todo caso habrá que considerar la *fuerza instantánea* pa que se denomina *fuerza impulsiva,* la pb *fuerza centripeta,* la pf *fuerza centrífuga,* y la pt *fuerza ó velocidad tangencial.*

16. *Fuerza impulsiva* es la instantánea que se imprime al móvil. *Fuerza centrípeta* es la continua que obra á la vez que la impulsiva y provoca la descomposición de ésta. *Fuerza centrífuga* la de las dos en que se descompone la impulsiva, que obrando en sentido opuesto á la centrípeta se equilibra con élla. *Fuerza ó velocidad tangencial* la otra de las dos en que se descompone la impulsiva, que, resultando libre, produce el movimiento. La denominación *fuerzas centrales* designa en común á la fuerza centrífuga y centrípeta.

17. *Si en cualquier* instante del movimiento curvilíneo cesa de obrar la fuerza centrípeta, las fuerzas centrífuga y la tangencial se recomponen convirtiéndose en una instantánea en la dirección de la tangente á la curva en el punto en que se halla el móvil en el instante de cesar la centrípeta. De aquí la frase de *escapar por la tangente.*

18. La clasificación de los movimientos bajo los múltiples aspectos que es posible observarlos, no es fácil considerarla, sintetizar sus pormenores en una sola lección, ni mucho menos en las de índole elemental; pero no se debe prescindir del conocimiento de los casos más principales, como son: los de traslación y rotación ejecutados aislada ó simultáneamente.

19. Movimiento de traslación es el que ejecuta un cuerpo de manera que sus puntos describen á la vez y con igual velocidad

trayectorias paralelas, rectas ó curvas, ya sea dirigido el movimiento en línea recta, ó bien según alguna curva girando simplemente alrededor de un punto ó rodando á la vez sobre un eje, con más ó menos complicación, como sucede con el movimiento de la tierra, de las ruedas de los carruajes y de muchas piezas de los mecanismos.

20. *Movimiento* de rotación es el que efectúa un cuerpo de modo que permaneciendo fijos los puntos de una serie de los del cuerpo situados en una recta determinada, *eje de rotación*, los demás describen, respectivamente y con velocidades y radios desiguales, curvas cuyo plano es perpendicular al eje de rotación y su centro es el punto de encuentro de dicho plano con el eje. *Eje de rotación* es la recta que determinan los puntos del cuerpo que en la rotación de éste permanecen fijos. *Radio de rotación* de un punto es la distancia de éste al eje de aquélla. *Velocidad angular* en el movimiento circular y uniforme de un cuerpo es el arco descrito, respectivamente y en la unidad de tiempo, por los puntos cuya situación respecto del eje es la unidad de distancia.

21. El movimiento de rotación, lo mismo que el giratorio de un cuerpo, es uniforme cuando, en tiempos iguales, los arcos descritos respectivamente por puntos equidistantes del eje son iguales y, por consiguiente, los descritos en diferentes tiempos proporcionales á éstos.

22. *Movimiento giratorio* suele denominarse el de traslación de un cuerpo, y por consiguiente de todas sus moléculas, en línea curva al rededor de un punto determinado.

23. *Los movimientos* respecto á las variaciones de su dirección pueden ser: continuos, alternativos, periódicos y varios otros resultantes de la combinación de los indicados.

24. *Movimiento continuo* (no perpetuo) es aquel cuya dirección no se modifica en ningún instante de su duración.

25. *Movimiento alternativo* es el en que el móvil, sin variar su dirección, cambia alternativa y continuamente de sentido, por cuya razón se suele llamar de vaivén.

26. *Movimiento periódico* es el que se suspende repetidamente, por más ó menos tiempo, para continuar después en el mismo sentido ó en el opuesto.

Entre los ejemplos que se pueden proponer de movimientos complicados, al ser producidos por la simultaneidad ó composición de dos ó más movimientos de las diferentes especies que se pueden considerar, conviene recordar ó fijar la atención en el denominado de remolino ó torbellino (tourbillon de los franceses), tan importante en las teorías modernas al considerar el movimiento arremolinado (tourbillonné) de los átomos etéreos para la formación de los de la materia ponderable, cual se forman en la atmósfera, aunque en escala incomparablemente mayor, las impetuosas trombas, y en los senos de las aguas los formidables remolinos por el concurso de movimientos opuestos más ó menos complicados y variados.

LECCIÓN XXV.

I. Preliminares acerca de la acción de las fuerzas produciendo movimiento.—Cantidad de movimiento y sus relaciones.-Sucintas nociones respecto de la apreciación del trabajo de las fuerzas.—II. Definición y clasificación de los motores, su trabajo y diferentes aspectos y nombres de éste.—Medida del trabajo útil y unidades á que se puede referir.—Indicación de las circunstancias que deben reunir los mecanismos para conseguir con ellos los mayores rendimientos, y comparación de éstos.

I.

1.ª *La fuerza* ó la resultante de cualquier sistema de fuerzas aplicadas á un cuerpo, al ponerle en movimiento, aunque se considere aplicada á un solo punto, no pudiendo mover á éste sin mover también y á la vez á los demás, en virtud de su cohesión, se descompone á causa de la resistencia que aquéllos oponen, por su inercia, en tantas fuerzas iguales, paralelas y en un mismo sentido, cuantos son los puntos materiales de la masa del móvil, y aplicadas á cada uno de éllos. De este modo, impulsados y movidos dichos puntos igualmente y á la vez, por su movimiento simultáneo, resulta el del móvil, de tal suerte que si el punto solo debiera andar un cierto camino, 20 centímetros por ejemplo, si tiene dicho móvil en su masa 20 puntos, sólo andará 1 centímetro, porque repartida la fuerza en 20 paralelas é iguales, cada una será 20 veces menor que aquélla y cada punto andará una distancia 20 veces menor que la que andaría el punto solo.

2.ª *Las fuerzas* que producen movimiento no se pueden apreciar como al producir equilibrio, ni tampoco atendiendo solamente á las masas de los móviles ó á las distancias que les hagan

andar en igual tiempo, sino que es menester tomar en cuenta ambas cincunstancias á la vez.

En efecto: como la fuerza que se aplica á un solo punto de un cuerpo se descompone, distribuye y aplica en todos los demás, según sea su número, así será mayor ó menor cada una de dichas fuerzas elementales que produce el movimiento de cada cual de aquellos y con el simultáneo de todos el del cuerpo y, por consiguiente, mayor ó menor también la distancia que aquél andará en el mismo tiempo; así es como dos fuerzas iguales aplicadas á masas desiguales, les harán andar en igual tiempo distancias desiguales; y dos fuerzas desiguales aplicadas á masas iguales, les harán andar en igual tiempo distancias desiguales, pero aplicadas á masas desiguales, en la conveniente relación, podrán hacerles andar en dicho tiempo espacios iguales. Por esta razón el efecto de las fuerzas que producen movimiento, se aprecia por las masas que mueven y velocidades que les comunican, esto es, por su cantidad de movimiento.

3.ª *Cantidad de movimiento* es el producto de la masa del móvil por su velocidad, así es, que representando por f una fuerza, por m la masa del móvil y por v la velocidad que dicha fuerza le comunica, tendremos que el valor de su impulso ó efecto, en la unidad de tiempo 1'', será mv, esto es, f=mv.

4.ª *Las relaciones* entre los efectos de dos fuerza f y f', las masas m y m' que respectivamente mueven, y las velocidades v y v' impresas á dichas masas son tales que determinan las leyes siguientes:

1.ª Los efectos de dos fuerzas al producir movimiento son directamente proporcionales á sus cantidades de movimiento. 2.ª En igualdad de masas son directamente proporcionales á las velocidades. 3.ª En igualdad de velocidades son directamente proporcionales á las masas. 4.ª Fuerzas iguales impresas á móviles de diferente masa, les comunican velocidades desiguales, de manera que éstas resultan inversamente proporcionales á las masas, y viceversa, si se trata de producir velocidades determinadas, las masas deberán ser inversamente proporcionales á las velocidades.

En efecto: siendo $f=mv$, $f'=m'v'$, divididas ordenadamente estas dos ecuaciones resultará $\frac{f}{f'}=\frac{mv}{m'v'}$, ó puesta en forma de proporción $f:f' :: mv : m'v'$ (a), expresión de la primera ley.

Si en la proporción (a) se supone $m=m'$, suprimidas como factor común en la segunda razón, resulta $f:f' :: v : v'$, expresión de la segunda ley.

Si $v=v'$, $f:f' :: m : m'$, expresión de la tercera ley.

Si $f=f'$, $mv=m'v'$, de donde se deduce la proporción $v : v' :: m' : m$, ó $m : m' :: v' : v$, expresión de la cuarta ley.

No se debe confundir el valor del impulso ó cantidad de movimiento que una fuerza engendra sobre un móvil en un instante, ó sea en la unidad de tiempo 1", con el trabajo que puede efectuar en un tiempo dado, pues dicho trabajo es el producto de la fuerza por el mayor ó menor camino que hace andar al móvil, ó por la mayor ó menor resistencia que vence, por cuya razón se puede decir hay trabajo donde resulta distancia corrida ó resistencia vencida.

Tampoco se debe confundir la cantidad de movimiento de una fuerza, ni su trabajo, con la denominación de fuerza viva que se dió en Mecánica á la expresión mv^2, producto de la masa de un móvil por el cuadrado de su velocidad, resultado de la multiplicación de su cantidad de movimiento mv por su velocidad v, esto es, $mv \times v = mv^2$; pues aunque entre esta expresión, la del trabajo $T=FE$ y el valor de la energía actual ó en acción, que es lo que se debe entender hoy por fuerza viva, haya ciertas relaciones, sus conceptos son diferentes.

5.ª *Se da* el nombre de *trabajo de una fuerza* al producto de ésta por la distancia que hace andar á un móvil en su misma dirección, de modo que representando por **T** el trabajo de una fuerza **F** y por **E** el espacio ó la distancia que hace andar á dicho móvil, la expresión del trabajo será **T=FE**, que según se demuestra en Mecánica, resulta también $T = {}^1/_2\ mv^2$, que es hoy la de la verdadera fuerza viva.

Cualquiera que sea el valor de una fuerza, su dirección y distancia andada por el móvil á que se aplique, su trabajo siempre se podrá suponer equivalente á la elevación de un peso á una altura, en cuyo supuesto demuestra la Mecánica: 1.° que los trabajos de un mismo móvil ó de dos de igual peso son proporcionales á los espacios ó distancias que corren. 2.° que los trabajos de dos móviles son proporcionales á las resistencias ó respectivos pesos vencidos. De estos dos principios se deduce que los trabajos de dos móviles son proporcionales á los productos que resultan de multiplicar las resistencias vencidas por las distancias andadas, ó lo que es igual, á sus pesos por las alturas á que son elevados. Así es que si representamos por **T** el trabajo de una fuerza equi-

valente al de elevar un peso P á una altura h, por T' el de otro equivalente al de elevar el peso P' á la altura h', llamando T'' al trabajo de otra fuerza equivalente al de elevar el mismo peso P á la altura h', se tendrá T : T'' :: h : h' (a), T'' : T' :: P : P' (b), y multiplicando ordenadamente las proporciones (a) y (b), resultará $T \times T'' : T'' \times T' :: h \times P : h' \times P'$, y de aquí $T : T' :: P \times h : P' \times h'$. (c).

6.ª *La medida* de las cantidades de trabajo se efectúa como la de toda cantidad, comparándolas con las de un trabajo dado que se toma por unidad.

7.ª *Se toma* por unidad de trabajo el empleado en elevar una unidad de peso á una unidad de altura en un segundo, y el valor numérico de un trabajo se determina multiplicando el peso del móvil por la altura á que el esfuerzo empleado sea capaz de elevarle en un segundo, esto es, T=Ph.

En efecto, si en la proporción (c) se hace T'=1, P'=1, h'=1, se tendrá $T : 1 :: Ph : 1 \times 1$, ó $\frac{T}{1} = \frac{Ph}{1 \times 1} = \frac{Ph}{1}$ (d); luego el número de veces que un trabajo contiene al que se toma por unidad, esto es, su valor numérico, es igual al que el producto Ph contiene á la unidad. Según esto, si el impulso ó fuerza aplicada á un móvil de 5 unidades de peso, $5^{kg.}$, es capaz de elevarlo á 4 unidades de altura, $4^{m.}$, $T = 5^{kg.} \times 4^{m.} = 20$ unidades, pero ¿de qué especie?

8.ª *La especie* de unidad á que se debe referir el número expresión del trabajo pudiera ser muy diferente de la que hay adoptada, según las diferentes unidades á que se podrían referir la de peso y la de altura, pero elegida para la primera el kilogramo y para la segunda el metro, el producto $1 \times 1 = 1$ en la ecuación (d) será siempre $1^{kg.} \times 1^{m.} = 1$, por cuya razón se convino en dar á esta unidad el nombre de kilográmetro ó kilogramo métrico. Así las 20 unidades del ejemplo propuesto serán 20 kilogramos métricos ó 20 kilográmetros.

9.ª *El kilográmetro*, unidad fundamental de medida del trabajo de los motores, es el esfuerzo necesario para elevar el peso de $1^{kg.}$ á $1^{m.}$ de altura en 1'': en la escritura se denotará con la abrevia-

tura kgm. Según esto, el número 20, producto del $5^{kg.} \times 4^{m.}$ se escribirá $20^{kgm.}$, esto es, $5^{kg.} \times 4^{m.} = 20^{kgm.}$

10. *Caballo de vapor* es una unidad superior ó un múltiplo del kilográmetro, más apropósito que éste para la expresión de las cantidades de trabajo que en la industria son generalmente bastante grandes respecto del kilográmetro y exigirían muchos guarismos para su escritura; y si bien puede tomarse por unidad de trabajo la presión atmosférica, la generalmente usada es el caballo de vapor. El valor asignado á este fué y es $75^{kgm.}$ por cierta relación, aunque incierta é indeterminada, con el caballo de tiro ó con el par de éstos: también se suele usar la gran unidad dinámica llamada *dinamia* para cuando las unidades de trabajo son de gran consideración: su valor es de mil kilográmetros.

Siendo el kilográmetro el esfuerzo capaz de elevar en un segundo un kilógramo á un metro de altura, $2^{kgm.}$, $3^{kgm.}$... $n^{kgm.}$ será el necesario ó capaz de elevar en un segundo $1^{kg.}$ á $2^{m.}$, $3^{m.}$... $n^{m.}$ de altura, ó bien $2^{kg.}$, $3^{kg.}$... $n^{kg.}$, á $1^{m.}$. Seis kilográmetros es el esfuerzo capaz de elevar en 1″, $1^{kg.}$ á $6^{m.}$, ó $6^{kg.}$ á $1^{m.}$; ó también $2^{kg.}$ á $3^{m.}$ ó $3^{kg.}$ á $2^{m.}$ Finalmente, 2, 3.... n caballos de vapor son el valor de uno, 75 kilográmetros, multiplicado por 2, 3.... n.

II.

11. *Motores* son los cuerpos que encierran en sí una fuerza en cuya virtud pueden obrar sobre los demás y ponerlos en movimiento. Se dividen en animados, ó de sangre, é inanimados.

12. *Motores animados, ó de sangre*, son los animales en general, aunque los utilizados en la industria son los de cierta talla y fuerza, como el hombre, caballo, mulos y otros varios de los que hay y se utilizan en los diferentes paises. Los trabajos de estos motores son de muy diferente valor, según la forma y condiciones en que se ejecutan, como se vé fácilmente por la inspección de las correspondientes tablas que se incluyen en los tratados de Mecánica práctica.

13. *Motores inanimados* son los que, careciendo de vida y de

las fuerzas musculares de los animales, poseen una energía bajo cualquiera de las fases de ésta, como la gravedad, calor, electricidad, elasticidad, etc. El agua y todo cuerpo que desciende; el viento, los gases y vapores comprimidos; los resortes, los imanes y los conductores eléctricos son motores inanimados.

La apreciación del trabjo que los motores producen por sí, y más principalmente por el intermedio de las máquinas, es cuestión que sin su estudio la importancia y utilidad de la Mecánica no hubiera llegado á la altura en que hoy se halla. Por esta razón, aunque sin entrar en pormenores impropios é imposibles en estas lecciones, será conveniente indicar los aspectos en que se debe considerar el trabajo mecánico y conocer, siquiera, los diferentes nombres que toma en cada uno de aquellos; ya que estos conocimientos sean tan escasos y poco vulgarizados en nuestra nación, que mal podrá remediar su atrasado estado industrial, y aun científico, mientras la enseñanza de la Mecánica, sobre todo la aplicada ó práctica, no se vea más atendido en las leyes de instrucción pública.

14. Si se aprecia el esfuerzo y por consiguiente el trabajo que un motor puede producir, y el que resulta efectivo cuando aquél se aplica á un instrumento ó mecanismo destinado á cualquier operación, por perfectas que sean su construcción y manejo dicho trabajo siempre resulta menor que el primero, porque éste se divide en dos partes: una que no aparece por disiparse á causa de los choques, rozamiento y demás resistencias pasivas, y otra la que da el resultado perceptible y apreciable de unión, separación, elevación ó trasporte de los cuerpos ó de sus moléculas.

15. *Se da* el nombre de trabajo motor ó de los motores, que se suele representar por T_m, al que es capaz de producir uno cualquiera de éstos, y trabajo resistente, que se representa por T_r, á la suma del disipado á causa de las diferentes resistencias pasivas, y del que se aprecia por el resultado de la operación: El primero de éstos se llama trabajo perdido, que se representa por T_p, y el segundo trabajo útil que se representa por T_u. El trabajo motor debe ser igual al trabajo resistente, en virtud del principio de la conservación de la energía, y por lo mismo igual á la suma

del trabajo útil, más el perdido, de modo que $T = T$; pero $T = T + T$, por consiguiente $T = T + T$, de donde resulta $T = T - T$ y $T_u < T_m$, luego $\frac{T_u}{T_m} < \frac{T_m}{T_m} < 1$, esto es, $\frac{T_u}{T_m} < 1$.

16. *Se denomina rendimiento de la máquina* á la relación entre el trabajo util y el trabajo motor, cuya expresión es $\frac{T_u}{T_m}$.

El rendimiento de la máquina, según indica su expresión $\frac{T_u}{T_m} < 1$, nunca será más que una parte del trabajo motor, pues siendo imposible la anulación del rozamiento y demás resistencias pasivas, T_p nunca llegará á valer 0, caso único en que resultaría $T_u = T_m$. Esto confirma la imposibilidad del movimiento mal llamado continuo, pues en caso sería eterno ó perpetuo, así como la de la multiplicación del trabajo, esto es, la obtención de un rendimiento, por medio de las máquinas, mayor que 1, ó sea, un trabajo útil mayor que el trabajo motor empleado.

La deducción anterior no es más que una parte integrante del gran principio de que nada se pierde ni crea en la naturaleza, cuya variedad y multiplicación de fenómenos no son sino puras transformaciones, mediante la intervención más ó menos continuada del que pudiera decirse el más poderoso de los agentes, el tiempo.

17. *De las razones* expuestas se sigue: que en cada clase de máquinas será mejor, y por consiguiente la más útil, la que sea más perfecta en la construcción, número y enlace de sus piezas, y que por estas condiciones presente los menos rozamientos, choques y cambios ó alternativas en sus movimientos, de manera que éstos sean los más uniformes y que la marcha de todo el mecanismo se ejecute con el menor ruido posible: signo característico de su mayor perfección.

18. *Así como* el trabajo directo de los motores animados va-

ría según las circunstancias en que se ejecuta, también el rendimiento de las máquinas es muy diferente, según todas sus partes estén formadas por cuerpos sólidos, ó no: en el primer caso es mayor que en las máquinas hidráulicas y en éstas mayor que en las de aire. En las máquinas de piezas sólidas el rendimiento puede llegar al noventa y cinco por ciento ó sea 0,95 del trabajo motor, no bajando por lo general del ochenta por ciento ó sea 0,80; en las hidráulicas puede obtenerse del sesenta al ochenta por ciento ó sea 0,60 á 0,80, y en las de aire sólo suele llegar al diez y seis; por cuya razón estas últimas son desventajosas para la trasmisión y producción de grandes trabajos.

LECCIÓN XXVI.

I. Movimiento uniforme.—Sus leyes.-Movimiento variado.-Sus diferentes casos según la clase de fuerzas continuas que lo pueden producir.—II. Leyes del movimiento uniformemente acelerado y del uniformemente retardado.

I.

1.ª *Las circunstancias* ó elementos que es necesario considerar en el movimiento uniforme (XXIV—9.ª) son la velocidad (XXIV—10.) que se representa por **v**, el tiempo **t** que dura el movimiento y la distancia andada por el móvil en dicho tiempo, que se representa por **e** á causa de la costumbre de llamar espacio á dicha distancia.

2.ª *Leyes del movimiento uniforme* son las relaciones existentes entre el espacio, velocidad y tiempo, reducidas á las tres siguientes: 1.ª El espacio **e** andado por un móvil en el tiempo **t**, con la velocidad **v**, es igual al producto **vt** de la velocidad por el tiempo. Su expresión es $e=vt$ (1.ª), pues impreso el movimiento al móvil por una fuerza instantánea, si en la primera unidad de tiempo anda la distancia **v**, en virtud de la inercia continuará andando la misma distancia **v** en cada una de las unidades sucesivas; luego si el movimiento dura **t** unidades de tiempo, el espacio **e** andado será **v** repetida tantas veces como las unidades de **t**, esto es, $v \times t = vt$.—2.ª La velocidad es igual á el espacio dividido

por el tiempo, esto es, $v=\frac{e}{t}$ (2.ª) como se deduce despejando v en la igualdad (1.ª), expresión de la primera ley.—3.ª El tiempo es igual al espacio dividido por la velocidad, esto es, $t=\frac{e}{v}$ (3.ª) que se deduce despejando á t en la misma igualdad (1.ª)

3.ª *Las relaciones* entre los espacios e y e', tiempos t y t', y las velocidades v y v' de los movimientos de dos móviles, ó de uno mismo en diferentes ocasiones en los diferentes tiempos t y t', son las siguiente: e : e' :: vt : v't'; e : e' :: v : v'; e : e' :: t : t', y v : v' :: t : t'.

En efecto, siendo $e = vt$ y $e' = v't'$, dividiendo ordenadamente estas igualdades, resulta $e : e' :: vt : v't'$, de cuya proporción, suponiendo $t=t'$, se deduce que $e : e' :: v : v'$, y si $v = v'$ que $e : e' :: t : t'$. Finalmente, si $e=e'$ y por consiguiente $vt=v't'$, se deduce que $v : v' :: t' : t$.

4.ª *Las circunstancias* que hay que considerar en el movimiento variado (XXIV—11) son: la fuerza continua que lo origina, y se suele denominar *fuerza generatriz*, el tiempo que dura la acción de esta fuerza, la velocidad adquirida en dicho tiempo y la distancia andada en el mismo por el móvil. Además es necesario tener presente las diferentes maneras con que puede obrar la fuerza continua.

5.ª *Las fuerzas continuas* pueden ser *aceleratrices* ó *retardatrices*. Aceleratrices son las que, por la repetición continuada de su acción, hacen que el móvil ande más en cada instante, esto es, con movimiento acelerado (XXIV—12). Retardatrices son las que, oponiéndose á la acción de otra ú otras fuerzas, disminuyen la velocidad del movimiento que éstas producen, convirtiéndolo en retardado (XXIV—12).

6.ª *Las fuerzas continuas,* aceleratrices ó retardatrices, pueden ser constantes ó variables. Son constantes las que continúan obrando con igual intensidad en todos los instantes que dura el movimiento. Son variables las que no siguen obrando con igual intensidad, sino que aumentan ó disminuyen de unos á otros.

7.ª *Las fuerzas continuas constantes* producen movimiento variado regularmente, esto es, uniformemente variado y por tanto sujeto á leyes fijas.

8.ª *El movimiento uniformemente variado,* que principalmente se debe estudiar, puede ser uniformemente acelerado y uniformemente retardado.

9.ª *Movimiento uniformemente acelerado* es el en que la velocidad aumenta según una ley fija en los instantes sucesivos.

10. *Movimiento uniformemente retardado* es el en que la velocidad disminuye según una ley fija en los instantes sucesivos.

11. *Las fuerzas continuas variables,* aceleratrices ó retardatrices, producen movimiento variado irregularmente, esto es, sin leyes fijas.

12. *Velocidad adquirida,* en el movimiento uniformemente acelerado, es la velocidad con que un móvil, en virtud de su inercia, puede continuar andando con movimiento uniforme al suprimirse, ó suspender su acción, la fuerza aceleratriz, después de haber hecho andar al móvil un tiempo t con movimiento uniformemente acelerado.

13. *La fuerza aceleratriz* se aprecia por la velocidad que, en su virtud y en la primera unidad de tiempo, adquiere el móvil sobre que actúa dicha fuerza; así es que si se representa por v la velocidad adquirida en la primera unidad de tiempo, la expresión de la fuerza aceleratriz f será f=v.

II.

14. *Leyes del movimiento uniformemente acelerado* son las relaciones entre la fuerza continua y constante, ó aceleratriz, que lo produce y que se representa por f, el tiempo t y la distancia andada, ó espacio, que se representa con E, y la velocidad V adquirida en dicho tiempo t.

15. *Las leyes* del movimiento uniformemente acelerado son las siguientes:

1.ª La velocidad adquirida por un móvil durante un tiempo t es igual á la fuerza aceleratriz f multiplicada por el tiempo que dura la acción de ésta: su expresión es V=ft (a).

En efecto, siendo la fuerza aceleratriz igual en todos los instantes ó unidades del tiempo en que actúa sobre el móvil, si durante la primera le comunica la velocidad *v,* durante la segunda le comunicará otra vez la misma velocidad *v;* y como en virtud de su inercia conservará la

adquirida en la primera unidad de tiempo, se agregará ó compondrá con la adquirida en la segunda y resultará que la adquirida en las dos será $2v$; luego por iguales razones la adquirida en tres unidades del tiempo t será $3v$ y así sucesivamente, de modo que en t unidades será vt ó ft puesta f en vez de su igual v y por consiguiente $V=ft$.

2.ª *El espacio* andado por un móvil, con movimiento uniformemente acelerado, por la acción de una fuerza aceleratriz f en un tiempo t es igual á la mitad del valor de la fuerza aceleratriz $\frac{f}{2}$ multiplicada por el cuadro t^2 del tiempo t: su expresión es $E=\frac{f}{2}t^2$ ó $E=\frac{ft^2}{2}$ (b).

La domostración más sencilla posible de esta fórmula es la siguiente: Como en el movimiento uniformemente acelerado las velocidades van creciendo continuamente y por grados insensibles, desde cero que tiene el móvil al empezar su movimiento hasta ft que llega á poseer al fin del tiempo t, no es posible calcular el espacio andado en dicho tiempo como en el caso del movimiento uniforme; pero considerando como velocidad constante, en todos los instantes de tiempo, el término medio $\frac{ft}{2}$ entre 0 y ft, toda vez que siendo los excesos sobre este valor iguales á los defectos de los comprendidos entre ft y o, se compensan y se puede considerar el movimiento ejecutado como uniforme, en cuyo caso, según la fórmula (1.ª) (XXIV—2.ª), $E=\frac{ft}{2}\times t=\frac{ft^2}{2}$ ó $E=\frac{1}{2}ft^2$

2.ª La velocidad adquirida en valor de f y E es igual á la raíz cuadrada del doble producto de f y E, de la fuerza aceleratriz por el espacio, esto es, $V=\sqrt{2Ef}$ (c). En efecto, siendo $V=ft$, y $E=\frac{ft^2}{2}$, eliminando t, resulta $V^2=2Ef$ y por consiguiente $V=\sqrt{2Ef}$.

16. *Las relaciones* entre las velocidades adquiridas V y V', y los espacion E y E' andados por dos móviles, ó por uno mismo, en tiempos diferentes, pero en virtud de la misma fuerza aceleratriz f, son las siguientes: 1.ª, las velocidades adquiridas resultan en razón directa de los tiempos, esto es, que $V:V'::t:t'$;

pues siendo $V = ft$ y $V' = ft'$, dividiendo ordenadamente estas igualdades y suprimiendo el factor común f resulta $V : V' :: t : t'$.

2.ª, los espacios andados son como los cuadrados de los tiempos, esto es, que $E : E' :: t^2 : t'^2$; pues siendo $E = \frac{1}{2} ft^2$ y $E' = \frac{1}{2} ft'^2$, dividiendo ordenadamente estas igualdades y suprimiendo por factor común $\frac{1}{2} f$, resulta $E : E' :: t^2 : t'^2$; asi es, que si $t = 1$ y $t' = 2$, $E : E' :: 1^2 : 2^2 :: 1 : 4$.

17. *Las relaciones* entre los espacios que anda un móvil, con movimiento uniformemente acelerado, en cada una de las unidades de un tiempo t, son las de los números impares 1, 3, 5, 7... esto es, que si en la primera unidad de tiempo anda un espacio 1, en la segunda anda otro 3, en la tercera otro 5 y asi sucesivamente.

En efecto, si en el tiempo 1" anda un espacio 1 y en 2" anda 4, descontando de 4 el espacio 1 andado en el primer segundo, los tres restantes deberán haber sido andados en el otro. Por igual raciocinio se deduce que en el tercer segundo debe andar 5, en el cuarto 7 y asi sucesivamente.

18. *La velocidad* que un cuerpo adquiere, andando con movimiento uniformemente acelerado, en un tiempo t, es capaz de hacerle andar, en igual tiempo y con movimiento simplemente uniforme, un espacio doble del andado en el primero con el uniformemente acelerado.

En efecto, siendo ft la velocidad adquirida en el tiempo t, el espacio e que con ella y movimiento uniforme debe andar en el segundo é igual tiempo t, será $e = ft \times t = ft^2$, esto es, $e = ft^2$, y y el andado con movimiento uniformemente acelerado en el primer tiempo será $E = \frac{1}{2} ft^2$; luego dividiendo ordenadamente ambas igualdades, se tendrá $e : E :: ft^2 : \frac{1}{2} ft^2$ y suprimiendo el factor común t^2, $e : E : f : \frac{f}{2} :: 2f : f :: 2 : 1$, esto es, que $e : E :: 2 : 1$. Según esto, el espacio que anda un móvil en el primer segundo con movimiento uniformemente acelerado viene á ser la mitad de la velocidad que en él adquiere, ó viceversa.

Por esta razón, una vez conocido el espacio correspondiente á la primera unidad de tiempo, duplicándolo quedará determinado el valor de la velocidad adquirida en dicha unidad y, por consiguiente, el de la fuerza aceleratriz; así como, por el contrario, conocida ésta, tomando su mitad resulta el valor del espacio correspondiente á la primera unidad del tiempo t.

19. *El movimiento* uniformemente retardado (XXIV—11) sólo resulta cuando, al ejecutarse un movimiento, interviene, oponiéndose á él, una fuerza continua y constante, esto es, una retardatriz constante, que haciendo decrecer constantemente la primitiva velocidad del móvil, hace disminuir con una ley fija los espacios que aquél debiera andar en las unidades sucesivas de un tiempo determinado.

20. *Para calcular* los espacios que deberá andar un móvil con movimiento uniformemente retardado en las unidades sucesivas del tiempo de su duración, se calculan los espacios que la fuerza retardatriz le haría andar con movimiento uniformemente acelerado, si obrase sola como aceleratriz, y restándolos de los que debiera andar en los mismos tiempos, con el movimiento de que primitivamente se hallara poseido, los restos serán los espacios que le corresponderá andar en los mismos tiempos con el movimiento uniformemente retardado producido por la expresada fuerza retardatriz.

LECCIÓN XXVII.

Gravedad como causa de la caída de los cuerpos.—Movimiento uniformemente acelerado en el descenso de los cuerpos por la vertical.—Movimiento uniformemente retardado de los cuerpos lanzados verticalmente de abajo arriba.

1.ª *La gravedad* ó pesantez, causa de la caída de los cuerpos, es una fuerza que se considera como continua y constante, que sin embargo de ser variable de unos puntos á otros del globo, obra con igual intensidad sobre todos los cuerpos y sus moléculas, en cada uno de aquellos.

2.ª *Que la gravedad* es como una fuerza continua, lo prueban la observación y la experiencia, que enseñan no hay instante alguno en que cese su acción; pues no existe ejemplo de cuerpo que,

abandonado á sí mismo, haya dejado de caer inmediatamente; y que es constante resulta probado del mismo modo, pues el esfuerzo necesario para sostener un cuerpo en el mismo punto de la tierra, ó impedir su caída, es igual siempre y en cualesquiera circunstancias.

3.ª *Que en un mismo punto* de la superficie de la tierra obra la acción de la gravedad con igual intensidad sobre todos los cuerpos y cada una de sus moléculas, lo confirman también la observación y la experiencia; porque las moléculas de un cuerpo caen todas á la vez, sin separarse unas de otras, ni deformarse aquél, sucediendo lo mismo con todos en conjunto, pues caen reunidos si lo verifican en el vacío.

4.ª *Si los cuerpos* no caen á la vez, retardándose los menos densos, es por causa de la resistencia del aire; pues si aquellos presentan igual volumen, destruye igual parte de la cantidad de movimiento con que deberían descender, por cuya razón en el más denso, cuya cantidad de movimiento es mayor, queda mayor residuo de ella, cae con mayor velocidad y se adelanta. Si tienen igual masa, bajo diferente volumen, se adelantan los que lo tienen menor; porque siendo la gravedad igual para todos é iguales por consiguiente sus velocidades, el de menor volumen encontrando menor resistencia, perderá menor parte de su cantidad de movimiento, le quedará mayor parte de ella, descenderá con mayor velocidad y se adelantará á los otros.

5.ª *Se prueba* que en el vacío todos los cuerpos caen á la vez y no se retrasa ninguno, como en el aire, haciendo uso de un tubo que tiene doce ó más decímetros de longitud, unos seis ó más centímetros de diámetro y está cerrado por dos virolas metálicas, de las cuales una tiene la correspondiente llave para abrir y cerrar la comunicación con el exterior. El experimento se ejecuta: introduciendo en dicho tubo pequeños trozos de cuerpos de diferente densidad, como papel, madera, cera, plomo ú otros, haciendo el vacío por medio de la máquina neumática, é invirtiendo el tubo para que los cuerpos caigan, pues se ve que todos lo verifican sin retraso; mas si se abre la llave, entra el aire en el tubo y vuelve á invertirse éste, ya no caen todos á la vez, retardándose los menos densos.

6.ª *Se prueba* que la resistencia que opone el aire á la caída de los cuerpos, aumenta según la extensión superficial de los mismos, y que la causa que produce su retraso es la resistencia del aire, del modo siguiente: 1.° Se toman dos discos de papel de igual clase é igual diametro, y dejándolos caer al mismo tiempo, descienden á la vez; pero si el uno se arrolla y el otro no, y se vuelven á dejar caer, el arrollado por presentar menos superficie cae antes y el otro se retarda. 2.° Si se toman dos discos de metal ó cartón, uno circular y otro en forma de anillo ó corona, y sobre una y otro se colocan dos discos iguales de papel, dejándolos caer, se verá: que el disco circular macizo y el del papel colocado encima descienden juntos, en virtud de que vencida la resistencia del aire por el disco metálico ó de cartón, el papel no tiene motivo alguno para separarse; por el contrario, que el colocado encima del anillo, separándose de éste, se retrasa, porque penetrando el aire por el orificio ó hueco del anillo, ejerce su resistencia sobre el papel: demostración que también se puede hacer con el aparatito compuesto de dos molinetes, cuyas paletas hienden el aire al girar las del uno de plano y las del otro de corte, pues se ve que puestos ambos en movimiento, el primero se para antes que el otro.

7.ª *Los cuerpos* líquidos y aun los sólidos reducidos á polvo, se dividen separándose sus partes al caer, porque no estando ligadas por la fuerza de cohesión, pueden ser desunidas por la resistencia del aire, que introduciéndose entre unas y otras logra aquella separación, sin lo que la lluvia caería formando una masa compacta.

8.ª *Que la lluvia* formaría una masa compacta, si no fuera por la resistencia del aire, se prueba fácil y sencillamente con el martillo de agua.

Este es un tubo cilíndrico de vidrio, terminado por uno de sus extremos en una esfera, cerrado herméticamente, lleno de agua hasta su mitad y purgado de aire de tal modo, que al invertirlo cae el agua y se oye un golpe como el del choque de un pequeño martillo, por cuya razón se le da aquel nombre. Para construirlo, se llena de agua la mitad, se le hace hervir á fin de que el vapor llene el resto, expeliendo el aire; se cierra con la lámpara de esmaltar, y condensado el vapor, luego que se enfría resulta un vacío sobre el agua.

9.ª *La acción* de la gravedad debe imprimir á los cuerpos en su caída vertical movimiento uniformemente acelerado, y por consiguiente dicha caída debe resultar según las leyes del mismo; de modo que siendo en tal caso la acción de la gravedad la fuerza aceleratriz, representándola, según costumbre, por g, si se sustituye en vez de f en las fórmulas generales $V=ft$, $E=\frac{1}{2}ft^2$, $V=\sqrt{2Ef}$, señaladas con (a), (b), (c), (XXVI—15), resultará que las correspondientes á la caída de los cuerpos, *descenso de los graves*, tendrán la forma $V=gt$, $E=\frac{1}{2}gt^2$, $V=\sqrt{2Eg}$.

10. *Que los cuerpos*, en su caída vertical, descienden según las leyes del movimiento uniformemente acelerado, se deduce desde luego una vez demostrado que la acción de la gravedad es fuerza contínua y constante; lo que se comprueba experimentalmente por medio de los correspondientes aparatos como la máquina de Atvvood, el plano inclinado y el aparato de trazo continuo de Mr. Morin.

11. *La gravedad* actuando desde arriba hacia abajo continua y constantemente sobre los cuerpos lanzados verticalmente de abajo para arriba, contraría su movimiento y lo disminuye retardándolo hasta destruirlo; de manera que viene á obrar como fuerza retardatriz constante.

12. *Los cuerpos* lanzados verticalmente de abajo arriba, influenciados por la acción retardatriz de la gravedad, ascienden en la vertical con movimiento uniformemente retardado hasta que, llegados á cierta altura y agotada la velocidad con que fueron lanzados, cesa su movimiento ascensional, empezando inmediatamente su descenso con el movimiento uniformemente acelerado, que la gravedad tiende á imprimirles de continuo.

13. *Para lanzar* un cuerpo verticalmente y hacerle subir á cierta altura, es necesario comunicarle una velocidad igual á la que adquiriría cayendo de aquella, y, por consiguiente, capaz de hacerle andar el doble de la misma en igual tiempo. En efecto, el retardo que causa la gravedad hasta llegar el cuerpo á la altura que debe alcanzar, es equivalente al aceleramiento que

produciría durante la caída desde la misma, por cuya razón le impide andar, al subir, el mismo espacio que debería correr en su descenso desde la altura á que sube, así es que entre el camino que anda al subir y el igual que además debía correr, y no lo anda por el retardo, forma un doble; luego la velocidad necesaria para hacer llegar un cuerpo á esta altura, ha de ser capaz de hacerle andar en igual tiempo y con movimiento uniforme un camino doble de la misma, que es la que adquiriría cayendo desde dicha altura.

LECCIÓN XXVIII.

Descenso de los cuerpos planos inclinados, y propiedades notables que en él resultan.

1.ª *El descenso* de los cuerpos por planos inclinados, prescindiendo de la disminución de su velocidad por causa del rozamiento, es efecto de la acción de la gravedad, que obra sobre sus moléculas, como lo es también de la caída vertical, si bien se efectúa con alguna diferencia respecto de ésta.

2.ª *La fuerza* en virtud de la cual las moléculas de todo cuerpo colocado en plano inclinado tienden á descender por él, como así sucede si no lo impide el rozamiento ú otra causa cualquiera, no es la acción total de la gravedad sobre sus moléculas, sino una parte, que es la componente paralela á la longitud del plano en que, con otra perpendicular al mismo, sabemos se descompone aquella (XXII—4); de modo que representada por g, la intensidad de la gravedad, y llamando g' á dicha componente, su relación con g será la misma que la de potencia á resistencia en la máquina plano inclinado (XXII—6), esto es, la de h : l; luego $g' : g :: h : l$, de donde se deduce que $g' = \frac{gh}{l}$ y por, consiguiente, $g' = \frac{h}{l} g$; así es que siendo $h < l$, g' será sólo una parte del valor total de g.

3.ª *Siendo el valor* de g el de una fuerza continua y constante en todos los tiempos y puntos del plano, y constantes también l

y h, g' será así mismo igual parte de g en todos los puntos é instantes del descenso y, por consiguiente, fuerza continua y constante también como g, por cuya razón el descenso de los cuerpos por planos inclinados se ejecutará con movimiento uniformemente acelerado, por ser debido á g', fuerza aceleratriz constante.

4.ª *Las fórmulas* del movimiento de los cuerpos en su caída vertical son también aplicables al descenso por plano inclinado, con sólo poner en vez de g, valor de la fuerza aceleratriz del primer caso, g' que representa la aceleratriz del segundo; de manera que siendo las $V=gt'$, $E=\frac{1}{2}gt^2$, $V=\sqrt{2Eg}$ (XXXVII—11), las correspondientes al descenso por plano inclinado, representando por V' la velocidad adquirida en el mismo serán $V'=g't$, $E=\frac{1}{2}g't^2$, $V'=\sqrt{2Eg}$, ó sustituyendo en vez de g' su valor $\frac{h}{l}g$ (XXVIII—2), resultarán las siguientes.

$$V'=\frac{h}{l}gt,\quad E=\frac{1}{2}\frac{h}{l}gt^2,\quad V'=\sqrt{\frac{2hgE}{l}}=\sqrt{\frac{2Egh}{l}}.$$

5.ª *La velocidad* adquirida por un móvil al fin del plano inclinado por donde desciende, es igual á la que adquiriría cayendo verticalmente desde la altura de que parte dicho plano. En efecto, comparando las fórmulas $V=\sqrt{2Eg}$, $V'=\sqrt{\frac{2Egh}{l}}$, y considerando que el espacio E en la primera es la altura h de la caída vertical, y en la segunda la longitud l del plano inclinado, si se sustituye respectivamente E por h y l, resulta $V=\sqrt{2gh}$ y $V'=\sqrt{\frac{2lgh}{l}}=\sqrt{2hg}=\sqrt{2gh}$, y, por consiguiente, deser $V=\sqrt{2gh}$ y $V'=\sqrt{2gh}$, que $V=V'$.

6.ª *La velocidad* adquirida por los cuerpos al descender por planos inclinados de diferente longitud es igual, si parten de una misma altura, por ser en todos la misma que la que adquirirían cayendo verticalmente desde dicha altura (XXVIII—5).

7.ª *La fórmula* $V=\sqrt{2gh}$ se llama de la velocidad debida á una altura, porque siendo h y g constantes, el valor de V sólo depende del de la altura h de que parten los planos, cualesquiera que sean sus longitudes é inclinaciones.

8.ª *Se dice* que un cuerpo, al descender por un plano inclinado, adquiere una velocidad capaz de hacerle subir á una altura igual á aquella de donde descendió, porque dicha velocidad es siempre igual á la adquirida en la caída vertical, durante la cual se adquiere aquel valor.

9.ª *Prescindiendo* del rozamiento, y considerada la cuestión teóricamente, si un cuerpo que desciende por un plano inclinado encontrase al fin de éste á otro de igual altura, pero en posición opuesta á la de aquél (f.ª 42), con la velocidad adquirida correría también el segundo, cualquiera que fuese la longitud de éste: sin embargo, mediando el rozamiento no sucedería así exactamente, ya porque la velocidad adquirida resultaría disminuida en la parte consumida por aquél durante el descenso, ya porque el resto vuelve á ser disminuido en otra parte, por el mismo rozamiento, al subir por el segundo plano inclinado.

10. *El tiempo* que un cuerpo emplea en descender por el diámetro vertical de un círculo y al ejecutarlo en plano inclinado por una cuerda, cuyo origen esté en uno de los extremos de dicho diámetro (f.ª 43), es siempre el mismo; de donde resulta la notable propiedad que se enuncia: *los cuerpos al descender en plano inclinado por cuerdas de círculo que parten de un extremo de su diámetro vertical, emplean el mismo tiempo cualquiera que sea la longitud de la cuerda.*

11. *El tiempo* que un cuerpo necesita para descender por cualquier cuerda, grande ó pequeña, de las que se pueden considerar partiendo desde uno de los extremos del diámetro vertical de un círculo, es igual en todas ellas; porque es el empleado en correr dicho diámetro, que es siempre el mismo.

12. *El tiempo* empleado en andar una distancia ó línea recta no es siempre el más corto, como pudiera creerse guiados por la propiedad que tiene la línea recta de ser el camino más corto entre dos puntos, pues es posible disponer entre ellos una línea recta en plano inclinado, un arco de circunferencia y otro de la curva cicloide, y que el arco de circunferencia sea corrido en igual tiempo que la recta y en menos que ésta el arco de cicloide: propiedades que se demuestran experimentalmente con el correspondiente aparato, como es fácil comprender á su vista.

13. *Las ventajas* y desventajas de los planos inclinados son tantas y tan variadas, según las circuntancias, que no es fácil enumerarlas de un modo fijo y concreto; pero en todas partes encontramos ejemplos en que se presentan planos inclinados, cuya ventaja ó desventaja es generalmente fácil de conocer. Las pendientes de las carreteras acertadamente calculadas y combinadas; las rampas que sirven como de escalera en ciertas torres, subidas á castillos y determinadas alturas en las montañas, y los que se establecen en las heredades, en la conducción de aguas, etc., son otros tantos ejemplos de las ventajas de los planos inclinados. Por el contrario, la presencia de unos con gran altura en vez de otros con menos, indican claramente lo perjudicial de su existencia y la necesidad é importancia de reglamentar lo relativo á las pendientes en la construcción de las carreteras.

LECCIÓN XXIX.

Movimiento circular de los cuerpos y valor de la fuerza centrífuga que en ellos se desenvuelve.—Relaciones que resultan entre los valores de la fuerza centrífuga de dos cuerpos que se mueven circularmente, sus masas, radios de rotación y tiempos que emplean en su revolución.—Fenómenos que se explican por la acción de la fuerza centrífuga.—Movimiento parabólico de los cuerpos lanzados horizontal ú oblícuamente.

1.ª *Las diferentes* especies de curvas que pueden resultar en el movimiento curvilíneo (XXIV—7.ª), dependen (XXIV—15) de las circunstancias de las fuerzas que lo producen y número de ellas, por cuya razón su estudio es impropio de estas lecciones; mas para la explicación de algunos fenómenos y prácticas, tanto del uso vulgar como científico, conviene conocer al menos y aunque abreviadamente, el movimiento circular, el parabólico y el oscilatorio del péndulo.

2.ª *Movimiento circular* es el en que por las circunstancias de las fuerzas que lo originan, el móvil resulta sujeto á permanecer en todo instante á igual distancia de un punto determinado, cual sucede cuando una fuerza impulsa á un cuerpo ligado á uno de los extremos de un hilo ó varilla resistente é inestensible, que por el otro lo está á un punto fijo.

3.ª *La explicación* del movimiento circular, como ejemplo de un movimiento curvilíneo, es la siguiente: Supongamos una fuerza instantánea **ao**, aplicada en **a**, de intensidad **ab**; que el punto **a** esté ligado de un modo invariable á otro fijo **c**, por medio de una cuerda ó varilla **ac**, como sucede en el uso de la honda, y que la intensidad de su resistencia se represente por **ad**; en tal caso no pudiendo pasar el punto, molécula ó cuerpo colocado en **a** al punto **b**, por que siendo **ac** resistente é inestensible lo sujeta á permanecer siempre á igual distancia de **c**, se provoca por la resistencia pasiva de la cuerda ó varilla una descomposición de la fuerza impulsiva ó instantánea **ab**, semejante á la que sufren los cuerpos que se hallan colocados sobre planos inclinados, y es reemplazada por dos componentes, una **af** en dirección opuesta á **ad** que se destruye con ésta, y otra **aa'** que produce el movimiento resultante, trasladando al cuerpo, en el primer tiempo que podemos considerar, de **a** á **a'**; desde éste continuaría con movimiento uniforme y en la prolongación **a'o'** si no se opusiera la resistencia del hilo, el cual produciendo iguales efectos que en **a** impedirá al cuerpo que pase del punto **a'** al **o'** y le sujetará á trasladarse de **a'** á **a''**, y así sucesivamente; de modo que, si suponemos tiempos infinitamente pequeños, los caminos **aa'**, **a'a''** etc. serán también distancias infinitamente pequeñas, y, por consiguiente, los puntos **a**, **a'**, **a''** etc. se podrán considerar tan próximos como se quiera; los que estando equidistantes de **c**, vendrán á ser como los elementos de una circunferencia, resultando por tanto el movimiento circular y el cuerpo animado en todos los puntos de una fuerza centrípeta, de otra centrífuga y de la fuerza ó velocidad tangencial, que, á cada momento, se puede considerar como la fuerza instantánea ó impulsiva que con la centrípeta engendran el movimiento.

4.ª *El valor* de la fuerza centrífuga de un cuerpo en el movimiento circular se halla por la fórmula $F=\frac{4\pi^2 MR}{t^2}$ que la Mecánica determina. Las letras **F**, **M**, **R**, **t** representan respectivamente los valores de la fuerza centrífuga, masa del cuerpo, radio de rotación y tiempo de la duración de ésta, y π el valor numérico de la relación del diámetro á la circunferencia.

5.ª *Las relaciones* de las fuerzas centrífugas F, F' de dos cuerpos, cuyas masas son respectivamente M, M', sus radios de rotación R, y R' y los tiempos de su duración t, t', en cuyo caso (XXIX—4.ª), $F=\frac{4\pi^2 M R}{t^2}$ (a) y $F'=\frac{4\pi^2 M' R'}{t'^2}$ (b), son las siguientes:

1.ª Son entre sí como los productos de sus masas multiplicadas por los respectivos radios de rotación, divididos por los cuadrados de los tiempos empleados en la de cada móvil; esto es, en razón directa de sus masas y radios de rotación, é inversa de los cuadrados de los tiempos de duración de ella. En efecto; dividiendo ordenadamente las dos igualdades anteriores (a) y (b), tendremos la proporción $F : F' :: \frac{4\pi^2 M R}{t^2} : \frac{4\pi^2 M' R'}{t'^2}$, de la cual, suprimiendo el factor común $4\pi^2$ y quitando divisores, resulta $F : F' :: M R t'^2 : M' R' t^2$ (c).

2.ª Que cuando los tiempos son iguales, resultan como los productos de las masas por los radios, pues si $t=t'$, $t^2=t'^2$, en cuyo caso suprimiendo los factores t^2 y t'^2, como factor común, la proporción (c), que expresa la primera ley, queda reducida á la $F : F' :: M R : M' R'$ (d), expresión de esta segunda.

3.ª Que si además de tiempos iguales, los radios de rotación lo son también, resultan en razón de las masas; pues siendo $R=R'$ se pueden suprimir, como factor común, en la proporción (d), expresión de la segunda ley, y resulta $F : F' : R : R'$, que expresa esta tercera.

4.ª Que si además de tiempos iguales, las masas también lo son, resultan como sus radios de rotación; pues siendo $M=M'$, suprimiendo este factor común en la misma proporción (d), queda reducida á la $F : F' :: R : R'$, expresión de esta cuarta ley.

5.ª Que si giran en igual tiempo, con diferentes radios y masas, resultarán iguales si los radios están en razón inversa de las masas, ó viceversa; porque si en la proporción (d) $F=F'$, habrá de ser $M R=M' R'$, de cuya igualdad resulta $M : M' :: R' : R$, expresión de esta quinta ley.

Estas leyes se comprueban con experimentos fáciles de comprender, que se ejecutan con el aparato denominado de fuerzas centrales, cuyas

partes y su disposición varían; razón por la cual su descripción es más oportuno darla á la vista del aparato de que se pueda disponer.

6.ª *Los fenómenos* dependientes de la fuerza centrífuga, y las aplicaciones que de ella se pueden hacer en las ciencias y en las artes, son tantas, tan interesantes y hasta sorprendentes, que dificultan su enumeración; pero basta saber que dicha fuerza se utiliza en muchos mecanismos, como ventiladores, aventadores y otros análogos, y que por ella se explican suertes sorprendentes en los espectáculos públicos, como el giro en un plano vertical de un vaso con líquido sin que éste se derrame, como sucedería sin la intervención de dicha fuerza, al pasar por la parte superior del círculo que el vaso describe; la suerte que se ejecuta en los circos ecuestres, de deslizarse el ginete del caballo cuando marcha con gran velocidad y continuar aquél como adherido al caballo por el lado de éste que da hacia el interior del circo; los movimientos que el que va á caballo necesita hacer en ciertos giros para contrariar la fuerza centrífuga, que en ellos se desenvuelve y tiende á lanzarle por la tangente; el uso de la honda, y algunos otros fáciles de comprender y recordar por la explicación verbal.

7.ª *El aplanamiento* de la tierra en los polos, se atribuye en parte al efecto producido en ella en otro tiempo, cuando debió estar en estado de cierta fluidez ó pastosidad, por la acción de la fuerza centrífuga, que con el movimiento de rotación se desenvuelve en sus moléculas, si bien con distintos grados de intensidad según las diferentes latitudes; pues desde el ecuador, donde resulta en su máximun, decrece hasta el polo, en que es nula, toda vez que el radio de rotación de que depende en igualdad de masa y tiempo, según la cuarta ley (XXIX—5.ª), es el mayor en el ecuador y cero en el polo; circunstancia que es necesario tener presente en las apreciaciones de la intensidad de la gravedad en cada latitud, á la vez que la indicada influencia del dicho aplanamiento, en virtud del cual no resultan iguales las distancias desde el centro de la tierra á todos los puntos de la superficie de ella.

8.ª *Movimiento parabólico* es el ejecutado por un móvil describiendo ramas ó arcos de parábola, como el que resulta en los cuerpos lanzados fuera de la vertical, en las venas líquidas no verticales, y el seguido por los proyectiles.

9.ª *Para explicar* el movimiento parabólico, basta fijarse en el de una piedra ó proyectil cualquiera lanzado horizontalmente. Al efecto, supongamos el móvil en el punto a (f.ª 46), lanzado en la dirección de la horizontal ab por una fuerza instantánea capaz de hacerle andar, en dicha dirección y tres unidades de tiempo, las distancias de a á 1 en la primera, de 1 á 2 en la segunda, de 2 á 3 en la tercera; y considerando que al mismo tiempo obra la acción de la gravedad tendiendo á hacerle descender verticalmente, con movimiento uniformemente acelerado (XXVI—9.ª), en la primera unidad la distancia vertical de a á 1, en las dos de a á 4 y en las tres de a á 9, no pudiendo seguir el móvil los dos caminos á la vez, en la primera deberá resultar en e, según el teorema del paralelógramo de fuerzas, al fin de la segunda en e' y al de la tercera en e''. Ahora bien, como estos puntos son tales que sus distancias respecto á las direcciones ab y ac, están en la misma relación que las coordenadas de los puntos de una parábola, y los intermedios deben seguir la misma ley, resulta que la continuidad de ellos debe ser una parábola, como lo sería en el vacío; pero en el aire no resulta exactamente por efecto de la resistencia del mismo.

10. *La trayectoria* de los proyectiles de las armas de fuego, llamada *curva balística*, es un hecho que en lo esencial tiene igual explicación, pero que se complica no sólo con la fuerza de la pólvora, peso del proyectil, resistencia del aire, etc., sino que también con otras circunstancias, como la forma del arma, y su inclinación respecto á la horizontal, por cuya razón el estudio de tales pormenores y su conjunto constituye un ramo de ciencia militar llamado *Balística*.

LECCIÓN XXX.

I. Movimiento oscilatorio.— Péndulos. — II. Isocronismo y leyes de las oscilaciones del péndulo simple.

1.ª *Movimiento* oscilatorio es el de un móvil v, ligado al extremo de un hilo ó varilla av (f.ª 47), cuyo otro extremo a se apoya en un punto resistente alrededor del cual puede girar, cuando se le separa de su posición de equilibrio av y abandonado

desciende desde c á v por la acción de la gravedad, sube á c' por la velocidad adquirida, retrocede desde c' á c y así sucesivamente.

2.ª *El movimiento* oscilatorio, no osbtante su complicación, se puede explicar con la sencillez correspondiente á lecciones elementales, construyendo la (f.ª 48) con la posición vertical av de equilibrio del móvil; dos situaciones ac y ac'''' á uno y otro lado de la primera ac'' y equidistantes de ella, trazando el arco de circunferencia cc'''' que describe al pasar de una á otra de dichas posiciones, y en el punto de origen de aquél un paralelógramo efgt, que representa la descomposición de la gravedad cg en dos fuerzas cf y ct; la primera en sentido opuesto á la dirección del hilo, con cuya resistencia se destruye, y la segunda en la de la tangente á dicho arco en aquel punto, la cual impulsando al móvil le imprime el movimiento. De este modo se comprende: 1.°, que la fuerza que produce y continúa el movimiento, es la acción de la gravedad, aunque no con todo su valor, pues descompuesta, según indica la f.ª 48, en las dos fuerzas cf y ct, si bien la primera se destruye con la resistencia del hilo, la segunda que es parte componente de la gravedad cg, aunque en relación variable y decreciente de una posición á otra, como se ve en la c', viene á ser la velocidad tangencial con que el móvil va descendiendo desde c hacia c'', y 2.°, que obrando en este punto la acción de la gravedad en la dirección vg opuesta á la ac'' del hilo, se destruye totalmente con la resistencia de éste, no se descompone y la fuerza tangencial resulta nula. Llegado este caso, el móvil debiera quedar en equilibrio; pero con la velocidad adquirida en su descenso por el arco cc'', como en plano inclinado, capaz de hacerle subir por la parte opuesta á igual altura c'''' (XXVIII —9), continúa su movimiento; mas en vez de llegar á c'''' para volver después á c, y del mismo modo sucesiva y perpetuamente, no sucede así por la resistencia del aire y rozamiento sobre el punto de suspensión, que consume una parte de aquella velocidad. Por esta razón al descender el móvil de c á v (f.ª 49), y deber subir después á c', sólo llega á c''; descendiendo de este punto á v y debiendo subir á c''', sólo llega á c'''', y así sucesivamente hasta llegar á un último caso en que la velocidad adquirida en el descenso es tan pequeña, que destruida por la resistencia del

aire y rozamiento sobre el punto de suspensión, y equilibrada la acción total de la gravedad con la resistencia del hilo, por opuesta á la dirección de éste, el móvil queda en reposo.

Si este movimiento no resultase contrariado por la resistencia del aire y rozamiento sobre el punto de suspensión, se tendría un movimiento perpetuo; pero como, aun en el más perfecto vacío, siempre queda el rozamiento del hilo ó varilla sobre el punto de suspensión, claro está lo imposible de impedir el que la velocidad adquirida en el descenso llegue á ser nula, por cuya razón el movimiento debe terminar en tiempo más ó menos largo y no puede ser perpetuo. Este hecho debe servir de ejemplo para comprender la imposibilidad de resolver el problema del movimiento perpetuo, impropiamente llamado continuo, si se tiene presente la imposibilidad de obtener máquinas ó aparatos que no ofrezcan rozamientos y adherencias por mucho que se los pueda disminuir, toda vez que no es dado el conseguir su completa anulación.

3.ª *Se da el nombre de péndulo* á la molécula ó cuerpo suspendido al extremo de un hilo ó varilla, cuyo otro extremo se halla apoyado sobre un punto fijo y resistente, alrededor del cual puede oscilar.

4.ª *El péndulo* se puede considerar simple y compuesto: el simple sería cuando sin dejar de ser pesado el punto material ó molécula, el hilo ó varilla no tuviese masa ni peso y fuese inextensible. El compuesto es todo cuerpo sólido ligado al extremo de un hilo ó varilla apoyado por el otro extremo sobre un punto fijo alrededor del cual pueda oscilar libremente.

5.ª *El péndulo simple* no existe en realidad, sólo es concepción ideal á propósito para simplificar la teoría del compuesto, no obstante sus complicaciones. El péndulo simple se suele denominar también péndulo matemático, y su teoría sirve para establecer las leyes y consecuencias conducentes al conocimiento del compuesto, que tantas veces se hace necesario considerar en las ciencias y en las artes.

6.ª *Oscilación* es el paso del péndulo simple, ó móvil **v**, desde una posición extrema **c** á la otra extrema opuesta **cc''** (f.ª 49).

7.ª *Amplitud* de una oscilación es el arco de circunferencia **cc''** (f.ª 49), que describe el péndulo al ejecutarla: arco que se compone de dos partes **cv** y **vc''** (f.ª 49), llamadas semi-oscilaciones, no porque sean iguales, sino por la igualdad de tiempos en que el péndulo

las corre. La primera llamada semi-oscilación descendente es el arco cv por donde desciende el péndulo en virtud de la acción de la gravedad, hasta llegar á la posición de equilibrio en v; y la segunda, llamada semi-oscilación ascendente, es el arco c''v por donde sube desde dicha posición hasta c'', en que resulta extinguida la velocidad adquirida al descender. De este modo, al continuar el movimiento, la que en una oscilación fué semi-oscilación ascendente en la inmediata es descendente, y vice-versa, y así sucesivamente hasta quedar el péndulo en reposo.

8.ª *La oscilación* no se debe confundir con la vibración, pues aunque semejantes, por constituir ambas un movimiento de vaivén, son muy diferentes; porque la primera es propia solamente de los péndulos y se produce á causa de la gravedad, cuando la segunda lo es de las moléculas de los cuerpo ó del todo ó parte de ellos y se efectúa por varias causas, y en cualquiera dirección, aunque no sea en plano vertical como la oscilación.

9.ª *Isocronismo* del péndulo es la propiedad de emplear éste igual tiempo en todas sus oscilaciones, cuando no exceden de unos 3°, verifíquense en el aire ó en el vacío, pero en un mismo lugar ó punto de la tierra.

Si el péndulo es el ordinario, llamado circular porque describe arcos de circunferencia al oscilar, el isocronismo sólo es aproximado; pero si el arco descrito es de cicloide, en cuyo caso el péndulo se denomina cicloidal, entonces las oscilaciones resultan iguales con exactitud matemática.

El descubrimiento del isocronismo se atribuye á Galileo que, según se refiere, siendo muy joven concibió tal idea por la observación del movimiento de vaivén de una lámpara pendiente de la bóveda de la catedral de Pisa.

10. *El isocronismo* de las oscilaciones del péndulo, se puede explicar recordando el modo con que se engendran las mismas. En efecto, si se considera en vez de los arcos de las semi-oscilaciones sus correspondientes cuerdas en plano inclinado, se comprenderá que siendo igual el tiempo en que se corren estas al empleado por un grave en descender por el diámetro vertical del círculo á que pertenecen dichos arcos, en todas, grandes ó pequeñas, se gastará éste, y por consiguiente igual tiempo, y lo mismo sucederá muy próximamente respecto de los arcos; luego

si en la semi-oscilación descendente se gastó el tiempo que emplearía un *grave* en descender por el expresado diámetro, en la ascendente se emplearía otro tanto, resultando que el tiempo de la una más el de la otra, esto es, el de la oscilación entera, será el duplo del necesario para correr el expresado diámetro; de donde resulta que siendo este tiempo el empleado en todas las oscilaciones, en todas será el mismo, luego serán isócronas.

11. *El tiempo* de una oscilación, en un punto determinado de la tierra, depende de la longitud del péndulo y de la intensidad de la gravedad en dicho punto. Su valor se halla por la fórmula $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, que se demuestra en Mecánica, y cuyas letras t, l, g, representan: t, el tiempo de la oscilación; l, la longitud del péndulo; g, la intensidad de la gravedad en el lugar de la tierra en que aquél oscile, y π, la relación del diámetro á la circunferencia 3,141592.....

12. *Leyes* de las oscilaciones del péndulo, son las relaciones entre los tiempos de una oscilación, la longitud del péndulo ó péndulos que se comparan y el valor ó valores de la acción de la gravedad en el punto ó puntos de la tierra en que oscilen los péndulos. Se deducen de la fórmula $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ y por la comparación de ésta con la $t'=\pi\sqrt{\frac{l'}{g'}}$ de otro caso; en que t', l', g' representan nuevos valores de dichas cantidades.

13. *Las leyes* del péndulo simple, son las siguientes:

1.ª El tiempo que un péndulo emplea en ejecutar sus oscilaciones, en un mismo punto de la tierra, es el mismo para todos, según lo expuesto al dar á conocer el isocronismo, que se ve confirmado por la fórmula $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. En efecto, dependiendo t solamente del valor l de la longitud del péndulo y de la intensidad g de la gravedad, al ser estas constantes lo mismo que π, t no puede tener sino el mismo valor.

2.ª La duración de la oscilación de un péndulo es independiente de su materia por depender sólo de l y g y no entrar en la fórmula el valor de la densidad: circunstancia que se comprueba con el experimento de M. Bessel.

Se efectúa este experimento con péndulos de sustancias diferentes, pero de igual longitud y haciéndolos oscilar á la vez; pues resulta que todos marchan simultáneamente, aunque con amplitudes diferentes por su diferente densidad y por la influencia de la resistencia del aire: lo que constituye una prueba del valor igual de la intensidad de la gravedad sobre las moléculas de los diferentes cuerpos.

3.ª Los tiempos de la oscilación de dos péndulos de diferente longitud, en dos puntos de la tierra, están en razón compuesta directa de las raíces cuadradas de sus longitudes é inversa de las raíces cuadradas de las intensidades respectivas de la gravedad en dichos puntos. En efecto, de la comparación de las fórmulas $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ y $t'=\pi\sqrt{\frac{l'}{g'}}$ resulta la proporción

$t : t' :: \pi\sqrt{\frac{l}{g}} : \pi\sqrt{\frac{l'}{g'}}$ en que, suprimido el factor común π y quitados los divisores, queda reducida á la $t : t' :: \sqrt{l} \times \sqrt{g'} : \sqrt{l'} \times \sqrt{g}$ (a), de la cual se deducen las restantes leyes siguientes:

4.ª Los tiempos de la oscilación de dos péndulos, en el mismo punto de la tierra, están en razón directa de las raíces cuadradas de las longitudes. En efecto; si en la proporción (a), que expresa la tercera ley, se suprimen los factores $\sqrt{g'}$ y $\sqrt{g}$, cual un factor común por ser iguales, en virtud de que en un mismo lugar $g=g'$, resulta $t : t' :: \sqrt{l} : \sqrt{l'}$ y, como consecuencia, que los números de oscilaciones de dos péndulos de diferente longitud en un mismo tiempo son inversamente proporcionales á las raíces cuadradas de sus longitudes, esto es, que $n : n' :: \sqrt{l'} : \sqrt{l}$.

Ambas relaciones se demuestran también haciendo el correspondiente experimento con el aparato de dos péndulos *ap* y *a'p'* (fig. 50), cuyas longitudes son 1 y 4.

5.ª Los tiempos que un mismo péndulo emplea en hacer su oscilación, en dos lugares distintos, resultan en razón inversa de las raíces cuadradas de las intensidades respectivas de la gravedad en dichos puntos, porque siendo el mismo péndulo, y por consiguiente $l'=l$, proporción (a) que expresa la tercera ley, simplificada considerando á l y l' como un factor común, queda reducida á $t : t' :: \sqrt{g'} : \sqrt{g}$. Además, elevando los cuatro términos de esta proporción al cuadrado, se obtiene $t^2 : t'^2 :: g' : g$, ó

$g : g' :: t'^2 : t^2$, cuyo enunciado es: que las intensidades de la gravedad en dos lugares diferentes son inversamente proporcionales á los cuadrados de los tiempos que emplean respectivamente en una oscilación.

6.ª Para que dos péndulos de diferente longitud ejecuten su oscilación con igual tiempo en dos lugares diferentes, es necesario que sus longitudes sean directamente proporcionales á las intensidades de la gravedad en dichos puntos. En efecto, si $t=t'$ según la proporción (a) que expresa la tercera ley, $\sqrt{l} \times \sqrt{g'} = \sqrt{l'} \times \sqrt{g}$, de donde se sigue que $\sqrt{l} : \sqrt{l'} :: \sqrt{g} : \sqrt{g'}$ y por tanto que $l : l' :: g : g'$.

II.

Péndulo compuesto.—Ejes y centros de suspensión y oscilación.—Aplicaciones principales del péndulo compuesto.

14. *Las leyes del péndulo* compuesto, único aplicable en la práctica y al que se referirá siempre que suene solo el nombre péndulo, son las mismas que las del simple; pero aunque la longitud de éste se podría determinar fácilmente, pues sólo sería necesario medir la distancia del punto material, extremo del hilo, al otro extremo, punto de suspensión, la del compuesto es más difícil de conocer, porque no es la distancia del punto ó eje de suspensión al extremo del péndulo, sino la de dicho punto ó eje á uno interior del mismo que, como si estuviera solo, debería emplear en su oscilación igual tiempo que aquél en la suya.

En efecto: concibiendo que cada molécula de un péndulo compuesto es como uno simple independiente de las demás y con una longitud igual á su distancia al punto de suspensión, se comprende que la marcha de cada cual de ellas se haria con tanta mayor velocidad cuanto menor fuese dicha distancia al expresado punto y viceversa la de las más distantes; por cuya razón al ejecutarla reunidas, como están, formando el péndulo, y tener que andar con igual velocidad que dicho todo, no pudiendo éste ejecutar su marcha con la velocidad de las primeras ni con las segundas á la vez, las de mayor velocidad acelerarán á las de menor, y viceversa estas á las primeras; el péndulo resultará con una velocidad intermedia; la molécula ó serie de ellas á quien por su distancia á la suspensión correspondiese andar como péndulo simple, con la velocidad del compuesto será centro ó eje de oscilación, y dicha distancia constituirá su longitud como si fuera

verdaderamente un péndulo simple. Para ciertos experimentos se puede hacer uso de esferas de masa homogénea suspendidas de un hilo fino de seda, y consideradas como péndulos simples de longitud igual á la distancia comprendida entre su centro y el punto de suspensión.

15. *Eje de oscilación* del péndulo es la fila de moléculas paralelas á su eje de suspensión y á las que correspondería oscilar, como péndulos simples, con la velocidad del compuesto si estuviesen solas é independientes de las demás.

16. *Centro de oscilación* del péndulo es el punto de intersección del eje de ella con el plano vertical, que siendo perpendicular al eje de suspensión, pasa además por el centro de gravedad del péndulo.

17. *Eje de suspensión* del péndulo es la fila de moléculas que lo sostiene y á cuyo rededor oscila, permaneciendo aquella fija.

18. *Punto de suspensión* es el de intersección del eje de la misma con el plano perpendicular á éste que pasa por el centro de oscilación.

19. *Longitud* del péndulo es la distancia comprendida entre los centros ó ejes de suspensión y oscilación.

20. *La dependencia* entre los centros ó ejes de suspensión y oscilación es tal que resultan recíprocos ó apareados, ó conjugados como algunos dicen, aunque impropiamente, en cuya propiedad, demostrada por Huyghens, físico holandés, está fundado el péndulo de Kater, llamado de inversición. Por su medio es fácil la determinación de la longitad del péndulo compuesto que se quiera emplee en su oscilación un tiempo determinado, y por lo mismo constituye el instrumento propio para hallar la intensidad de la gravedad de un lugar, toda vez que para esto sólo se necesita la longitud del péndulo y el tiempo que dura una oscilación, empleándose la fórmula $g=\frac{\pi^2 l}{t^2}$, que se deduce fácilmente de la fundamental $t=\pi\sqrt{\frac{1}{g}}$, pues elevando ambos miembros al cuadrado resulta $t^2=\pi^2\frac{1}{g}$ ó $gt^2=\pi^2 l$, y finalmente $g=\frac{\pi^2 l}{t^2}$.

Se dice que un péndulo bate segundos, cuando su longitud es tal, que cada una de sus oscilaciones dura un segundo.

21. La intensidad de la gravedad, que sería igual en todos

los puntos de la tierra si ésta fuera una esfera perfecta, en reposo y de capas paralelas homogéneas, es variable (XXVII—1.ª) de unos á otros de diferente latitud y altitud, creciente desde el Ecuador, en que está en su mínimum, hasta el Polo, en que alcanza su máximum, según la correspondiente ley (X—6), y, viceversa, decreciente desde el Polo al Ecuador.

22. *La variación* de la intensidad de la acción de la gravedad en los diferentes puntos del globo, procede del aplanamiento de la tierra en sus polos y de la fuerza centrífuga, que se desenvuelve en sus demás puntos por el movimiento de rotación y, total ó parcialmente, obra contrariando dicha acción (XXIX—7.ª); tanto, que los cuerpos llegarían á no ser pesados en el Ecuador, según cálculos, si la tierrra ejecutase su movimiento de rotación con una velocidad 17 veces mayor, próximamente, que la que es propia, ó lo que es lo mismo, si la rotación diurna de la tierra se hiciera en un tiempo 17 veces menor, próximamente, que el que emplea en la actualidad.

23. *Del decremento* de intensidad de la gravedad, desde el Polo al Ecuador, resulta que el peso de un cuerpo varía del mismo modo, siendo su máximum en el Polo y su mínimum en el Ecuador.

Si esto se quisiere comprobar empleando la balanza ordinaria, nada se notaría, fuera del aumento de presión sobre el eje de suspensión, por variar en la misma razón el peso del cuerpo y el de las pesas, pero si se haría perceptible valiéndose de una balanza de resorte.

24. *De las aplicaciones* que se puedan hacer del péndulo, son dignas de mención las tres siguientes: Su empleo como instrumento investigador de la intensidad de la gravedad; como regulador del movimiento en los relojes de péndola, y como aparato comprobador del movimiento rotatorio de la tierra en el experimento de Mr. León Foucal.

De los valores de la intensidad de la gravedad, hallados en las diferentes latitudes por medio del péndulo y la fórmula $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$, resulta comprobado su aumento desde el Ecuador al Polo, como se comprende fácilmente por la inspección del cuadro siguiente, que contiene los valores de g y además sus mitades, distancias ó espacios que en el primer

segundo le corresponde andar á un móvil al caer (XXVI—18), y las longitudes del péndulo que bate segundos en los respectivos puntos.

	Valores de g.	Valor de **E**.	Longitud del péndulo de segundos.
En el Ecuador	9,^{m} 78103	4,^{m} 89051	0,^{m} 99103
En Madrid	9,^{m} 79948	4,^{m} 89974	0,^{m} 99339
En París	9,^{m} 80880	4,^{m} 90440	0,^{m} 99386
En el Polo	9,^{m} 83109	4,^{m} 91554	0,^{m} 99667

Los valores de la gravedad y longitud del péndulo de segundos hallados por D. Gabriel Ciscar, el año 1800, en Madrid y á 13° de temperatura, son en pies castellanos g=35,169 pies, E=17,584 pies, l=3,563 pies.

25. *El péndulo* de los relojes ordinarios, denominados de péndola, sirve en estos aparatos de regulador de su movimiento y no como fuerza motriz del mismo; pues este papel lo desempeñan las pesas que, cayendo con movimiento uniformemente acelerado, produciría un movimiento variado en la marcha del reloj, si no se regularizase con el isocronismo del péndulo.

26. *Los relojes de péndola* se atrasan ó adelantan en un mismo punto, por las variaciones de longitud que en la del péndulo producen las variaciones de temperatura. Se atrasan, cuando aumentando la temperatura, la varilla del péndulo se dilata y aumenta la longitud, y se adelantan cuando, por el contrario, disminuyendo la temperatura, la varilla se contrae y disminuye su longitud.

27. *El mismo reloj* ó relojes con péndolas de igual longitud se adelantan ó se atrasan de unos puntos á otros según las latitudes. Se adelantan avanzando hacia el Polo, porque aun cuando no varíe la longitud del péndulo, aumenta la intensidad de la gravedad; y, viceversa, se retrasan porque entonces disminuye dicha intensidad.

LECCIÓN XXXI.

Choque de los cuerpos en general y división de su estudio.—Choque de los cuerpos considerados como no elásticos.—Fórmulas de la velocidad común en cada uno de los tres casos que pueden ocurrir en el choque central de dos cuerpos no elásticos, y consecuencias que de ellas se deducen.

1.ª *Choque* de los cuerpos es el acto de ponerse en contacto por su encuentro dos ó más de ellos.

2.ª *El choque* de los cuerpos se puede efectuar estando todos en movimiento, con velocidades iguales ó desiguales, en una misma dirección y sentido, ó en direcciones y sentidos diferentes, ó bien estando unos en movimiento y otros en reposo.

3.ª *Por el choque* se comunica ó trasmite las más de las veces el movimiento de unos cuerpos á otros.

4.ª *Comunicación* del movimiento, en general, es el acto en virtud del cual, mediante el choque, presión, tracción ó torción verificados entre los cuerpos, las fuerzas de las moléculas de unos se descomponen y distribuyen entre ellas y las de los demás, modificándose en todos sus respectivos y primitivos movimientos ó reposo anterior, por las variaciones resultantes en el género, dirección y velocidad de los antedichos movimientos. La comunicación del movimiento, no sólo de unos cuerpos á otros, sino que también entre sus moléculas y los átomos etéreos y viceversa, se puede decir es el fenómeno en que se encierran todos los de la naturaleza y que constituye su existencia ó esencia.

5.ª *Al estudiar* el choque de los cuerpos, se suele dividir á estos en elásticos y no elásticos, incluyendo bajo la segunda denominación á los perfectamente duros y á los perfectamente blandos. Los duros se suponen tales que sus moléculas no cambian de posición durante el choque, ni tampoco después; y los blandos de tal naturaleza que, desviadas aquellas de las suyas respectivas, permanecen después en las nuevas sin tender á volver á las anteriores.

6.ª *En realidad* no existen tales cuerpos duros ni blandos y, por consiguiente, no pueden dejar de ser más ó menos elásticos; pero siendo en algunos su elasticidad muy poca y como nula en

las aplicaciones, se la desprecia y, para simplificar el estudio del choque, se hace tal división.

7.ª *Los cuerpos elásticos* se subdividen también en dos clases, que son: elásticos de primera especie y de segunda. De primera especie son aquellos cuya elasticidad se desenvuelve instantáneamente. De segunda los que su elasticidad no se desenvuelve sino en tiempos más ó menos considerables y por consiguiente medibles.

8.ª *El choque* de los cuerpos se puede referir á cuerpos no elásticos y á cuerpos que lo son; y aunque éste es realmente el caso verdadero, se estudia primero el de los no elásticos para establecer las leyes con que se efectúa y las consecuencias que de ellas se originan, á fin de simplificar y facilitar el de los elásticos.

9.ª *El choque de los cuerpos* puede ser central y excéntrico. Central es el que se efectúa dirigiéndose los cuerpos al choque por la línea de los centros, que es la que une sus centros de gravedad en la posición que tienen antes de empezar el movimiento (figuras 53, 54, 55); y excéntrico el que se efectúa cuando los cuerpos no se dirigen al choque por la línea de los centros, sino por ésta y alguna otra ú otras diferentes de ella (f.ª 56, 57).

10. *Todos los casos* del choque central de dos cuerpos, sean de masas iguales ó desiguales, elásticos ó no, se pueden reducir á los tres siguientes: 1.° Que se dirijan en el mismo sentido (f.ª 53) y con mayor velocidad el que va detrás. 2.° Que se dirijan á su encuentro en sentidos opuestos (f.ª 54); y 3.° Que uno en movimiento vaya á chocar con otro en reposo (f.ª 56). En este último caso del que está en reposo se dice que su velocidad es cero.

11. *El principio fundamental* de que se deducen las fórmulas de la velocidad común de dos cuerpos no elásticos, después del choque, es el que se enuncia así: *La cantidad de movimiento después del choque de dos cuerpos no elásticos, resulta igual á la suma de las que cada cual poseía antes de chocar.* En efecto, suponiendo el primer caso (f.ª 53), esto es, que los dos móviles se dirijan por la misma línea y en un mismo sentido, si representamos respectivamente por f, m, v, la fuerza, masa y velocidad del uno, y por f', m', v' las del otro, tendremos (XXV—3), $f=mv$, $f=m'v'$ y por

consiguiente $f+f'=mv+m'v'$, (a); pero en el instante del choque las dos fuerzas f, f' se compondrán y darán una resultante F igual á la suma de ellas, por obrar en la misma dirección é igual sentido (XI—7.ª), y se tendrá $F=f+f'$, (b). Ahora bien, reunidas por su encuentro las masas m y m' en un todo (m+m'), la fuerza F, al obrar sobre ellas, les imprimirá una velocidad x, con la cual la masa total m+m' continuará moviéndose; la cantidad de movimiento resultante será $(m+m')x$ y, por consiguiente, $F=(m+m')x$, (c). Con estos datos, si en la ecuación (b) sustituimos en vez de f+f' su valor $mv+m'v'$ de la ecuación (a), tendremos $F=mv+m'v'$, (d) y, resultando los segundos miembros de las ecuaciones (c) y (d) iguales á F, se obtiene la siguiente ecuación $(m+m')x=mv+m'v'$ (e), que expresa el principio enunciado.

12. *La velocidad común x* después del choque central de dos cuerpos no elásticos, que lo efectúan dirigiéndose por una misma línea, en igual sentido y con mayor velocidad el que va detrás, se determina por la fórmula $x=\frac{mv+m'v'}{m+m'}$ (1.ª), que se deduce despejando á x en la ecuación (e) (XXXI—11), y se puede considerar general para todos los casos tomando en cuenta las modificaciones de los datos.

13. *La velocidad común* después del choque de dos cuerpos no elásticos, que se dirigen á su encuentro por una misma recta y en sentidos opuestos, se determina por la fórmula $x=\frac{mv-m'v'}{m+m'}$ (2.ª), que se deduce de la (1.ª) (XXXI—12), del caso general, considerando que si la velocidad v en un sentido se toma como positiva, la v' en sentido opuesto será negativa, en cuyo caso sustituyendo $-v'$ en vez de v', $x=\frac{mv+m'v'}{m+m'}$ se convierte en $x=\frac{mv+m'\times -v'}{m+m'}$, y ejecutando lo indicado se obtiene $x=\frac{mv-m'v'}{m+m'}$.

14. *La velocidad común* después del choque central de dos cuerpos no elásticos, uno de masa m, en movimiento con la velocidad v, y otro de masa m' en reposo, en cuyo caso su velocidad

v' es $v'=0$, se halla por la fórmula $x=\frac{mv}{m+m'}$ (3.ª), que se deduce de la (1.ª), (XXXI—12); pues si $v'=0$, resulta $m'v'=0$ y el numerador $mv+m'v'$ reducido á mv.

15. *De las fórmulas* para hallar la velocidad común de dos cuerpos no elásticos después del choque central, según cada uno de los tres casos que pueden ocurrir (XXXI—10), y que en resumen son : $v=\frac{mv\times m'v'}{m\times m'}$ (1.ª), $x=\frac{mv-m'v'}{m+m'}$ (2.ª), $x=\frac{mv}{m+m'}$ (3.ª), se deducen importantes consecuencias, de las cuales conviene tener presente las que siguen:

1.ª Que la velocidad común, fórmula (1.ª), siempre será positiva, nunca cero y sí intermedia á v y v'; por lo que unidas las dos masas en una continuarán su movimiento, marchando más despacio respecto de como lo hacía la de mayor velocidad, pero más de prisa que la otra. En efecto, al chocar los móviles, componerse las fuerzas que los impulsan y, por consiguiente, las velocidades con que caminan, el de mayor velocidad perderá una parte de ella, comunicándola al menos veloz, que aumentará la suya con la recibida del primero; luego la común quedará menor que la del más veloz y mayor que la del otro, esto es, intermedia á la de ambos móviles; y como se ve que siempre ha de resultar positiva, se sigue que ambos móviles, unidos en una sola masa, continuarán marchando en la misma dirección é igual sentido que antes del choque, con movimiento siempre perceptible.

2.ª *Que el valor* de x, fórmula (2.ª), puede resultar cero, y por consiguiente los móviles en reposo ó con uno que, sea cual fuere, podrá resultar positivo ó negativo, por cuya razón al continuar marchando ambos, podrán hacerlo dirigiéndose en el sentido del uno al otro.

3.ª *Que el valor* de x, fórmula (3.ª), siempre será positivo y nunca cero; así es que los dos móviles marcharán unidos después del choque en la misma dirección é igual sentido que el de la masa móvil. Sin embargo, puede ocurrir que la masa en reposo sea tan grande, que el denominador $m+m'$ resulte infinitamente grande respecto del mv', el quebrado $\frac{mv}{m+m'}$, valor de x, tan

pequeño que se pueda considerar cero, y que los cuerpos queden en reposo, aunque en realidad sólo sea aparente, pues siempre habrá movimiento aunque imperceptible.

En efecto, por pequeña que sea la velocidad resultante del indicado pequeño valor de x, las moléculas correrán el correspondiente camino, y si bien parecerán en reposo, no dejarán de moverse, aunque sólo sea como vibrando, y de ejecutar su pequeño trabajo, si bien reducido á una especie de energía disipada.

LECCIÓN XXXII.

Choque central de los cuerpos elásticos. — Tiempos que es necesario considerar en él, y modo de establecer las fórmulas de sus velocidades después del choque.—Consecuencias que de ellas resultan.—Choque excéntrico.—Reflexión de los cuerpos elásticos y leyes de la misma.— Refracción de los cuerpos sólidos á su paso por los fluidos.— Consideraciones importantes relativas al problema de la comunicación del movimiento.

1.ª *El estudio del choque* central de los cuerpos no elásticos, sirve de fundamento á estos; pues por el conocimiento de la velocidad común de los primeros, después de su encuentro, y las fórmulas correspondientes es fácil hallar las que son necesarias para determinar la velocidad de cada uno de dos cuerpos elásticos después de chocar.

2.ª *Las fórmulas* correspondientes al choque de los cuerpos elásticos, en idénticos casos que en el de los no elásticos, se deducen algebráicamente suponiendo dos instantes, uno en el que los cuerpos adquiriesen la velocidad común correspondiente á como si no fuesen elásticos, y después otro en que, desenvolviéndose las fuerzas elásticas, la velocidad común recibiese la consiguiente modificación, y procediendo, bajo tal supuesto, del modo siguiente. Con el valor de la velocidad común x correspondiente á los móviles en el primer instante después del choque, como no elásticos, y las de cada uno antes de su encuentro, se determina la ganada por el menos veloz y la perdida por el otro; la primera restando de la común la del menos veloz y la segunda restando de la del más veloz la común; después se duplica la ganada por el menos veloz y la perdida por el otro, con lo que restando de la velocidad del más veloz antes del choque la total perdida por el

mismo, resultará la que le corresponde para marchar después solo; y finalmente, sumando con la velocidad del menos veloz la total ganada por él, se obtendrá la que le corresponda para marchar también solo después del choque.

Estos resultados son fáciles de comprender, teniendo en cuenta que el modo de desenvolverse y obrar en cada cuerpo las fuerzas elásticas en el indicado segundo instante después del choque, equivale en el uno á una segunda ganancia igual á la experimentada en el primer instante, y en el otro á una segunda pérdida igual á la primera.

3.ª *De la discusión* de las fórmulas del choque de dos cuerpos elásticos se deducen consecuencias que, reunidas convenientemente, pudieran reducirse á una sola y decir, que cuando chocan dos cuerpos elásticos, cambian mutuamente sus velocidades sin pérdida alguna de ellas, al menos teóricamente, pues en la práctica no resultan satisfechas todas las condiciones para ello necesarias, y además hay que tomar en consideración la resistencia de los medios.

4.ª *Para formar idea* de los resultados del choque de dos cuerpos elásticos, ya que no sea posible su completo exámen, basta considerar los tres casos siguientes: 1.° Si chocan dos esferas de marfil, de igual masa é igual dirección y sentido, cambian mutuamente sus velocidades, esto es, se separan y marchan desunidas, la más veloz con la velocidad de la menos veloz y ésta con la de aquélla. 2.° Si las mismas esferas se dirigen por la misma línea pero en sentido opuesto, cuando chocan se separan y retroceden, la de mayor velocidad con la de menor y viceversa, esto es, con las respectivas que antes tenían en orden inverso, es decir, cambiadas. 3.° Si una sola de las dos esferas, cualquiera que sea su velocidad, va á chocar con la otra en reposo, en cuyo caso la velocidad de ésta sabemos es cero, después de su choque se separan y la que estaba en reposo marcha con la velocidad que la primera tenía al dirigirse al choque, y dicha primera queda en reposo, esto es, con la velocidad cero de la otra, que es haber cambiado mutuamente sus velocidades.

5.ª *Si en vez* del experimento de hacer chocar una esfera con otra de igual masa en reposo, se dispone otro con tres, y quedando dos en reposo se hace que la primera vaya á chocar con

aquellas, la tercera se moverá con la velocidad de la primera y ésta y la segunda quedarán en reposo; lo que hace ver que la primera cambia su velocidad con la segunda, y que ésta, no pudiendo moverse por la oposición de la tercera, á su vez la cambia con ella sin pérdida alguna, prescindiendo de rozamientos, etc. De la misma manera, si en vez de operar con tres esferas, se opera con mayor número de ellas, siete iguales como se acostumbra poner en el *aparato denominado de las siete esferas*, se obtendrían resultados, que con los que se observarían en experimentos análogos, pero empleando esferas gradualmente crecientes ó decrecientes en masa, sirven para formar concepto de lo importante y admirable del gran problema de la comunicación del movimiento, que es la forma y esencia de todos los fenómenos, desde los más sutiles del calórico y lumínico hasta los más groseros y estrepitosos, que se producen en las grandes masas ponderables de la tierra, bien sea en su interior, en su atmósfera, mares ó continentes, y la manera de concebir la degradación de las energías parciales (II—5.ª), sin que se altere la energía universal, que, según las nuevas teorías, no viene á ser otra cosa que la continua comunicación y cambios de movimiento en los cuerpos y en los átomos, tanto ponderables como etéreos de todo el universo.

6.ª *Aunque al chocar* dos cuerpo elásticos, siempre se separan cambiando sus velocidades de un modo perceptible, puede ocurrir que la masa del chocado, que esté en reposo, sea tan grande respecto de la del chocante, que sólo sea éste el que se mueva de un modo visible después del choque y que el otro permanezca en el mismo estado de reposo, como sucede, por ejemplo, cuando se deja caer una pequeña esfera de marfil sobre un gran plano de mármol. En este caso, aunque parezca no se efectúa cambio de velocidades, sólo es una apariencia fácil de explicar: en efecto, al caer la esfera sobre el plano, en el primer instante después del choque resultará la velocidad común x tan pequeña, que la ganada por el plano será cero proximamente y la perdida por la esfera casi toda la primitiva debida á la velocidad adquirida en su caída; por cuya razón, al volver á ganar y perder cada cual otra tanta en el segundo instante, la nueva ganancia del plano será próximamente cero y la total sumamente pequeña é insufi-

ciente para producir en él un movimiento perceptible; mas siendo la nueva pérdida de velocidad de la esfera en el segundo instante igual á la del primero, casi igual á su velocidad primitiva, resulta, que como en el primero aquélla debería quedar en equilibrio, y el perder velocidad en un sentido es como ganarla en el opuesto y, por consiguiente, como si al llegar al plano se le comunicara dicha velocidad hacia arriba, que siendo tan próxima á la adquirida al descender de su altura, será capaz de hacerle subir por sí sola casi á la misma: en la práctica, sin embargo, dista bastante de llegar á la misma altura, por la resistencia del aire y por no ser perfecta la elasticidad. Por otra parte, aunque no resulte en el plano un movimiento perceptible, sus moléculas no dejarán de experimentar el que les corresponde, por pequeño que deba ser, con arreglo á su poquísima velocidad y aunque sólo se produzca en ellas la más pequeña vibración.

7.ª *El choque* excéntrico, por su mayor complicación, no puede tener cabida en lecciones elementales, pero conviene no dejar de exponer lo más principal de la reflexión de los cuerpos elásticos.

8.ª *Reflexión de los cuerpos elásticos* es el acto en cuya virtud, al llegar á la superficie de los demás, después del choque retroceden por la misma dirección de su incidencia ó por otra diferente según leyes fijas.

9.ª *En el estudio* de la reflexión de los cuerpos elásticos se denomina dirección de incidencia la recta **in** (f.ª 51), por donde el cuerpo chocante se dirige al choque, y dirección de reflexión la recta **nr** (f.ª 51), por donde el cuerpo retrocede; superficie reflectante la cara de un cuerpo contra la cual otro llega á chocar, cuya posición se representa por **ab** (f.ª 51), y punto de incidencia el de contacto **n** (f.ª 51) del cuerpo chocante y de la superficie reflectante **ab**; ángulo de incidencia el formado por la línea de incidencia con la perpendicular ó normal á la superficie reflectante en el punto de incidencia, como el **inp** (f.ª 51), y ángulo de reflexión el formado por la línea de reflexión y la perpendicular **pn** al punto de incidencia, como el **pnr** (f.ª 51).

10. *Las leyes* de la reflexión son las dos siguientes: 1.ª El ángulo de reflexión es igual al de incidencia. 2.ª El ángulo de

reflexión y el de incidencia coinciden en un solo plano perpendicular ó normal á la superficie reflectante, viniendo á resultar cada cual en la prolongación del otro. Estas leyes se demuestran fácilmente con el correspondiente aparato, según la diferente disposición de éste.

11. *Refraccion* de los sólidos es el desvío que experimentan en su dirección al pasar de unas capas á otras en los fluidos, como en el agua ó en el aire, en cuya virtud aumenta ó disminuye el ángulo de refracción respecto del de incidencia, según que el cuerpo pasa del aire al agua ó viceversa, cuyos pormenores se explican por la figura 52.

12. *En la refracción* de los sólidos, como en la del sonido, calórico y lumínico, se da el nombre de medio al espacio lleno ó vacío en que se produce cualquier fenómeno, como el agua, el aire y los espacios interplanetarios; el de línea de incidencia á la recta por donde el sólido se dirige del primer medio al segundo; el de línea de refracción á la dirección que sigue un móvil en el segundo medio al pasar á él desde el primero, ó de una capa á otra de un mismo medio pero de diferente densidad; denominándose ángulo de refracción el formado por la línea de refracción y la perpendicular á la superficie de separación de los medios en su punto de incidencia, inmersión ó emergencia. Este es el de la superficie de separación á que se dirige el móvil en el primer medio y por el cual penetra y sale al otro.

13. *Ángulo límite* de refracción es el de tal valor, que excedido, la refracción viene á resultar una reflexión, denominada reflexión total ó sea un rebote; cuyos pormenores será más oportuno estudiar al tratar de la refracción de los rayos lumínicos.

14. *Ciertos fenómenos*, como el caer al pie de una planta la flor ó parte superior de su tallo cuando se la separa por un golpe dado con suficiente fuerza y rapidez; el atravesar una bala el vidrio, taladrándolo sin que se quiebre, y otras suertes sorprendentes, se explican por la gran velocidad que se imprime á las moléculas que reciben el choque, las cuales, al separarse de las demás, se alejan con tal rapidez, que no dejan á la fuerza recibida directamente por ellas se comunique á las inmediatas; lo que prueba que la comunicación del movimiento, aunque se la consi-

dere como instantánea, exige un tiempo apreciable, como se hace ver experimentalmente con el correspondiente aparato.

15. *El choque*, aunque es uno de los medios más frecuentes de comunicar movimiento, es á veces una causa destructora del mismo, según la menor elasticidad de los cuerpos, por cuya razón en el choque se debe considerar que inversamente á comunicar movimiento, obra las más de las veces como una resistencia pasiva (II—3), que hay que agregar á la cohesión, adhesión, rigidez de las cuerdas y rozamiento.

16. Las resistencias pasivas ó fuerzas muertas si bien no producen trabajo, sino que disminuyen el que las activas ó fuerzas vivas tienden á producir, no por eso son menos importantes en la naturaleza, ni menos útiles al hombre, pues muchas veces le prestan auxilio en vez de las activas.

Ejemplo de esto tenemos en la resistencia que ofrecen por su bastante cohesión muchos sólidos, como las piedras, hierro, etc., que sirviendo de punto de apoyo en las máquinas, suplen, más ó menos indefinidamente, en vez de las potencias ó fuerzas activas que se economizan, como sucede en el hecho tan sencillo de apoyar una palanca sobre una piedra, y que girando sobre ésta se ahorre una gran parte de potencia por la resistencia de ella sobre que se equilibra ó destruye, no sólo la resistencia, sino la resultante de ésta, de la potencia y del peso de la máquina.

Por la razón expuesta, la apreciación de las resistencias ha sido un estudio muy preferente de la Mecánica práctica, y sus tablas de coeficientes de rigidez de las cuerdas, coeficientes de rozamiento y valor del trabajo de los diferentes motores en variadas circunstancias, son de un valor inapreciable, como el de todas las de la Física y Química correspondientes á pesos específicos, coeficientes de dilatación, etc.; pues todas y cualquiera de ellas, aunque aparezcan en un pequeño cuadro, se deben á los ímprobos y largos trabajos ejecutados por gran número de hombres y en el trascurso de siglos.

HIDROSTÁTICA.

LECCIÓN XXXIII.

Propiedades de los fluidos.—Principio de igualdad de presión de los líquidos.—Leyes de la trasmisión de presiones en los mismos.—Leyes de su equilibrio.—Presiones que los líquidos en equilibrio ejercen sobre el fondo y paredes de los depósitos que los contienen.—Paradoja hidrostática.—Vasos comunicantes y leyes de equilibrio de los líquidos encerrados en ellos.

1.ª *Los fluidos,* además de todas las propiedades generales, tienen otras particulares, que unas son comunes, tanto á los líquidos como á los fluidos aeriformes; otras sólo pertenecen á los primeros, y algunas exclusivamente á los segundos, por cuya razón se suele hacer de la Hidrostática la división incluida (XI—3.ª).

La propiedad de que se puede decir se originan las demás y cuantos fenómenos se observan en los fluidos, es el principio de igualdad de presión, ó de Pascal, que vivió en el siglo XVII.

2.ª *Principio* de igualdad de presión, ó de Pascal, en los líquidos, es el enunciado siguiente: los líquidos tienen la propiedad de trasmitir en toda dirección y sentido, y con igual intensidad, la presión que reciben en cualquier punto de su masa.

Esta propiedad se verifica tanto mejor, cuanto más perfectas son la compresibilidad y elasticidad de los líquidos, y movilidad de sus moléculas. En virtud de ella, es como la acción vertical de la gravedad, trasmitida de unas moléculas á otras en todas direcciones, les comunica las presiones laterales con que los líquidos se mueven sobre la superficie de la tierra, y por cuya razón no es posible retenerlos, ni conservarlos en equilibrio, sino encerrándolos en depósitos convenientemente dispuestos.

3.ª *El principio* de igualdad de presión se demuestra experimentalmente con un vaso á propósito, lleno de líquido, y en cuyas paredes hay boquillas ó tubos, provistos de émbolos con bases iguales y varillas en disposición de recibir los pesos de que se les quiera cargar. Se opera del modo siguiente: ejérzase sobre uno cualquiera de los émbolos una presión, que será de fuera á dentro, y se verá que todos los demás se mueven de dentro á

fuera, prueba de la trasmisión en todas direcciones. Si después se carga uno de dichos émbolos con un peso, aplicando otros iguales en cada uno de los demás, no se producirá movimiento en ellos; prueba de que todas las presiones resultan con igual intensidad, pues que todas se equilibran con pesos iguales.

De este experimento resultan las consecuencias siguientes: 1.ª Que así como la presión ejercida sobre un émbolo es capaz de equilibrar la de todos los demás, asimismo la efectuada sobre una superficie líquida dada, trasmitida por igual á los elementos iguales de otra superficie del mismo líquido, se multiplica en igual razón que la de dichas superficies. De aquí el poder decir, que las presiones trasmitidas por el intermedio de los líquidos, de unas superficies á otras, están en razón de sus áreas, esto es, que son directamente proporcionales á dichas superficies.—2.ª Que el líquido encerrado en una vasija obra como una especie de máquina, por cuyo intermedio, con una potencia dada es posible equilibrar una resistencia n veces más grande, si la presión ejercida sobre una superficie se trasmite á otra n veces mayor, como se consigue con la prensa hidráulica, cuya explicación y uso pertenecen á la *Hidráulica*.

4.ª *De la existencia* en los líquidos del principio de Pascal resulta: que encerrado un líquido en un vaso, la acción de la gravedad sobre cada molécula se trasmite en todas direcciones á sus inmediatas; de éstas á las siguientes y, mútuamente, en orden inverso, originándose en la masa líquida multitud de presiones que, tendiendo á producir el movimiento simultáneo de todas y en todos sentidos, se destruyen unas con otras y contra el fondo y paredes del vaso.

5.ª *La multitud* de presiones resultantes en una masa líquida en equilibrio dentro de un depósito se pueden reducir á los tres órdenes siguientes: de arriba abajo, de abajo arriba y laterales en todos sentidos.

6.ª *La trasmisión* de presiones resultantes de arriba abajo por la acción de la gravedad, suponiendo dividido el líquido en capas horizontales, se efectúa así: la acción que resulta sobre una molécula de la primera capa superior, se trasmite á la molécula inferior de la segunda y se acumula á la que ésta recibe á su vez; esta doble acción se comunica del mismo modo á la inferior de la tercera capa, que con la correspondiente á ella se trasmite á la

inferior de la cuarta, y así sucesivamente hasta que la de la última, insistente sobre el fondo con todas las de las superiores acumuladas á la suya, forman una presión total equivalente al peso de toda la fila de moléculas, con la cual comprime á aquél. Análogamente se efectúa la trasmisión de las presiones laterales, comprimiendo cada molécula á sus inmediatas de la misma capa con la suya y las trasmitidas por las moléculas superiores.

7.ª *De la forma* de trasmisión de las presiones, resultan las leyes siguientes: 1.ª La presión de arriba abajo y lo mismo las laterales existentes en un punto, ó en toda capa de una masa líquida en equilibrio, es proporcional á su profundidad ó distancia al nivel, é igual, por consiguiente, en toda la capa. 2.ª Á igual profundidad, la presión existente en cada capa es proporcional á la densidad del líquido. 3.ª Que en toda capa horizontal, además de la presión de arriba abajo, existe otra igual á ésta de abajo arriba, que se denomina empuje; de cuyas leyes se deducen las del equilibrio de todo líquido.

8.ª *Las circunstancias* necesarias para el equilibrio de un líquido en un solo vaso, son las que se expresan en las tres leyes siguientes: 1.ª, que cada molécula reciba presiones iguales y en sentido opuesto en todas direcciones; 2.ª, que el nivel ó capa superior quede perpendicular ó normal á la resultante del sistema de fuerzas que obren sobre el líquido; de donde resulta que cuando sus moléculas están sometidas á la sola acción de la gravedad, dicha superficie será plana y horizontal, si los depósitos son de poca extensión como la de los vasos que se emplean en los usos de la vida, la de los estanques, etc., y curva cuando son de extensión considerable, como la de los mares y grandes lagos; y 3.ª, que para el equilibrio de una masa líquida compuesta de líquidos heterogéneos, pero sin acción para mezclarse ni combinarse, es necesario resulten colocados por el orden de sus densidades, y que las superficies de separación sean paralelas, como se comprueba con el frasco ó tubo denominado de los cuatro elementos, que contiene *mercurio, una disolución de carbonato de sosa, alcohol teñido* y *aceite de petróleo*.

9.ª *Los líquidos* en equilibrio producen presiones sobre las paredes y fondo de los vasos en que están depositados, por cuya

razón necesitan la resistencia suficiente para poder contrariarlas y destruirlas.

10. *Las presiones de los líquidos* sobre las paredes laterales resultan de las verticales sobre cada capa, que trasmitiéndose lateralmente en todas direcciones, dan lugar á un juego complicadísimo de aquellas; de las cuales encontrándose unas con otras en el interior, se destruyen todas menos las de las moléculas en contacto con la pared, las cuales no encontrando otras opuestas obran sobre ella; y como tales presiones dependen de las distancias al nivel, resulta que irán creciendo gradualmente desde éste, en que estarán en su mínimum, hasta el fondo en que resultan en su máximum. En tal concepto la Mecánica determina el valor de dichas presiones lo mismo que las resultantes sobre el fondo.

11. *La presión* que sufre el trozo de una pared mojada por un líquido en equilibrio, es equivalente al peso de una columna líquida que tuviese por base el área de la superficie mojada de la pared y por altura la distancia del centro de gravedad de dicha superficie á la de nivel.

12. *Se da el nombre de centro de presión* al punto de aplicación de la resultante de todas las presiones laterales ejercidas por las diferentes capas horizontales de un líquido sobre cualquier pared lateral del vaso que lo contiene: resulta siempre más bajo que el centro de gravedad de aquella.

13. *Paradoja hidrostática* es el principio que se enuncia así: la presión de un líquido sobre el fondo horizontal del vaso que lo contiene es siempre la misma, cualquiera que sea la forma de aquél y la cantidad y peso del líquido contenido, si la altura de nivel es igual. Este principio se puede demostrar por el correspondiente raciocinio, ó experimentalmente con algunos de los aparatos, como el de Haldat, ó el de Pascal modificado por Massón y otros.

14. *No se debe confundir* el peso del líquido con la presión producida por el mismo sobre el fondo del vaso en que se halla, porque el primero depende de toda la cantidad de líquido encerrado, y la segunda solamente de la que insiste ó pudiera insistir sobre dicho fondo, según la forma del vaso; pues si éste es cilíndrico y su fondo horizontal, la presión sobre él resulta exacta-

mente igual al peso del líquido contenido; si es de forma de tronco de cono apoyado por su base más peqneña, la presión es menor que dicho peso, y, por el contrario, es mayor si se apoya sobre la base más grande; de modo que si se tienen llenos de un mismo líquido, ó hasta igual altura, tres vasos, con el fondo de igual extensión, pero que por su variada forma contengan diferentes volúmenes de dicho líquido, resulta que el fondo de todos sufre igual presión; mas la que en cada vaso, con su líquido, se ejerce sobre el cuerpo que los sostiene es diferente, y tanto mayor cuanto mayor es el volumen y peso del líquido contenido. El enunciado de este hecho se denomina *paradoja hidrostática*, por efectuarse al contrario de lo que parece debía suceder.

15. *Se da el nombre* de vasos ó tubos comunicantes al conjunto de dos ó más depósitos, en que, por tener libre comunicación y formar sus capacidades una total, los líquidos en aquellos contenidos pueden trasmitirse mútuamente sus presiones.

16. Las leyes ó condiciones necesarias para el equilibrio de un líquido en vasos comunicantes son dos:

Primera, un líquido ó masa líquida homogénea, colocado en tubos, ó vasos comunicantes, no capilares, sólo quedará en equilibrio cuando su altura de nivel sea igual en todos, coincidiendo sus niveles en una misma superficie horizontal. Si alguno de los tubos fuese capilar ó de pequeño diámetro, con relación á los otros, la altura del líquido no resultará igual en todos, por efecto de la capilaridad. Se demuestra echando cualquier líquido en un tubo encorvado ó depósito formado con varios vasos que se comuniquen entre sí; pues se nota por medio de las escalas ó índices convenientemente dispuestos, que las alturas resultan iguales.

Segunda, los líquidos heterogéneos ó de diferente densidad, sin acción química para combinarse ni mezclarse, necesitan para estar en equilibrio que las alturas de sus columnas en los diferentes depósitos ó ramas de los tubos estén en razón inversa de sus densidades. Se demuestra echando mercurio en un tubo encorvado, hasta que llegue á entrar en los dos brazos, si bien á poca altura, y añadiendo en uno de ellos otro líquido, por ejemplo, agua; pues se ve, que ésta hace elevar al mercurio en el otro menos que lo hace el agua en el suyo respectivo y que midiendo

las alturas, resulta la del agua unas 13 $^1/_2$ veces como la del mercurio, razón inversa de sus densidades, pues la de éste viene á ser unas 13 $^1/_2$ veces la de aquella.

17. Entre las mil aplicaciones á que conduce la primera ley de equilibrio de los líquidos en tubos comunicantes, debe citarse el nivel de agua, la conducción de ésta por tuberías sin necesidad de los antiguos acueductos, los saltatores y los pozos artesianos.

LECCIÓN XXXIV.

Fenómenos que se observan al introducir los sólidos en un líquido.— Principio de Arquímedes. — Equilibrio de los cuerpos sumergidos.— Id. de los flotantes.

1.ª *Los fenómenos* que se observan al introducir un sólido en un líquido son los siguientes: 1.° Que, en virtud de su impenetrabilidad, desaloja un volumen de aquél igual al suyo: 2.° Que sufre sobre todos los puntos de sus caras laterales presiones que se equilibran mutuamente por su igualdad en cada capa, aunque crecientes con la profundidad, y no hacen más que comprimirlo y fijarlo en una posición: 3.° Que sufre, respectivamente, en las caras superior é inferior presiones de arriba abajo y de abajo arriba, que además de comprimirlo, producen una resultante de abajo arriba, diferencia de aquellas, que siendo en sentido opuesto á la dirección del peso del cuerpo, le contraría más ó menos parte del mismo ó, como suele decirse, le hace perder una parte de su peso. Esta propiedad constituye el principio denominado de Arquímedes.

2.ª *El principio* de Arquímedes se enuncia aisladamente diciendo: todo sólido sumergido en un líquido, á la vez que desaloja un volumen de éste igual al suyo, pierde una parte de su peso igual al suyo y, por consiguiente, al volumen del líquido desalojado. Al decir que el sólido pierde de su peso, se debe advertir que el cuerpo en realidad, en un mismo punto de la tierra, nunca pierde de aquél, y lo que debe entenderse es que una parte del referido peso resulta equilibrada por el empuje del líquido, equivaliendo esto á como si verdaderamente disminuyese dicho peso.

3.ª *Que todo sólido* sumergido en un líquido desaloja un volumen igual al suyo, se demuestra valiéndose de una campana graduada y dos cilindros, uno hueco y otro macizo, de igual volumen la capacidad del cilindro hueco que el volumen del cilindro macizo, y operando del modo siguiente: llena de líquido la campana hasta una división fija, viértase de dicho líquido en el cilindro hueco hasta llenarlo exactamente, con lo que bajará el nivel en aquella; introdúzcase á seguida el cilindro macizo, suspendido de un hilo, hasta que se sumerja enteramente, y resultará que el nivel sube á la altura primitiva ó división fijada; lo que prueba la proposición, pues se ve que el volumen del cilindro macizo reemplaza al del agua extraida, y que siendo ambos iguales al cilindro hueco, vienen á ser iguales entre sí.

4.ª *Que todo sólido* sumergido en un líquido sufre presiones laterales é iguales se demuestra con una vejiga llena de un líquido coloreado y atada al extremo de un tubo de vidrio; pues introducida en un vaso lleno de agua, se ve subir el líquido en el tubo, como si se la comprimiese con las manos, ó tanta mayor altura cuanto mayor es la profundidad á que se la hace descender. También se puede hacer la misma demostración introduciendo en un depósito de agua un vaso con orificios en las paredes laterales, pues se ve penetrar el agua formando venas líquidas, que marcan dichas presiones y el aumento de éstas con la profundidad.

5.ª *El principio* de Arquímedes se demuestra experimentalmente por medio de la balanza hidrostática y los dos cilindros que para esta demostración acompañan á la misma, dados á conocer y descritos ya en (XXXIV—3.ª). Se procede del modo siguiente: se suspende del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática el cilindro hueco por el asa que al efecto tiene; del gancho que hay en su base suspéndase el macizo; equilíbrese con pesos que se colocarán en el otro platillo; hágase descender la balanza hasta que el cilindro macizo entre y quede sumergido en el líquido de un vaso, que se coloca debajo, en cuyo caso se pierde el equilibrio como si se quitase peso á los cilindros; seguidamente se llena el cilindro hueco de agua, con lo que el macizo vuelve á introducirse de tal modo, que cuando el hueco queda perfectamente lleno, resulta restablecido el equilibrio; de

donde se sigue que el peso del volumen de agua añadido es el valor de la pérdida de peso del cuerpo, la cual representa el empuje del líquido igual al del cuerpo.

6.ª *El principio* de Arquímedes, ó sea la pérdida de peso de los cuerpo sumergidos completamente en un líquido, se hace ver por el raciocinio siguiente: si se supone un paralelipípedo recto rectangular, ó un cilindro recto, sumergido en un líquido, sufrirá tres órdenes de presiones; las laterales de fuera á dentro correspondientes á dicha capa; las de arriba abajo sobre la base superior, cuya resultante ó valor total será el peso de la columna líquida que insiste sobre dicha cara y su altura la distancia desde ésta al nivel, y por último las de abajo arriba, que obran sobre la base inferior, cuya resultante equivale al peso de una columna líquida de la misma base y de una altura igual á su distancia al nivel, la cual puede considerarse descompuesta en dos, una igual al peso del líquido que hay sobre la base superior y otra igual al del volumen del mismo que ocupa el cuerpo: de este juego de presiones resulta que, equilibrándose las laterales de cada capa por su igualdad, fijará el cuerpo en una posición dada respecto de las paredes del vaso, quedando el sólido sometido á las resultantes indicadas de abajo arriba y de arriba abajo, que, pudiendo considerarlas reducidas á un sistema de dos fuerzas en una misma dirección y sentidos opuestos, producirán una resultante final diferencia de ellas: diferencia que, según los valores de dichas dos fuerzas, debe ser equivalente al peso del volumen del líquido desalojado, ó sea al de un volumen igual al del sólido sumergido, la cual, debiendo obrar en el sentido de la mayor de aquellas, que lo hacía de abajo arriba, lo efectuará en este sentido; de donde resulta que dicho sólido queda sometido simplemente á su peso, que le dirige de arriba abajo, y á la indicada resultante final de abajo arriba á que se da el nombre de empuje. Ahora bien, como de este modo el peso del sólido sumergido se halla contrariado por el empuje, de aquí el decir, en locución abreviada, que este pierde tanto de su peso como pesa el líquido desalojado ó un volumen del mismo igual al sólido.

7.ª *Se da el nombre* de empuje de un líquido á la fuerza de presión que resulta libre de abajo arriba y obra sobre cualquier

sólido en él sumergido en sentido contrario de su peso, cuyo valor, diferencia entre la presión que obra de arriba abajo sobre la cara superior y la que lo efectúa contra la inferior de abajo arriba, equivale á lo que pesa el volumen de dicho líquido igual al del sólido. Este empuje podrá ser ó no equivalente al peso del sólido y equilibrar ó no al mismo; sucediendo lo primero si el empuje resulta de igual valor que el peso del cuerpo, y lo segundo cuando sean desiguales.

8.ª *Para que un sólido* sumergido en un líquido permanezca en equilibrio, es necesario que su peso y el empuje sean iguales, y que el centro de gravedad y el de presión se hallen en una misma vertical, pues de lo contrario el cuerpo oscilará aunque su peso y el empuje sean iguales.

9.ª *Cuando falta el equilibrio* de los sólidos sumergidos podrá suceder: que el cuerpo descienda, que oscile en las mismas capas, ó que se eleve á otras superiores.

10. *Descenderá* cuando el peso del sólido sea mayor que el empuje, esto es, que el peso de igual volumen de líquido, ó lo que es lo mismo, que el sólido sea más denso que el líquido.

11. *Permanecerá* en las mismas capas cuando el peso del sólido y el empuje sean iguales, esto es, cuando el sólido sea igualmente denso que el líquido; inmóvil mientras el centro de gravedad y el de presión permanezcan en la misma vertical, y oscilando cuando estén en dos verticales.

12. *Se elevará* cuando el peso del sólido sea menor que el empuje, esto es, cuando el sólido sea menos denso que el líquido.

13. *Cuando* un sólido sumergido en un líquido es menos denso que éste, una parte del empuje, igual al peso del cuerpo, se equilibra con él y la parte restante ó sea la diferencia entre dicho peso y el del volumen de líquido desalojado, que llamaremos fuerza ascensional, le impele de abajo arriba, haciéndole subir y salir sobre la superficie de nivel hasta no quedar dentro del líquido sino una parte del cuerpo y llegar á desalojar un volumen de líquido, cuyo peso sea igual al del sólido.

14. *Cuerpos* flotantes son los que por su menor densidad, respecto del líquido en que se los coloca, sobrenadan ó se sostienen en la superficie de su nivel, desalojando un volumen del

mismo igual al de la parte sumergida del sólido y cuyo peso será siempre igual al del mismo.

15. *Que un sólido* introducido en un líquido descienda al fondo del vaso, permanezca en equilibrio en cualquiera capa, ó se eleve sobre la superficie de nivel y flote, se hacer ver fácilmente con el sencillo aparato denominado diablillo de Descartes, ondina ó ludión que se suele indicar como modelo del mecanismo por cuyo medio los peces se elevan, descienden ó sostienen en las diferentes capas de las aguas.

16. *El equilibrio* de los cuerpos flotantes, que sólo se verifica cuando el líquido desalojado pesa tanto como todo el cuerpo y el centro de gravedad de éste y el de presión se hallan en una misma vertical, puede ser de tres maneras: estable, inestable é indiferente.

17. *Será estable* cuando el centro de gravedad resulte más bajo que el centro de presión; inestable cuando por el contrario el centro de gravedad resulte más alto que aquél, é indiferente cuando ambos puntos resulten coincidiendo en todas las posiciones del cuerpo. En resumen, el equilibrio de los cuerpos flotantes será tanto más estable cuanto más alto resulte el metacentro, respecto de su centro de gravedad; más inestable cuanto más bajo resulte el primero, con relación al segundo; é indiferente al coincidir ambos puntos en uno solo.

18. *Metacentro* es el punto de intersección de la línea en cuya dirección se ejerce el empuje, en cualquier posición de un cuerpo flotante, con la vertical que pasa por el centro de gravedad de éste en la posición primitiva de equilibrio.

19. *El principio* de Arquímedes y la teoría de los cuerpos flotantes, son base de importantes aplicaciones, como la natación, navegación y otras, y sirve de fundamento en la determinación de los datos necesarios para el cálculo de los pesos específicos de los cuerpos y el empleo de los areómetros.

LECCIÓN XXXV.

Aplicación del principio de Arquimedes y de la teoria de los cuerpos flotantes á la determinación de los datos necesarios para calcular los pesos específicos.—Principales métodos que pueden seguirse para esta determinación.

1.ª *Los pesos* específicos de los cuerpos, definidos (XV—17), se establecieron en sustitución de sus densidades, por ser imposible determinar éstas en absoluto, á causa de ser $D=\frac{M}{V}$ y no haber medio de hallar el valor de M.

2.ª *Los pesos* específicos, que también se suelen llamar densidades relativas, se denominaron específicos en vez de densidades relativas, que es la verdadera denominación correspondiente, á causa de ser la relación de las densidades igual á la de los pesos relativos de dos cuerpos de igual volumen y poder evaluar dichos pesos y no aquellos. En efecto, siendo (VII — 15) $P : P' :: DV : D'V'$, si $V=V'$, $P : P' :: D : D'$ y como (XV—18) $p : p' :: P : P'$, se sigue que $D : D' :: P : P'$; esto es $\frac{D}{D'}=\frac{p}{p'}$.

3.ª *La determinación* del peso específico de un cuerpo es el sencillo problema aritmético que consiste en *dividir su peso relativo por el relativo de un volumen de otro, cuya densidad se toma por término de comparación y se considera igual* 1, esto es, que si llamamos x al peso específico de un cuerpo, p al peso de éste, y p' al de un volumen igual al que se tome por término de comparación, ó unidad de densidad, se tendrá $x=\frac{p}{p'}$.

En efecto, de ser $\frac{D}{D'}=\frac{p}{p'}$ al comparar la densidad D del cuerpo cuyo peso relativo es p, con la D' del otro de peso p' en igual volumen, si consideramos $D'=1$ la relación $\frac{D}{D'}=\frac{D}{1}$ y como esta relación es lo que constituye su densidad relativa ó peso específico, tendríamos $x=\frac{D}{1}$; pero como D no es determinable y el valor 1 en abstracto nada dice, $\frac{D}{1}$ no tendría ningu-

na significación; más siendo $\frac{D}{D'}=\frac{D}{1}$ y $\frac{D}{D'}=\frac{p}{p'}$, $\frac{D}{1}=\frac{p}{p'}$ y finalmente siendo también $x=\frac{D}{1}$ se deduce de esta ecuación y la anterior que $x=\frac{p}{p'}$. Luego el peso específico x de un cuerpo se hallará ejecutando la división de los valores p y p', cuyos datos son los que es necesario determinar por los procedimientos denominados, impropiamente, métodos para hallar los pesos específicos, en vez de métodos de hallar los datos necesarios para calcular los pesos específicos. De este modo, el cociente, número abstracto, entero ó fraccionario, será el peso específico del cuerpo é indicará que su densidad es doble, triple, etc. ó mitad, tercera parte, etc. de la del cuerpo que se tome por término de comparación.

4.ª *El cuerpo* cuya densidad se toma por término de comparación respecto de la de los cuerpos sólidos y líquidos es el del agua destilada á la temperatura de 4° del termómetro centígrado, de modo que el peso específico de un cuerpo de peso relativo p, si llamamos p' al peso relativo de igual volumen de agua en aquellas condiciones, será $x=\frac{p}{p'}$.

Como será conveniente emplear las *p* minúsculas para representar los diferentes valores de las pesadas necesarias en los procedimientos que hay que seguir en la determinación de los datos correspondientes á los problemas de los pesos específicos, en lo que sigue se representarán por *P* y *P'* los pesos relativos en vez de como se ha hecho por *p* y *p'*.

5.ª *El cuerpo* cuya densidad se toma por término de comparación, respecto de los gases y vapores, es el aire, á la temperatura de 0° y presión de 0,^{m} 76, ó más generalmente hoy la del hidrógeno á dicha temperatura de 0.° y presión de 0,^{m} 76.

Hoy se toma también por unidad ponderal el peso del litro de hidrógeno, llamada kritha, que viene á ser equivalente á 0, ^{grm} 0896. La palabra kritha, que significa grano de cebada, es como para significar una pesa pequeña como la del sistema antiguo, el grano.

6.ª *La determinación* del peso relativo de un cuerpo con las balanzas no ofrece dificultad; pero la de un volumen de agua igual al de un sólido de figura irregular, para hallar su peso, no

siempre sería fácil si no hubiese un medio indirecto de lograrlo en virtud del principio de Arquímedes.

7.ª *Se puede* determinar el peso de un volumen de agua, igual al de otro cuerpo, de varios modos; y de aquí los diferentes procedimientos ó métodos que pueden emplearse en la valuación de los pesos necesarios para la determinación de los específicos. Todos ellos vienen á reducirse á los tres siguientes: 1.° El de la balanza hidrostática. 2.° El del frasco de Klaproth y balanza ordinaria. 3.° El de los areómetros, en el que hay que distinguir tres casos según se trata de sólidos, de líquidos ó de gases; prescindiendo de los vapores hasta llegar al estudio de las propiedades de estos.

8.ª *El método* de hallar el peso específico por la balanza hidrostática, es el en que se hace uso de ella del modo siguiente: si se trata de un sólido, se determina su peso relativo P con la balanza, según se acostumbra de ordinario, esto es, se pesa en el aire; después se suspende el mismo de un platillo de la balanza por medio de un hilo, varilla, etc. y se equilibra con pesos colocados en el otro; se hace descender la balanza hasta introducir el sólido en el agua destilada de un vaso colocado debajo, con lo que pierde de su peso y se desquilibra aquélla; á seguida se colocan pesos en el platillo, de cuyo gancho pende el cuerpo, hasta restablecer el equilibrio, y este peso, que representa el perdido por la inmersión del cuerpo en el agua, es el peso del volumen de la misma igual al P' del cuerpo. Si el agua no está á 4°, se toma su temperatura con un termómetro, para hacer después la debida corrección.

9.ª *Si se trata* de un líquido, se toma un cuerpo como una esfera de vidrio ó de marfil, y procediendo como ya se sabe para hallar la pérdida de peso de un sólido sumergido en un líquido, se halla lo que pierde aquel cuerpo por su inmersión en el líquido de que se trata, y después en el agua destilada; lo que nos dará el peso de un mismo volumen de uno y otra. Si de un gas, se pesa un globo de vidrio hecho en él préviamente el vacío; después se pesa lleno del gas en cuestión y por último lleno de aire, ambos á la presión 0,m 76 y temperatura de 0°; se resta de uno y otro el peso del globo vacío, y los resíduos dan el P y el P' del gas y del aire.

10. *El método* del frasco es aquel en que se hace uso de la balanza común y de un frasco de boca ancha y tapón esmerilado, con cierto reborde y un pequeño orificio, de manera que lleno de agua el frasco y cerrado con el referido tapón, éste penetra siempre lo mismo, el agua excedente sale por dicho orificio y la cantidad que llena el frasco siempre resulta de igual volumen.

11. *Si se trata* de hallar el peso específico de un sólido, por el método del frasco, se procede del modo siguiente: se pesa el cuerpo en el aire, que es el primer dato, después el frasco lleno de líquido, con el sólido puesto en el mismo platillo, pero fuera del frasco, y á continuación se introduce el sólido dentro de éste, para verter y quitar un volumen de agua igual al del cuerpo. Practicado esto y bien enjuto el frasco, se vuelve á pesar, con lo que restando este peso del anterior se tiene el del cuerpo, segundo dato que se necesita.

12. *Si se trata* de hallar el peso específico de un líquido por el método del frasco, se pesa el frasco vacío y después, sucesivamente, lleno del líquido en cuestión y de agua destilada, con lo que restando á uno y otro el peso del frasco vacío, hallaremos el peso P del líquido y el P' del igual volumen de agua, pues ambos llenan el mismo espacio ó capacidad del frasco.

13. *Si el sólido*, cuyo peso específico se quiere hallar, es soluble en el agua, se opera con otro líquido en que sea insoluble, y el resultado se multiplica por el peso específico de dicho líquido con relación al agua.

14. *Cuando* los sólidos son flotantes en el agua y se quiere hallar su peso específico por la balanza hidrostática, se los lastra cargándolos ó ligándolos á otros más pesados que aquélla y que les impida sobrenadar en la misma; pues determinando antes, por una operación previa, la pérdida de peso del lastre en el agua y restando esta pérdida de la total que resulte al cuerpo con el lastre, tendremos la verdadera del cuerpo solo y, por lo mismo, el peso P' de igual volumen de agua destilada.

15. *Cuando* los sólidos son permeables al agua y pueden absorberla al introducirlos en ella, se opera del modo siguiente: se pesa el cuerpo en el aire; después se le tiene en el agua hasta que absorba cuanto le sea posible; en este estado, se le pesa

también en el aire y la diferencia entre este peso y el del cuerpo será el peso del agua embebida; después se halla la pérdida en el agua como sabemos; á esta pérdida se añade el peso de la embebida, y la suma dará la verdadera pérdida del cuerpo, como si no embebiese agua, y por lo tanto, el peso de igual volumen de ésta.

LECCIÓN XXXVI.

Areómetros.—Su división en de volumen constante como el de Nicholson y Fahrenheit, y de volumen variable ó pesa-licores, pesa-sales, pesa-ácidos, volúmetros y densímetros.

1.ª *Areómetros* son ciertos aparatos, cuerpos flotantes, de metal unos y de vidrio otros, que sirven para hallar los datos necesarios en la determinación de los pesos específicos de sólidos y líquidos y para otros usos relacionados con las densidades de los mismos.

2.ª *Se dividen* en dos clases: de volumen constante y peso variable, y de volumen variable y peso constante.

3.ª *De volumen* constante son los que, cargándolos de más ó menos peso y forzados á descender hasta una señal fija, llamada de enrase, desalojan igual volumen en todos los líquidos, aunque pesando aquél más ó menos según la densidad de estos.

4.ª *De volumen* variable son los que, por su propio peso, se introducen más ó menos en los líquidos y desalojan diferente volumen de los mismos.

5.ª *El gravímetro* de Nicholson es uno de los areómetros llamados de volumen constante. Consiste esencialmente en un cilindro apuntado por sus bases, con dos conos en la dirección de cuyos ejes, partiendo de los vértices, hay dos varillas, una larga que sostiene un platillo á propósito para recibir pequeños pesos, y otra en el cono inferior de que pende otro cono con su vértice hacia abajo, lastrado convenientemente para que pueda flotar todo el aparato verticalmente. Sobre la base del cono lastrado hay dispuesta una cubierta movible y con orificios á propósito para encerrar entre ella y dicha base el cuerpo con que se opera, sin dejar de estar sumergido en el líquido, que circula libremente por dichos orificios é impide la elevación de los más ligeros que el

agua. En la varilla que parte del cono superior hay una línea llamada de enrase, para señalar hasta donde se ha de sumergir el aparato, cuyo todo es de metal. Enrasar el gravímetro es sumergirlo hasta la línea de enrase, cargándole los pesos necesarios.

6.ª *Para hallar* el peso específico x de cualquier pequeño sólido con el gravímetro de Nicholson, se procede del modo siguiente: se enrasa el gravímetro con la granalla necesaria, á cuyo peso llamaremos p'; se enrasa segunda vez, colocando el cuerpo en la cápsula superior y añadiendo la granalla que se necesite, representando su peso con p'', y por último se enrasa tercera vez, colocando el cuerpo en la cápsula inferior, bajo la rejilla, y en la superior la granalla que haga falta, llamando á su peso p''', con cuyos datos tendremos $x=\frac{p'-p''}{p'''-p''}$.

En efecto, representando con a el peso del aparato, como á éste se le hace desalojar siempre igual volumen de líquido, el empuje será siempre el mismo y, por consiguiente, iguales el peso que sostiene del aparato y granalla $a+p'$, en el primer enrase, y el $a+p''$ con el peso P del cuerpo, ó sea $a+p''+P$, en el segundo; de donde resulta que $a+p'=a+p''+P$, ó $p'=p''+P$, y de aquí que $P=p'-p''$: por otra parte como en el tercer enrase, cuando el cuerpo está dentro del líquido, se necesita poner en la cápsula superior $p'''>p''$, $p'''-p''$ indica la pérdida de peso del sólido, y en su consecuencia el peso P' del igual volumen de agua; por cuya razón sustituyendo en la fórmula general $x=\frac{P}{P'}$ los valores deducidos para P y P', se llega á la expresión $x=\frac{p'-p''}{p'''-p''}$.

7.ª *El areómetro* de Fahrenheit es otro de los de volumen constante usado exclusivamente para hallar el peso específico de los líquidos. Se halla dispuesto como el anterior, pero sin la cubierta ni cavidad en el cono lastrado; debiendo ser de vidrio en vez de metal, pues si bien pudiera ser de esta materia y aun usarse el mismo de Nicholson en ciertos casos, cuando se hiciese uso de líquidos que atacasen el metal, no sería conveniente.

Para hallar el peso específico x de un líquido con el areómetro

de Fahrenheit se introduce y enrasa en el líquido en cuestión; después en el agua destilada, y llamando p' al peso del primer enrase, p'' al del segundo y representando por a el peso del aparato, tendremos que p+a será el peso P del líquido desalojado, y p''+a el P' de igual volumen de agua, de lo que resulta que $x=\frac{P}{P'}=\frac{p'+a}{p''+a}$. Sabido de una vez el peso a del aparato y el p'' que es necesario para su enrase en el agua, en realidad sólo se necesita determinar el p' del enrase en el líquido de que se trate en cada caso.

8.ª *Los areómetros* de volumen variable no sirveu precisamente para hallar el verdadero peso-específico de los líquidos, sino para reconocer la pureza ó alteración de unos; la mayor ó menor concentración de otros, y los diferentes estados de aptitud de los mismos en las aplicaciones de las ciencias y de las artes. Toman diferentes denominaciones según su uso, llamándose pesa-sales, pesa-ácidos, pesa-licores, alcohómetros, lactómetros, etc.

9.ª *Se llaman* pesa-licores los construidos para ser usados en líquidos más ligeros que el agua.

10. *Se denominan* pesa-sales y pesa-ácidos los construidos para ser usados en líquidos más pesados que el agua.

11. *La disposición* de los areómetros llamados de volumen variable, cualquiera que sea su nombre particular, es la siguiente: se construyen con tubitos de vidrio cerrados por el extremo superior y terminados por el otro en esferas, cilindros ó conos, que forman principalmente el cuerpo flotante, terminando á su vez por otras esferas ó conos, cerrados también pero lastrados con mercurio ó perdigones para que floten verticalmente; en el interior del tubo ó varilla del aparato queda encerrado un papel convenientemeute arrollado con la escala correspondiente.

De los numerosos areómetros que hoy se usan, conviene estudiar los siguientes: el pesa-licores de Beaumé, su pesa-sales, el alcohómetro de Gay-Lussac y el areómetro universal; pues el conocimiento de cada cual de los demás en particular pertenece á la industria á que se destinan, y el de los volúmetros y densímetros corresponde más bien al estudio superior ó ampliado de la Física.

12. *El pesa-licores* de Beaumé, como destinado á líquidos más

ligeros que el agua, está construido de modo que pasando sucesivamente de aquella á líquidos menos densos, y necesitando desalojar cada vez más volumen para poder sostener el peso constante del aparato, se sumerge más y más cuanto más ligero es el líquido; por cuya razón se lastra y gradúa para que su escala resulte de abajo arriba.

Su escala, cuyo cero está en la parte inferior, se forma haciendo una disolución de 10 partes de sal común y 90 de agua destilada, que resulta más densa que ésta; se introduce el areómetro lastrado de suerte que flote dejando fuera la varilla, y se pone cero en la línea de enrase; se pasa después al agua destilada sola, en la que como más ligera, se hundirá el aparato y ocultará parte de la varilla; póngase en la línea de este segundo enrase el número 10 y divídase su distancia al cero en aquel mismo número de partes iguales; con lo que tomando una de ellas por unidad, ó grado, se continuará la escala hasta el extremo superior de la varilla. De su uso resulta que introducido en el alcohol ordinario del comercio, se sumerge hasta el grado número 36; en el alcohol puro unos 45, y en el éter sulfúrico de 60 á 70. Se ha construido con otra escala, debida á Cartier, pero hoy apenas se usa.

13. *El areómetro* de Gay-Lussac es un pesa-licores especial para determinar las centésimas de alcohol puro que hay en cualquier alcohol ó mezcla de éste con agua; por cuya razón suele también llamársele alcohómetro centesimal.

Gradúase del modo siguiente: se lastra de manera que introducido en el alcohol puro, se sumerja en éste hasta el extremo superior de la varilla, en cuya línea de enrase se escribe 100; después se forma una mezcla de 95 partes de alcohol y 5 de agua, donde se introduce de nuevo el aparato, señalando el enrase con el número 95; se continúa formando mezclas de 90 de alcohol y 10 de agua, 85 y 15, 80 y 20 y así sucesivamente, escribiendo los números 90, 85, 80, etc. en las líneas de los respectivos enrases que resultan en cada mezcla, hasta que en la correspondiente á 100 de agua y 0 de alcohol se escribe 0 grados.

Para conocer el alcohol de una mezcla en centésimas de ésta, se introduce en la misma el alcohómetro, y el número en que enrase indica aquéllas.

Introducido en el aguardiente debe enrasar con el 36°, en el alcohol con 81° y si está rectificado con el 83°, esto es, que en el primer líquido sólo hay 0,36 de alcohol verdadero ó absoluto, en el segundo 0,81, y en el tercero 0,83.

14. *El pesa-sales* y pesa-ácidos de Beaumé, como destinado á líquidos más pesados que el agua, está construido de modo que

pasando sucesivamente de ésta á aquéllos y necesitando desalojar cada vez menos volumen para sostener el peso constante del aparato, sobrenada ó sale más á medida que el líquido es más denso; razón por la cual se lastra de suerte que su escala vaya de arriba abajo.

Se gradúa introduciéndolo en agua destilada, lastrándolo de manera que se sumerja en ella hasta cerca del extremo superior de la varilla y en la línea de enrase se pone cero; después se pasa á una mezcla de 85 de agua pura y 15 de sal común, en la que siendo más densa se sumergirá menos, y saldrá fuera del nivel del líquido una parte de la varilla; póngase en la línea de este nuevo enrase el número 15, divídase el espacio comprendido entre este número y cero en aquel mismo número de partes iguales, y tomando una de ellas por unidad ó grado, continúese la escala hasta la parte inferior de la varilla.

De esta graduación resulta, que cuanto más densa es una disolución salina ó un ácido, se sumerje menos el aparato, ó sale más la varilla, descubriéndose cada vez mayor número de grados.

Este areómetro introducido en el ácido sulfúrico concentrado del comercio señala 66°, en el nítrico 36° y en el clorhídrico 26.°

15. El areómetro universal es uno de los de volumen variable, dispuesto de manera que lo mismo puede servir para pesa-licores, que para pesa-sales y ácidos. Se usa tanto para líquidos más pesados ó densos que el agua, como para los que son menos.

Se construye y lastra de modo que tiene el cero en un punto intermedio de la varilla; sobre él va la escala para que sirva de pesa-licores ó líquidos más lijeros que el agua, y por la parte inferior se halla la correspondiente á pesa-sales y ácidos, ó sea para los líquidos más pesados que el agua. Además suele llevar otra escala, paralela á la primera, correspondiente al areómetro de Cartier, para hacer uso de la cual se le añade un lastre adicional que va en el estuche del aparato.

16. *Volúmetros* y densímetros, son areómetros de volumen variable y peso constante, como los pesa-sales y pesa-licores, que sirven para poder determinar con sus divisiones ó grados y un pequeño cálculo el peso específico de los líquidos, sobre todo cuando se dispone de pequeñas porciones de ellos.

HIDRODINÁMICA.

LECCIÓN XXXVII.

Movimiento de los líquidos.—Su salida por orificios practicados en pared delgada. — Velocidad y gasto en la salida de los mismos. — Vena líquida.—Forma y contracción de la misma.

1.ª *El movimiento* de los líquidos se puede considerar en el interior de su depósito, saliendo de éste, como cuando corren sobre la superficie de la tierra extendiéndose sobre ella, y cuando se trasladan de unos puntos ó depósitos á otros por tubos de conducción.

2.ª *El movimiento* de los líquidos, en todo caso, se ejecuta de diferente modo que el de los sólidos, pues en éstos, por la mayor cohesión de sus moléculas, al moverse aunque sólo sea una de ellas, es preciso que se muevan igualmente y á la vez todas las demás; cuando en los líquidos, por la poca cohesión y movilidad de sus moléculas, es posible que una ó más de las mismas se separen de las restantes sin que éstas marchen en común con aquéllas.

3.ª *Los líquidos*, aun en el caso de estar en depósitos cerrados, pueden ejecutar movimientos en el interior de ellos al ser desquilibrados por cualquier movimiento del vaso en que se hallen ó cualquier aumento ó disminución de las fuerzas que tengan en equilibrio á sus moléculas, como sucede al variar la temperatura ó densidad de sus capas, ó por la comunicación de movimientos vibratorios procedentes de los mismos vasos ó comunicados desde el exterior.

4.ª *El movimiento* de los líquidos al exterior de los depósitos se puede considerar respecto á su salida por algún orificio, ó á su marcha sobre la superficie de la tierra de unos puntos á otros por tubos de conducción.

5.ª *La salida* de un líquido de su depósito podrá verificarse con sólo que en éste haya un orificio, si se dirige al vacío, ó que la presión sobre el líquido, de dentro á afuera, exceda á la que la

de la atmósfera pueda oponerle de fuera á dentro; pues en caso contrario, será necesario para que pueda salir por un orificio dado, que haya otro ú otros por donde obrando la presión del aire de fuera á dentro y en sentido inverso de la opuesta en el primer orificio se equilibre. En este caso la salida del líquido se ejecutará por la presión resultante del líquido debida á la gravedad, causa que principalmente se considera, prescindiendo, para simplificar, de cualquiera otra que también pueda obrar.

6.ª *La salida* de un líquido de su depósito puede ser por un orificio pequeño ó grande, practicado en pared delgada ó gruesa, y también por tubos.

7.ª *El orificio* de salida de un líquido se considera pequeño, cuando su área no es mayor que la vigésima parte de la del fondo ó pared en que se halla, pues si excede á dicho valor se considera como grande; y que está practicado en pared delgada cuando el espesor de ésta no excede de la mitad del diámetro de aquél, ó á su menor dimensión.

8.ª *La salida* de un líquido por un orificio en pared delgada puede ser regular, ó con velocidad constante que es la que hay que estudiar, é irregular, ó con velocidad variable y por consiguiente sin ley fija.

9.ª *Para que la salida* de un líquido de su depósito sea con velocidad constante, es necesario que la altura de nivel sobre el orificio lo sea también, esto es, que la altura de nivel permanezca igual.

Esto se podrá conseguir haciendo entrar en un mismo tiempo al depósito tanto líquido como el que salga por el orificio, ó también disponiendo el depósito con algún artificio, como en los aparatos de Venturi, Prony y frasco de Mariotte.

10. *La velocidad* de la salida de un líquido por un orificio pequeño y practicado en pared delgada es la que expresa el teorema de Torricelli, que se enuncia así: *Las moléculas de un liquido á su salida por un orificio tienen una velocidad igual á la que adquirirían cayendo libremente en el vacío desde una altura igual á la de su nivel.* Su valor es el de la velocidad debida á una altura, que se determina por la fórmula $V=\sqrt{2gh}$.

11. *La velocidad* con que un mismo líquido sale de un vaso,

ó de diferentes vasos con nivel distinto, pero constante en cada cual de ellos, son proporcionales á las raíces cuadradas de las respectivas alturas de nivel, esto es, $V : V' :: \sqrt{h} : \sqrt{h'}$.

En efecto, las velocidades en dos casos diferentes son $V = \sqrt{2gh}$ y $V' = \sqrt{2gh'}$, luego $V : V' :: \sqrt{2gh} : \sqrt{2gh'}$, y como el valor g de la gravedad será igual por considerarse en el mismo lugar, suprimido como factor común $\sqrt{2g}$, resulta $V : V' :: \sqrt{h} : \sqrt{h'}$.

12. *Vena líquida* es el cilindro ó prisma de líquido que, saliendo por el orificio, forma, por su prolongación y continuidad, lo que vulgarmente se llama chorro ó caño. Su dirección, según la disposición del orificio, puede ser de arriba á abajo ó al contrario, ya vertical ó lateral, ya inclinada.

Si el orificio está en el fondo, siendo éste horizontal, la vena es vertical; mas si está en pared lateral, toma la forma de una rama de parábola próximamente, como se puede comprobar con aparatos á propósito.

13. *Al salir las moléculas* de un líquido por un orificio, se comunica el desquilibrio á todo él de molécula á molécula, y de capa á capa hasta el nivel, originándose en todas un movimiento para dirigirse á reemplazar sucesivamente á las que van saliendo.

14. *La marcha* ó movimiento del líquido en el interior de los vasos no se ejecuta siempre del mismo modo, pues es muy distinto según la forma de aquéllos y la posición del orificio de salida.

Siendo el vaso cilíndrico, la superficie de nivel y demás capas descienden paralelamente, y cuando aquella llega á una corta distancia del orificio, dicha superficie se deprime formando como un cono ó embudo, cuyo vértice corresponde al centro del orificio si éste se halla en un fondo horizontal, ó formando un pequeño bisel ó declive en la parte de la pared correspondiente á aquél, si es lateral, hasta agotarse el líquido ó resultar el nivel inferior al orificio, dejándolo descubierto. Cuando el vaso no es cilíndrico, como las capas superiores que van descendiendo á reemplazar á las inferiores son mayores ó menores que éstas, no pueden ejecutar su descenso paralelamente, sino engendrando un movimiento en todos sentidos y la mezcla entre las moléculas de unas capas con otras, que cruzándose de mil maneras, cambian el paralelismo en una especie de embudo hasta llegar cerca del orificio, á cuya proximidad todas las moléculas del líquido se dirigen hacia aquél desde los diferentes puntos del vaso. Cuando el orificio es lateral, lo

mismo se dirigen á él las moléculas de la parte superior que las de la inferior, según es posible observar mezclando con el líquido una sustancia triturada, que no tenga acción química con él, y cuya densidad sea poco diferente de la suya.

15. *Se da el nombre* de gasto del orificio á la cantidad de líquido que sale por el mismo en un tiempo dado. Se puede considerar de dos modos: teórico y práctico. Gasto teórico es el que da la fórmula destinada á calcularlo. Gasto práctico es la cantidad de líquido que en realidad sale por el orificio en un tiempo dado, la cual es algo menor que la del gasto teórico.

16. *La expresión* del gasto teórico G en función de S, área de la superficie del orificio, de V, velocidad de salida, y de T, tiempo de la duración de ésta, es $G=SVT$, que se explica fácilmente considerando que el líquido salido en cada segundo forma un cilindro, ó prisma recto, que tiene á S por base, á V por altura, y cuyo volumen S V se repite tantas veces como segundos tenga T; lo que da $S \times V \times T = S\,T\,V$ y, sustituyendo en vez de la la velocidad V su valor $\sqrt{2gh}$, resulta que $G=S\,T\sqrt{2gh}$.

17. *Los gastos* teóricos de diferentes orificios, obtenidos en tiempos desiguales y con distintos niveles constantes, son proporcionales á los productos de las áreas de las superficies de los orificios de salida, tiempos de la misma, y raíces cuadradas de la intensidad de la gravedad, en los parajes correspondientes, por las alturas de nivel; pues dividiendo ordenadamente las respectivas fórmulas de dos casos $G=S\,T\sqrt{2gh}$, $G'=S'\,T'\sqrt{2g'h'}$, resulta $G : G' :: S\,T\sqrt{2gh} : S'\,T'\sqrt{2g'h'}$.

18. *Los gastos* por orificios iguales, aunque se obtengan en iguales tiempos, con igual altura de nivel ó igual velocidad, no serán iguales sino en puntos en que la gravedad sea la misma, esto es, $g=g'$.

19. *Los gastos* en puntos diferentes, en que los valores de la gravedad lo son también, en igualdad de los demás datos, son desiguales y proporcionales á las raíces cuadradas de los valores de la gravedad, pues suprimidos los factores comunes en la proporción $G:G' :: ST\sqrt{2gh} : S'\,T'\sqrt{2g'h'}$, resulta $G:G' :: \sqrt{g} : \sqrt{g'}$.

20. *El gasto* práctico se expresa y determina por la fórmula $G=\frac{5}{8}\,S\,T\sqrt{2gh}$, que se diferencia de la del gasto teórico, en

que la de éste es el resultado del raciocinio hecho sin tener en cuenta el fenómeno de la contracción de la vena líquida.

21. *Contracción* de la vena líquida es el fenómeno de adelgazarse ésta en la proximidad del orificio, en cuya consecuencia el cilindro ó prisma, que, al formular el gasto, se consideró formado en cada segundo sobre aquél, resulta en su parte media con cierta depresión ó cintura, que disminuyendo su volumen, produce un total de líquido menor que el correspondiente por la fórmula del gasto teórico: depresión que resulta á una distancia del orificio igual al semidiámetro de éste y de suerte que el área de la sección media viene á ser $^5/_8 = 0{,}625$ de la del orificio.

Este fenómeno se verifica principalmente por la convergencia de las filas de moléculas cerca del orificio, que no saliendo paralelas por éste, se cruzan á cierta distancia de él, tendiendo á formar cono por el retraso que, con el choque y rozamiento en los bordes del orificio, experimentan las moléculas al tocar con ellos, y por la adherencia y viscosidad del líquido, en virtud de la cual las que no tocan en los expresados bordes se adelantan, tiran de las restantes, desarreglan su colocación y deforman el cilindro.

22. *La vena* líquida presenta un conjunto de circunstancias en su forma, disposición y variaciones, que constituyen un estudio delicado é impropio de una clase elemental, y son el fundamento de los juegos de aguas en los saltadores, que tanto varían según la situación y forma de los orificios de salida.

La contracción de la vena líquida no es igual en todos los casos que se pueden considerar, pues varía dependiendo de la carga sobre el orificio ó altura de nivel, de la magnitud de aquél y hasta de su forma. Todo lo dicho acerca de orificios practicados en pared delgada, se entiende en el supuesto de ser plana; pues el mismo orificio practicado en pared curva da menor gasto cuando la convexidad de ella mira hacia el exterior que cuando la misma se halla hacia el interior.

23. *Cuando el nivel* de los líquidos en sus depósitos no es constante, las circunstancias de la vena y de su salida son también variables, y muy diferentes si la variación de la altura de nivel es por aumento ó por disminución, y según éstos se verifiquen con ley fija ó sin ella.

No es fácil fijar las leyes de la salida de los líquidos con nivel variable, por ser cuestión tanto más complicada, cuanto mayores y diferentes pueden ser las variaciones; pero en vasos donde el nivel decrece á

medida que sale el líquido, se puede considerar que su movimiento en el orificio sigue las leyes del uniformemente retardado, y por lo mismo los gastos están en razón inversa de los cuadrados de los tiempos; pues que disminuyendo la presión sobre el orificio á medida que sale el líquido, éste correrá obedeciendo á una fuerza retardatriz. De este modo sucede que si un vaso cilíndrico se desocupa en dos segundos, en el primero no sale (como pudiera creerse) la mitad, sino las tres cuartas partes, y en el segundo la cuarta parte restante; con lo que se puede hacer ver fácilmente, no sólo que los gastos están en razón inversa de los cuadrados de los tiempos, sino que los correspondientes á las unidades sucesivas del mismo resultan en orden inverso de los números impares 1, 3, 5, 7... de manera que si un vaso se desocupa en 4", dividido en 16 partes, cuadrado de 4, dará en las unidades 1", 2", 3", 4" de tiempo 7, 5, 3, 1 de dichas 16 partes. Este hecho tan interesante y digno de ser conocido, se demuestra fácil y sencillamente con los correspondientes vasos.

LECCIÓN XXXVIII.

Salida de líquidos por tubos. — Tubos adicionales, tubos largos ó de conducción de aguas y repartimiento de éstas.—Teoría de los saltadores.—Pozos artesianos.

1.ª *La salida* de líquidos por tubos, puede ser por tubos adicionales ó por tubos largos. Se consideran adicionales los que su longitud se halla comprendida entre la del radio del orificio á que se aplica y el séxtuplo del mismo; y largos los que su longitud es mayor que dicho séxtuplo.

2.ª *Los tubos* largos pueden ser cerrados ó abiertos. Son cerrados aquellos por donde corre el líquido llenándolos completamente, y abiertos cuando no los llena; pudiendo ser éstos, además, cubiertos ó á cielo descubierto.

3.ª *Los tubos* largos cubiertos son cilíndricos ó prismáticos como los de las tuberías del gas y de conducción de aguas en el repartimiento de éstas, y los cauces de acequias y aun ríos cuando se les cubre por la parte superior; y tubos largos á cielo descubierto los que se hallan en el caso inverso, como la generalidad de los cauces de ríos, acequias, etc., y los formados por semi-cilindros ó serie de tejas.

4.ª *Con los tubos* adicionales se altera en diferente cantidad el gasto del orificio á que estén aplicados, según sean cilíndricos

ó de forma de tronco de cono, ó formados por dos de éstos unidos por sus bases menores, que son los casos más generales y sencillos.

5.ª *Los resultados* que dan los tubos adicionales se pueden reducir principalmente á los cuatro casos siguientes: 1.° Que el tubo fijo al orificio sea cilíndrico. 2.° Que sea un tronco de cono fijo al orificio por su base mayor. 3.° Que sea un tronco de cono fijo al orificio por su base menor. 4.° Que sea formado por dos troncos de cono unidos por sus bases menores.

6.ª *Se dice que un líquido* sale á caño lleno, ó boca llena, cuando mojado el tubo por la superficie interna, pasa llenando completamente toda su capacidad. Cuando el tubo no es mojado, el rozamiento crece con su longitud, resultando disminuida la velocidad de manera que puede llegar á ser nula, ó casi nula, y no salir sino gota á gota. Si los tubos adicionales no corren á boca llena y la vena conserva dentro de ellos su contracción, en este caso los tubos adicionales no alteran el gasto práctico, el cual resulta con igual valor que si no hubiese tales tubos. La salida de los líquidos por tubos capilares ofrece diferencias muy notables é interesantes por su aplicacion á los estudios fisiológicos; pero su consideración no es propia de estas lecciones.

7.ª *Un tubo* adicional cilíndrico, de longitud 4 ó 6 veces mayor que su radio, que sea mojado por el líquido y que éste salga á boca llena, da un aumento en su gasto de una tercera parte respecto del que se obtendría si saliese por un orificio practicado en pared delgada é igual á la base del cilindro empleado; pues en vez de 0,625 ó 0,62 del gasto teórico salen 0,82, cuyo aumento 0,20 viene á ser igual á las 0,20 tercera parte próximamente de las 0,625.

8.ª *Un tubo* de forma de tronco de cono, fijado por su base mayor para salir el líquido por la más pequeña, da un gasto, que aunque menor que el que saldría por el orificio igual á la base mayor si no estuviese el tubo, puede aumentar más ó menos, respecto al que se obtendría si el orificio fuese igual á la base menor y practicado en pared delgada, según el ángulo de convergencia del cono á que pertenezca el tronco. Si dicho ángulo es de unos 14°, el gasto viene á ser 0, 95 del teórico en vez de 0, 625, ó 0,62, cuyo aumento 0,33 es próximamente igual á 0,31, mitad de 0,62;

pero creciendo el ángulo, el aumento del gasto resulta menor, pues á 20° ya no sale más que 0,92.

9.ª *Si el mismo tubo* se fija por su base menor para salir por la mayor, el gasto aumenta de un modo notable respecto del correspondiente á la base menor si se quitase el tubo. Este aumento puede ser de un doble ó cerca del cuádruplo, á medida que la base menor en que se apoye el tronco sea muy pequeña respecto de la mayor por donde salga el líquido.

10. *Si se hace uso* de un tubo adicional formado por dos troncos de cono, iguales y unidos por sus bases menores, aplicado al orificio de la pared ó fondo por la base mayor de uno de los troncos, se alcanza los mayores aumentos.

11. *En el repartimiento* de las aguas, teniendo en cuenta las variaciones que pueden resultar por las diferencias de nivel, tubos adicionales y contracción variable de la vena líquida, se hace llegar el caudal de líquido á depósitos ó cajas de distribución construidas convenientemente, con orificios practicados en pared delgada, iguales y á igual altura, y que el gasto suministrado por uno, dos ó más de dichos orificios se reuna en un segundo depósito ó conducto por donde tome ó se surta el partícipe á que se destine; pues sólo así es como el que reciba el agua suministrada por dos, tres ó más de aquellos orificios, tomará doble ó triple cantidad que el que solamente reciba la dada por uno solo.

12. *En la medida* y expresión de los gastos de los orificios sucede lo que en la de todas las cantidades, pues se han adoptado unidades de medida tan diferentes como irregulares; pero las dos que más bien se deben conocer, como usadas en fontanería, son la pulgada de fontanero (francesa), y el real de agua usado en Madrid.

13. *Pulgada de fontanero* es la cantidad de agua que sale en un minuto por un orificio circular practicado en pared delgada, y vertical, con una pulgada francesa de diámetro y la carga de una línea sobre el orificio, ó sean 7 sobre su centro.

Esta cantidad viene á ser 13,33 litros, que hacen por hora 799,98 litros, ó sean 800 litros próximamente, y en las 24 horas del día 19,199 metros cúbicos, ó sean 20 de los mismos, lo que equivale próximamente á 20,000 litros ó 40,000 cuartillos.

La media pulgada de fontanero se considera no la mitad de aquellas cantidades, sino la que sale en las mismas circunstancias cuando el orificio tiene media pulgada de diámetro, por cuya razón sólo da la cuarta parte de dichas cantidades. En efecto, siendo las áreas de los orificios como los cuadrados de los radios, las de 1 pulgada y $^1/_2$ serán como $1^2 : (^1/_2)^2 :: 1 : ^1/_4$, y por consiguiente, en la misma razón resultarán los gastos en que entran por factor.

14. El real de agua, usado en Madrid, es la cantidad de la que sale en 24 horas por un orificio circular practicado en pared delgada, plana y vertical, con un diámetro de 6,5 líneas castellanas y carga de una línea sobre el orificio, ó sea 4,25 líneas sobre el centro del mismo; cantidad que viene á ser unos 6,430 cuartillos.

Para el reparto de aguas por las cañerías de Granada se tienen las dos unidades siguientes: *la pluma*, igual á un cuarto de cuartillo por segundo, y el *real de fontanero* de Granada, equivalente á cuatro cuartillos por segundo.

15. *La conducción* de aguas por tuberías, sea por tubos cerrados ó por tubos abiertos, pertenece ya al estudio de la Hidraúlica; pero ofrece ciertos fenómenos, relativos á las presiones del líquido sobre las paredes y á la velocidad de salida, que se deben conocer.

16. *Las cañerías* de conducción de aguas, que pueden estar dispuestas de modo que el líquido salga como si descendiese por un plano inclinado, ó como si lo ejecutase por el extremo más corto de un tubo de brazos comunicantes con la velocidad debida á la diferencia de niveles, se deben construir evitando cuanto pueda disminuir la velocidad del líquido, como las desigualdades en el interior del tubo, los recodos ó cambios bruscos de dirección formando ángulos agudos, y toda obstrucción ú obstáculo que se oponga á la marcha del líquido.

17. *El curso* de las aguas en los ríos, acequias, etc., que no son otra cosa sino tubos abiertos, ofrece los hechos notables siguientes: 1.° La velocidad del líquido no es igual en todas las moléculas de cada sección, por razón del retardo que en virtud del rozamiento experimentan las que tocan en el fondo, en las

paredes y á las capas atmosféricas que insisten sobre la superficie de nivel; razón por la cual la velocidad máxima de la corriente se halla en la parte media ó interior del caudal del líquido que la constituye. 2.° Al encontrar las aguas en su camino algún obstáculo ó desigualdad, se entumecen ó ensanchan, cambiando de dirección y recuperando por unas partes la velocidad perdida en otras, hasta que, prescindiendo de la evaporación y de la infiltración en los terrenos, llega á salir por los desagües tanto líquido como recibe en sus orígenes, en cuyo caso se dice que está establecido el régimen normal.

Éste no se altera, sino cuando por lluvias ó deshielos, sequías ú otras causas sale menos cantidad de agua que la que entra por los orígenes ó viceversa. En el primer caso resulta el aumento del nivel y las avenidas, y en el segundo el descenso del mismo y las sequías. Además, establecido el régimen normal de la corriente, debe pasar en igual tiempo la misma cantidad de líquido por todas las secciones del canal, pues de lo contrario se alteraría el régimen de unas secciones á otras.

18. *Se observa* siempre en las partes estrechas de los cauces que la velocidad de la corriente es menor que en las anchas, porque teniendo que pasar en igual tiempo, la misma cantidad de líquido por unas que por otras sin variar el nivel, al llegar á las primeras se aumenta la velocidad, y decrece al llegar á las segundas. Por esta razón en los sitios estrechos hay la mayor erosión y resulta mayor profundidad, y en los anchos la menor y los vados. Éstos resultan no sólo porque siendo menor la fuerza de la coriente apenas hay erosión, sino porque disminuida dicha fuerza, y no pudiendo seguir el trasporte de las tierras y piedras que arrastra de los puntos de mayor velocidad, se van depositando aquellos materiales y rellenan más ó menos el fondo.

19. *La cantidad* ó caudal de agua que pasa por una sección del cauce, se halla multiplicando su área por la velocidad correspondiente.

El área de dicha sección se puede determinar del modo siguiente: se tiende una cuerda, dividida en partes iguales, perpendicularmente á la dirección de la corriente, apoyando sus extremos á los dos costados ó riveras del cauce; de los puntos de división se sus-

penden fuertes pesos en forma de plomadas, con sus correspondientes cuerdas hasta llegar al fondo, y se miden las longitudes sumergidas; con estos datos, sobre una recta que indique el nivel de la corriente, se dibujan las perpendiculares que representen las plomadas, tomando en las mismas sus respectivas longitudes, y trazando por sus extremos la curva correspondiente, se tendrá la figura de la referida sección del cauce, cuya área se puede hallar como se valúa la de los polígonos irregulares ó por las fórmulas correspondientes de la Mecánica práctica.

La velocidad de la corriente se puede medir de varias maneras; pero la más sencilla y fácil de dar á conocer es la siguiente: Se ligan dos esferas ó cuerpos flotantes de modo que cargándole pesos convenientes á una de ellas, clavándole clavos ó de cualquier otra manera, se sumerjan quedando flotante y visible la otra; se observa y mide el camino que les hace andar la corriente, y dividido por los segundos de tiempo empleados, el cociente dará próximamente la velocidad por segundo.

20. *La presión* que los líquidos en movimiento ejercen sobre el fondo y paredes de los tubos de conducción, es siempre menor que la que ejercerían en igualdad de las demás condiciones si estuviesen en reposo en vasos cerrados.

21. *La presión* de los líquidos en movimiento no sólo es menor que la que ejercen en reposo en vasos cerrados, sino que puede llegar á ser nula y aun negativa, según los tres casos siguientes:

1.° Si el líquido corre con menor velocidad que la debida á su altura de nivel, la presión sobre el fondo y paredes es menor que la correspondiente al reposo, pero siempre existe alguna de manera que hace salir al líquido con mayor ó menor fuerza al pasar por cualquier oradación ó resquicio de la tubería.

2.° Si la velocidad de la corriente es próximamente igual á la que corresponde á su nivel, la presión contra el fondo y paredes es nula ó casi nula, de suerte que el líquido puede pasar por cualquier oradación de la tubería sin derramarse.

3.° Si por cualquier circunstancia el líquido corre por un primer tubo con mayor velocidad que la correspondiente á su nivel, entonces no sólo deja de ejercer presión contra sus paredes, sino que resulta una especie de fuerza absorbente, capaz de llevar tras

sí el líquido de otro depósito inmediato, con quien se ponga en comunicación dicho primer tubo por medio de un segundo convenientemente unido á un orificio practicado en la superficie lateral de aquél, como es fácil hacer ver experimentalmente.

22. *Reacción* de la salida de un líquido es el fenómeno que resulta al abrir un orificio lateral y empezar á salir aquél, y que consiste en el movimiento que adquieren los vasos en sentido contrario á la dirección de la vena, cuando están suspendidos en disposición de poder obedecer á la presión lateral opuesta á la que produce su salida al dejar de estar equilibrada por ésta.

23. *El molinete* hidráulico es un aparato cuya construcción se funda en la reacción de salida de los líquidos por orificios laterales.

24. *Su forma* puede variar más ó menos; pero se reduce esencialmente á un vaso con líquido, y dispuesto de manera que pueda obedecer al movimiento rotatorio que le comunica el par de fuerzas, ó conjunto de pares, que resulta al salir aquél por dos ó más orificios apareados y colocados en situación inversa en los extremos de tubos doble é inversamente encorvados. Dicho par ó pares se forman por las presiones laterales opuestas, que resultan libres por dejar de existir sus contrarias al abrirse paso por los orificios.

25. *Surtidor* es todo orificio ó tubo que da salida al líquido de un depósito en virtud de la presión que le comunican alturas de nivel más ó menos grandes, y *saltador* es toda vena líquida que se eleva en el aire en una dirección vertical ú oblícua de abajo arriba.

26. *La altura* teórica de todo saltador es igual á la del nivel en el depósito; pero en la práctica siempre es menor y hay una notable diferencia. Ésta depende del rozamiento en las tuberías, de la resistencta del aire, del choque de las moléculas al caer sobre las inferiores que suben detrás, y de tantas circunstancias, que no es posible fijar una fórmula para determinar exactamente su valor; mas existen algunas empíricas en Mecánica práctica con bastante aproximación.

La fórmula más general para calcular la altura del saltador es la siguiente: $H = H' - 0{,}01 H'^2$. También se puede calcular la altura de nivel necesaria para obtener un saltador de elevación

determinada por esta otra fórmula $H' = H + \frac{H^2}{300}$. En estas fórmulas H representa la altura del saltador, y H' la del nivel sobre el orificio.

27. *Pozos artesianos* son saltadores que se obtienen, con mayor ó menor altura, sobre la superficie del terreno, por orificios más ó menos profundos que se abren verticalmente en el suelo con la sonda.

Se denominan así, por su existencia desde tiempos remotos en la antigua provincia de Artois, y aunque existen desde la antigüedad en algunos puntos del desierto de Sahara, posteriormente, desde la fundación de la Argelia francesa, se han multiplicado en aquellas regiones, como en todas partes, con la perfección y facilidad que permiten hoy los adelantos de la Mecánica, tan superiores á los tan defectuosos empleados antiguamente por aquellos naturales.

28. *Los pozos artesianos* se establecen, taladrando el terreno verticalmente hasta llegar á ciertas capas comprendidas entre otras impermeables, en cuyos espacios hay acumulado el caudal de las aguas á ellos afluidas.

29. *Los pozos artesianos,* lo mismo que las fuentes ó manantiales naturales, se explican por la teoría de los tubos comunicantes, como es fácil ejecutar con la correspondiente figura.

AEROSTÁTICA,

LECCIÓN XXXIX.

Equilibrio de los gases.—Sus propiedades particulares.— Atmósfera.— Pesantez del aire.—Presión de la atmósfera.—Medida de la misma por los experimentos de Torricelli y de Pascal.

1.ª *Los cuerpos gaseosos,* además de las propiedades generales, y de las que tienen comunes con los líquidos, tienen varias que les son particulares, careciendo de algunas de las de los líquidos.

2.ª *Las propiedades particulares* que los cuerpos gaseosos poseen, como los líquidos, son: el principio de igualdad de presión y de Arquímedes con sus consecuencias, mas no la de formar superficie de nivel, ni la de necesitar para su equilibrio en los tubos comunicantes que sus alturas en éstos hayan de estar en una relación determinada.

3.ª *Los cuerpos gaseosos* en estado de equilibrio poseen, á la vez de su gran compresibilidad, una fuerza espansiva, que es la propiedad que más esencialmente los distingue de los otros estados, debida á la repulsión de sus moléculas, mayor que la atracción de las mismas (V—14.)

La gran espansibilidad de los cuerpos gaseosos, su tensión ó fuerza elástica, por la que se denominan también flúidos elásticos, dependen de la manera con que, por las teorías modernas, se explica el estado gaseoso, ó sea su constitución mecánica; pues según éllas se admite: que cuando por choques, compresiones, cambios de temperatura y, por consiguiente, modificaciones de los múltiples movimientos de los átomos de los sólidos y líquidos, se extinguen en ellos los movimientos rotatorios de sus moléculas, resultan éstas sometidas á simples movimientos de traslación con enorme velocidad, y, en su consecuencia, marchan en todas direcciones tendiendo á llenar cuanto espacio encuentran vacío y á llevar delante de sí las de los demás cuerpos, que se oponen á su paso ó que, con la resistencia de sus paredes, los contienen cerrados dentro de sí y disminuyen aquella velocidad, sin cuya circunstancia ésta sería incalculable ó infinita.

4.ª *Para demostrar* la fuerza expansiva de los gases, se toma una vejiga, dejándole en su interior una tercera parte, poco más ó menos, del total de aire que pueda contener; se ata su cuello con un hilo para cerrar perfectamente su comunicación con el exterior, y se coloca bajo la campana de la máquina neumática; se hace jugar á ésta, y á medida que se enrarece el aire, se ve que la vejiga aumenta de volumen como si se la inflara; efecto de la fuerza de repulsión entre las moléculas del aire interior, que, dejando de estar contrariada por la presión del aire extraído, las separa más y más y hace que tiendan á ocupar todo el espacio vacío que las rodea; mas si se abre la llave de comunicación con el exterior, al entrar el aire en la campana, la vejiga y el que tiene en su interior se reducen á su volumen y forma anteriores.

5.ª *En los gases* se verifica el principio de igualdad de presión como en los líquidos, viniendo á ser una propiedad común á unos y otros. Se demuestra empleando el aparato usado para igual demostración respecto de los líquidos, sin más diferencia que en vez de poner agua, ó cualquier otro líquido, se opera con él lleno de aire ó de cualquier otro gas.

6.ª *La condición* esencialmente necesaria para el equilibrio

de una masa gaseosa es la siguiente: que cualquiera de sus moléculas resulte sometida á presiones iguales en todos sentidos, y que el vaso ó depósito resulte lleno completamente; por cuya razón en los gases no hay que considerar superficie de nivel como en los líquidos.

Las presiones sobre el fondo y paredes del vaso, sólo dependen, á igualdad de temperatura, de la densidad, y á igualdad de ésta, de la temperatura; pero si el depósito del gas estuviese en comunicación con otro de gas ó de líquido, ó sus paredes fuesen flexibles y pudiesen trasmitir las presiones recibidas del exterior, engendradas por gases, líquidos ó sólidos, que en contacto con éllas las comprimiesen, la presión interior del gas no sólo dependería de su temperatura y densidad, sino que también de aquella compresión.

7.ª *La condición* para el equilibrio de un gas en vasos ó depósitos comunicantes no existe como en el caso de los líquidos; porque cualesquiera que sean los volúmenes y alturas desiguales de los depósitos, los llenará el gas por completo; pero como esto se hace por efecto de su compresibilidad, á espensas del cambio de colocación de sus moléculas, éstas no quedarán en equibrio hasta no resultar cada una sometida á presiones iguales en todos sentidos, como cuando se hallan en un solo vaso.

Si en un depósito aislado ó en uno de brazos comunicantes se encierran gases de diferente densidad, sin acción química, aunque de pronto ó de una manera más ó menos completa se los coloque en el orden de sus densidades, como sucede con los líquidos que se hallan en igual caso, no quedarán perfectamente en equilibrio; porque si no tienen acción química enérgica que los transforme en otro gas compuesto y por consiguiente homogéneo, poseen la propiedad de tender más ó menos á la mezcla, como sucede también cuando se encierran con los líquidos en un mismo depósito; mas las leyes y circunstancias con que estas mezclas se ejecutan no pueden tener cabida en este lugar.

8.ª *Para estudiar las leyes* de equilibrio y demás propiedades de los gases, nos fijamos en el aire atmosférico, cuya totalidad constituye lo que se llama *atmósfera*, tomándolo como tipo de los demás, por ser el cuerpo gaseoso que, como á todos los de la tierra, nos rodea de continuo en todas partes y á todas hora, interviniendo en cuantos fenómenos físicos y químicos observamos

ordinariamente; á la inversa de lo que sucede con los cuerpos gaseosos, que hallándose en combinación formando sólidos ó líquidos, no se los puede observar ni manejar, sino extrayéndolos de los cuerpos en que se hallan y encerrándolos en vasos de forma y condiciones convenientes, que es como la química los ha podido estudiar.

9.ª *La atmósfera* es la masa gaseosa, *aire*, que rodea la tierra en forma esferoidal, concéntrica con ella, y que retenida por la gravedad, como las aguas de los mares sobre su superficie, forma un todo con la misma, participando en común de sus movimientos de traslación y rotación.

10. *La atmósfera* está constituida esencialmente y en relación constante, por la mezcla gaseosa de los gases *oxígeno y ázoe* ó, por otro nombre, *nitrógeno*, y de *ácido carbónico y vapor de agua* en cantidades variables. Además suele contener algunas pequeñas porciones de otros gases, polvo atmosférico y otros cuerpos procedentes de las emanaciones que pueden resultar en las diferentes épocas y localidades.

Sus propiedades pertenecen unas al estudio de la Física y otras al de la Química; por cuya razón sólo se deben estudiar ahora las primeras, aplazando el estudio de las otras para el de las nociones de la segunda de aquellas ciencias.

11. *La altura de la atmósfera* se ha calculado, por más de un procedimiento, que debe tener de unos 50 á 60 kilómetros ó unas 12 leguas próximamente, según unos, y de 14 á 16 según otros. Según el Sr. Liais debe ser mucho mayor, pues por sus estudios calcula debe tener de 320 á 340 kilómetros.

12. *Se dice que la atmósfera* forma un todo con la tierra y que participa de los movimientos de ésta, porque si así no fuese, y la tierra ó la atmósfera se moviesen independientemente la una de la otra, los cuerpos de la superficie de la primera chocarían continuamente contra la segunda con una violencia incomparablemente mayor que la del más violento huracán.

13. *El aire* y todos los gases son cuerpos pesados, aunque poco por razón de su poca densidad.

14. *La pesantez del aire*, aunque sospechada, según algunos, por Aristóteles, y aun antes, no se demostró clara y terminante-

mente hasta el tiempo de Galileo, á principios del siglo XVII, año 1630, constituyendo la resolución de tal cuestión, una época de las más notables de la Física.

El origen de la cuestión fué la consulta hecha á Galileo por los fontaneros de Cosme de Médicis, gran duque de Florencia, sobre la imposibilidad de hacer subir el agua, en una bomba construida para los jardines de aquél, á mayor altura de la que acostumbraban dar á todas las que construían; á cuya pregunta, partiendo de la razón que entonces se daba de que el agua subía en las bombas por *el horror de la naturaleza al vacío*, les contestó: que el no subir era porque más allá de los treinta y tantos piés, á que acostumbraba subir, no tenía *aquel horror;* pero esta contestación no debió satisfacer ni aun á él mismo, y de aquí la gran cuestión del peso del aire, tan debatida y que actualmente se prueba tan fácil y terminantemente.

15. *Para demostrar* hoy que el aire es pesado y determinar el peso de un volumen cualquiera del mismo, se procede del modo siguiente: se toma un globo de vidrio con virola metálica y llave correspondiente; se atornilla á la boca de aquélla un pequeño platillo cóncavo, sostenido de un pequeño vástago terminado en gancho; se suspende por éste del de uno de los platillos de la balanza hidrostática y se equilibra con la tara necesaria. Hecho esto, se descuelga; se le hace el vacío por medio de la máquina neumática; se vuelve á suspender, y se ve que el globo pesa menos y que para restablecer el equilibrio se necesita cargar con perdigones el platillo cóncavo que va sobre la virola: peso que determinado con toda exactitud, expresa el del volumen de aire contenido en el globo.

Si se quitan los perdigones, se vuelve á perder el equilibrio; mas abriendo la llave despacio, se va restableciendo á medida que el aire entra poco á poco por el conveniente orificio hasta volver á llenar el globo.

16. *Si en vez de globo* se hace uso de una vejiga y se pesa vacía y llena de aire, la diferencia de pesos es imperceptible, y de aquí un gran argumento contra la pesantez de aquél; pero esto consiste en que el aumento de peso de la vejiga llena sobre el de la misma vacía, se destruye por la mayor pérdida de peso que experimenta en el segundo caso respecto de la del primero, en virtud del principio de Arquímedes.

El peso de un litro de aire seco á la temperatura de 0° y presión de de 760mm. es de 1grm., 293. Su peso específico como término de comparación del de los gases es 1, y respecto del agua en iguales condiciones, es 0,00 1293 ó sea de 773 veces menos pesado que ella.

17. *El principio de Arquímedes* se verifica en los gases lo mismo que en los líquidos y por eso es otra de las propiedades comunes de ambos; de donde resulta el empuje de abajo á arriba y el que los cuerpos en el aire puedan sostenerse ó elevarse flotantes, como se explicó al tratar esta misma cuestión en los líquidos.

18. *La demostración* de que el principio de Arquímedes se verifica en los gases se hace por medio del *baróscopo*, pequeña balanza que en vez de platillos lleva suspendidas de los extremos de su cruz dos esferas de diferente diámetro, una pequeña y más ó menos maciza, y otra mucho más grande y hueca, de modo que resultan equilibradas en el aire.

19. *El experimento* del baróscopo se hace poniéndolo sobre la platina de la máquina neumática, cubierto con una campana de vidrio de la capacidad suficiente y extrayendo el aire. Á medida que se va haciendo el vacío, se ve descender la esfera de mayor volumen y, por consiguiente, que ésta tiene más peso en el vacío que la otra, luego si en el aire se equilibran, como se comprueba dejándolo entrar otra vez, debe ser porque la de mayor volumen pierde mayor cantidad de peso; lo que hace ver que la pérdida de éste depende del volumen de aquélla.

Se puede decir, como ejemplo, que una arroba de paja pesa más que una de plomo, porque pesadas ambas en el aire sin tomar en cuenta sus pérdidas respectivas de peso, si se consideran añadidas á las cantidades iguales en el vacio las desiguales pérdidas en el aire, los resultados también lo serán, y el peso de la paja, á quien por su mayor volumen y mayor pérdida se le agrega más, resultará mayor; ó más claro, porque colocada una arroba de plomo en uno de los platillos de una balanza y en el otro paja hasta establecer el equilibrio, en cuyo caso se diría había la arroba de paja, si después se colocase el todo en el vacio, como en el experimento del baróscopo, se perdería el equilibrio y descendería el platillo con la paja; prueba evidente de que el peso de ésta era mayor que el de la arroba de plomo.

20. *La atmósfera*, por las fuerzas de presión que posee en virtud de la gravedad, ejerce como los líquidos presiones en diferentes sentidos, comprimiendo como aquéllos á los cuerpos su-

mergidos, y son: de arriba abajo y viceversa, laterales y simultáneamente en todos sentidos.

21. *La presión de arriba abajo* se demuestra con el experimento del rompevejigas, pues á medida que á éste se le extrae el aire, la vejiga se deprime hacia el interior hasta romperse, como si se aplicase un peso; lo que indica la presión del aire en dicho sentido, por no existir otra causa á quien poder atribuir aquel efecto.

22. *La presión de abajo arriba* se demuestra llenando de agua un frasco ó campana de poca altura y de boca estrecha, ó cubierta con un papel que la cierre para no dejar penetrar cantidad alguna de aire, é invirtiéndola después se ve que el agua no cae.

23. *Las presiones laterales* se podrían demostrar por rompevejigas con orificios laterales cubiertos de trazos de vejiga, pero, aun sin esto, se hace bien manifiesta, por la entrada del aire en el vacío de la máquina neumática cuando se abre la llave lateral de ésta, y también con el experimento de un molinete colocado bajo la campana de la máquina neumática con un orificio lateral.

24. *Las presiones en todos sentidos* se demuestran fácilmente con los hemisferios de Magdeburgo, debidos también á Otto de Guerike.

25. *El primero que demostró* de un modo concluyente la pesantez del aire y valuó la presión de la atmósfera, fué *Torricelli,* discípulo de *Galileo,* con el experimento que lleva su nombre; cuya demostración hizo en Florencia, año 1643, procediendo del modo siguiente: llenó con mercurio un tubo de vidrio de un metro de largo próximamente, con uno de sus extremos cerrado; tapó el otro con el dedo pulgar, lo invirtió después é introdujo el extremo tapado bajo el nivel de un pequeño depósito de mercurio, que se llama *cubeta* y, en tal disposición, quitó el dedo; bajó el mercurio en el tubo, dejando un espacio vacío en su parte superior, que se llama *cámara barométrica,* saliendo el que lo ocupaba á la cubeta, con lo que resultó dentro del tubo, después de algunas oscilaciones, una columna de mercurio de unos 76 centímetros próximamente, que se expresan por $0^{m.}$, 76 ó $760^{mm.}$

Torricelli, en vista de este experimento, sacó por consecuencia que la columna de mercurio sostenida, lo estaba por la presión del aire de

arriba abajo, que se trasmitía de abajo arriba, por el intermedio del mercurio de la cubeta y contrariaba el peso de aquella columna, y, por consiguiente, que su valor equivalía al peso de la misma.

Pascal, para demostrar que la altura del mercurio en el tubo de Torricelli dependía de la presión de la atmósfera, y que ésta era limitada, ideó los dos experimentos siguientes: 1.° El que practicó repitiendo el experimento de Torricelli con un tubo de unos 15 metros de longitud lleno de vino, cuyo peso específico 0,99 siendo tan próximo á 1,00 del agua, viene á ser como ésta 13,6 veces menor que el de mercurio. De esta manera al descubrir el orificio inferior descendió aquél, quedando la columna á una altura de 10^{m}., 40, igual próximamente á 13,6 veces la de mercurio en el tubo de Torricelli; resultado que confirmó su sospecha de que si el peso del aire ejercía una presión de un valor dado, sostendría siempre el mismo peso y, por consiguiente, que si el vino, 13,6 menos pesado que el mercurio próximamente, sustituía á éste en el tubo, su altura sería las 13,6 veces mayor. El 2.° se practicó por un cuñado de Pascal, á invitación de éste, el 15 de Noviembre de 1647, repitiendo el experimento de Torricelli en el pié y en la cumbre de la montaña llamada Puy-de-dome, y á diferentes alturas, con lo que se vió que la columna del mercurio era menor á medida que la altura donde se practicaba la observación era mayor: resultado que confirmó la idea de Pascal, que decía «si el peso del aire es el que sostiene la columna de mercurio, como á mayor altura habrá menos columna de aire, la de dicho líquido será cada vez menor,» idea que algunos han manifestado le fué sugerida por Descartes.

LECCIÓN XL.

I. Barómetro. — Sus clases.—Idea de los más usados y que por lo mismo deben ser conocidos.—II. Aplicaciones del barómetro.

I.

1.ª *Los barómetros* son aparatos que sirven para observar y apreciar las variaciones de presión que se suceden en la atmósfera en un mismo día.

El barómetro fué inventado por Otto de Guerike, cónsul de Magdeburgo, en vista de los cambios de la columna mercurial que observó en el tubo de Torricelli, al repetir los experimentos de éste en 1650.

2.ª *Los barómetros* pueden ser de *mercurio* y *metálicos*.

3.ª *Los de mercurio* constan esencialmente de un tubo de vidrio, lleno de aquel líquido, de 85 á 90 centímetros de longitud, y de 5 á 6 milímetros de diámetro interior, cerrado por una ex-

tremidad é introducida la otra en una cubeta, expresa ó suplida, llena también de mercurio. El todo se coloca sobre una tablilla, ó en el interior de una armadura metálica cilíndrica, donde va la correspondiente escala en centímetros y milímetros ó en pulgadas y líneas, y se suspende verticalmente.

4.ª *Los metálicos* se construyen esencialmente con un pequeño depósito vacío de aire, ó con éste enrarecido, de modo que causando en éllos ciertos movimientos las variaciones de la presión atmosférica, los trasmiten por ingeniosos mecanismos á una aguja, que recorre la graduación circular hecha por comparación con barómetros de mercurio de exactitud típica.

5.ª *Los barómetros* de mercurio pueden ser de *cubeta* y de *sifón*.

6.ª *La construcción* y disposición del de cubeta, que fué la forma de su invención, es el tubo de Torricelli, con la única diferencia de que la cubeta, en vez de ser una cápsula ó vasija cualquiera, está unida al mismo tubo, quedando cerrada de modo que no se puede derramar el mercurio, ni entrar en él cuerpo extraño, pero sí el aire.

Los primeros barómetros de cubeta presentaron desde luego el inconveniente de que sus indicaciones no eran exactamente lo que señalaban en la escala, á causa de las variaciones de nivel del mercurio en dicha cubeta; pues cuando disminuía la presión atmosférica y bajaba la columna del mercurio, subía el nivel de la cubeta que correspondía al cero, y, por consiguiente, se tomaba un número mayor del que debía resultar desde el nuevo nivel, y viceversa cuando aumentaba la presión: además su disposición era impropia para el trasporte.

Este inconveniente, que dió lugar á varias disposiciones de la cubeta, desapareció con la modificación de Fortín. Ésta consiste en disponer la cubeta con un fondo movible, que se eleva ó desciende por medio de un tornillo y hace subir ó bajar el nivel, según es necesario, para que enrase con el extremo fijo de un índice de marfil, que corresponde al cero de la escala dispuesta sobre un tubo ó armadura metálica, á uno de cuyos extremos va atornillada la cubeta, quedando el tubo dentro de dicha armadura, la cual tiene dos ranuras longitudinales y opuestas en la parte superior para poder ver el extremo de la columna del mercurio. El todo se suspende verticalmente con el correspondiente sustentáculo de tablilla, ó por medio de un trípode con suspensión á la Cardan.

7.ª *El barómetro de sifón*, que se puede considerar como otra

modificación del de cubeta, no difiere de éste sino en que la parte inferior del tubo, en vez de entrar en una cubeta verdadera, se encorva formando dos ramas, de las cuales la menor termina en una especie de botellita de boca estrecha, que viene á reemplazar á aquella. La verdadera columna barométrica en este caso es la diferencia entre las alturas en el tubo y en la botellita, contadas sobre el vértice de la curvatura que enlaza ambas ramas.

Los primitivos barómetros de esta clase tenían inconvenientes semejantes á los del de cubeta respecto de la escala y de su trasporte, y otros á causa de la capilaridad, por cuya razón se trató de modificarlos, como en efecto se modificaron y perfeccionaron al extremo.

Para conseguir esto, se procuró desde luego dar bastante diámetro á la botellita que hace de cubeta, á fin de que su nivel variase poco, y se adoptó el uso de una llave hacia la parte inferior de aquélla, para arreglar la colocación del mercurio antes y después del trasporte; mas no siendo eficaces estas modificaciones, Gay-Lussac y Bunten lograron con las suyas que lo fueran y que el instrumento llegase á su mayor perfección.

La de Gay-Lussac consiste en disponer el tubo formando un todo tal que pueda encerrarse en una armadura metálica cilíndrica, como la del de Fortín; con cuya armadura se puede colocar verticalmente, ya en un sustentáculo de tablero, ya por medio del correspondiente trípode. La forma del tubo, fácil de dar á conocer por el dibujo de su figura ó con el mismo tubo á la vista, es tal que se puede invertir y arreglar el mercurio convenientemente para el trasporte. Este barómetro lleva, en la dirección de una generatriz de su armadura, dos escalas que parten de un cero común, una hacia arriba y otra hacia abajo, y sirven para apreciar la distancia del nivel de cada rama al dicho cero; pues sumando los dos números, que se leen en ambas escalas, resulta la distancia entre los dos niveles, verdadera altura de la columna barométrica.

La modificación de Bunten consiste en unir el último tercio de la rama larga del tubo con su parte inferior restante, de tal manera que entre en ésta con una terminación cónica, ó en forma de pequeño embudo, dirigido hacia abajo, y cuyo orificio corresponda con el eje del tubo. Esta modificación tiene la ventaja de que, aun cuando pueda entrar algún aire con las inversiones del aparato y en su trasporte en los viajes, aquél se dirige al hueco formado entre las paredes del tubo y la base del pequeño cono ó embudo, donde queda detenido sin poder llegar á penetrar en el tercio superior ni á la cámara barométrica.

8.ª *Al tomar* la altura mercurial de la columna barométrica, no se opera lo mismo cuando el barómetro es de Fortín que cuando

de Gay-Lussac; pues el primero sólo exige una lectura en su escala, cuando el segundo hace necesarias dos.

9.ª *Además del barómetro* de cubeta y de sifón, hay otro, también de mercurio, ideado por Hook en 1663. Su disposición es la de un barómetro de sifón, cuyo tubo se halla encerrado en una caja, con muestra circular como la de un reloj, en el centro de la cual hay una aguja que recorre la escala barométrica trazada en la circunferencia de dicha muestra.

La aguja se mueve con el eje de una polea interior, la cual gira por el concurso de dos contrapesos pendientes de élla, y uno de los cuales, el más pesado, entra y se sostiene sobre el nivel del mercurio en la rama corta.

Cuando la presión aumenta y la columna sube en la rama mayor, baja el mercurio en la menor y, en su consecuencia, el contrapeso más pesado que se apoyaba sobre aquél; con lo cual gira la polea y la aguja marcha á la derecha. Cuando disminuye, sucede todo al contrario: baja el mercurio en la rama larga, sube en la corta, empuja y eleva el contrapeso más pesado, descendiendo el otro; la polea gira en orden inverso, y la aguja retrocede á la izquierda.

Este barómetro, aunque poco exacto, se hizo de un uso vulgar, como indicador del bueno ó mal tiempo, pero hoy se usa poco por preferirse los metálicos.

10. *Los barómetros metálicos* son también de dos clases: aneroides y de Bourdon.

11. *El barómetro aneroide*, ideado por M. Vidi, está construido del modo siguiente: en una caja de latón, de forma de tronco de cono, hay fija en su base menor é inferior una pequeña caja cilíndrica, del mismo metal y de poca altura, cuya base ó tapa superior es bien delgada y flexible; esta caja está herméticamente cerrada, hecho previamente en ella el vacío, con lo que cuando la presión del aire aumenta, comprime y hace descender más ó menos la base superior flexible, y viceversa cuando disminuye aquella presión. Este movimiento se comunica por un sistema de palancas y un pequeño engranaje á un eje que hace girar de izquierda á derecha, ó viceversa, una aguja ó flecha colocada paralelamente á un disco, montado en el plano de la base superior de la caja que contiene el mecanismo.

Los extremos de la aguja recorren la escala barométrica construida por comparación con un buen barómetro de mercurio como tipo, y que

está escrita hacia el limbo del círculo de la base superior, como lo están las horas en la esfera de un reloj.

12. *El de Bourdon,* llamando así por el apellido de su inventor y semejante al aneroide, se diferencia de éste esencialmente en que la caja cilíndrica con el vacío interior se reemplaza por una especie de tubo de latón hueco, aplanado de modo que parece una lámina rectangular, de paredes muy delgadas y flexibles y cerrado herméticamente después de haberle enrarecido el aire. Dicho tubo, encorvado en forma de cilindro ó anillo, se coloca dentro de la caja que encierra todo el mecanismo, ligando los extremos del tubo al sistema de palancas, bridas y engranaje por cuyo intermedio se mueve la aguja. Su principio fundamental es semejante al del aneroide, pues consiste en que cuando se aumenta la presión se aplastan más las paredes flexibles del tubo; los extremos de éste se aproximan uno á otro, comunicando el movimiento al mecanismo indicado, y la aguja gira á la derecha: cuando disminuye la presión, el tubo se ensancha, esta variación hace que los extremos se alejen uno de otro, y que se produzca un movimiento inverso en el mecanismo, que hace girar la aguja á la izquierda.

II.

13. De los usos del barómetro, el principal se reduce á verificar observaciones en diferentes horas del día, *variaciones horarias,* para anotar los respectivos valores de la presión de la atmósfera en dichas horas, y poder determinar con éllos, como datos, la presión media en cualquier punto de la tierra.

14. *Presión media de un punto* de la tierra, es, no un número absoluto, sino *el término medio de los números correspondientes á las observaciones hechas en el trascurso de varios años,* que será tanto más significativo cuanto mayor sea el número de años de observación.

Para determinar la *presión media* de un punto de la tierra, se procede del modo siguiente. Se calcula la media de cada día, *media diaria* ó *diurna,* dividiendo la suma de los números expresivos de las respectivas presiones observadas en diferentes horas del día, por el número de observaciones; asimismo la de cada mes, *media mensual,* dividiendo la suma de las medias diurnas por el número de dias del mismo; después

la de cada año, *media anual*, dividiendo la suma de las medias mensuales por 12, número de meses del mismo, y finalmente, la media definitiva, *presión del punto*, dividiendo la suma de las medias anuales, correspondientes á los diversos años de observación, por el número de éstos.

La presión media anual no es la misma en las diferentes latitudes, pues aumenta desde el Ecuador hasta los 33° de la Norte, y continuando hacia el polo de dicho nombre, decrece.

15. *Por medio de las presiones medias* de gran número de puntos al nivel del mar, se ha hallado que la *presión general de la atmósfera al nivel del mar*; ó simplemente *presión atmosférica* valuada en milímetros, es 761$^{mm.}$ término medio ó sea 0$^{m.}$, 761; aunque la que generalmente se nombra es la 760$^{mm.}$ =0$^{m.}$, 76.

16. *Al decir que la presión* atmosférica es la de 760$^{mm.}$ se ha de entender que es la que ejerce sobre una superficie dada el peso de una columna de mercurio que tenga por base dicha superficie y por altura 760$^{mm.}$ =32,73 pulgadas castellanas, ó el de una de agua destilada á 4° del termómetro centígrado, de 10,$^{m.}$ 33=38,04 piés castellanos próximamente, toda vez que el mercurio es 13,6 más pesado que el agua: dato necesario para calcular la longitud que se puede dar al tubo de aspiración de las bombas aspirantes, según la *altitud ó altura sobre el nivel del mar*, del punto en que se las quiera colocar.

La presión media de Granada, según el cuadro de las observaciones climatológicas hechas por el catedrático de Física de la Universidad D. Manuel Fernández Figares, en el período de los 10 años trascurridos desde el 1865 á 1874, ambos inclusive, resulta ser de 704$^{mm.}$ 9 = 30,32 pulgadas de mercurio ó 9$^{m.}$, 59=34,41 piés castellanos, referida al agua. Su altitud es de 680$^{m.}$ = 2440,47 piéz castellanos, según el doctor alemán Sr. Helman.

La presión media de Madrid viene á ser 0$^{m.}$, 707, que reducida al nivel del mar es 0$^{m.}$ 7638. Su altitud (observatorio) es de 655$^{m.}$

17. *La presión atmosférica*, si bien es igual sobre todos los puntos de una superficie, es un caudal de energía de que se pueden utilizar cantidades tanto mayores cuanto mayor sea la superficie sobre que obre. Así es que resulta ser:

Sobre un centímetro cuadrado. . . .	1$^{klg.}$ + 33 $^{grms.}$
Sobre el decímetro cuadrado	103$^{klgs.}$ +360 $^{grms.}$
Sobre el metro cuadrado.	10336$^{klgs.}$
Sobre la superficie del cuerpo del hombre.	15504$^{klgs.}$

El cálculo que determina los resultados que anteceden es el siguiente: 1.° Siendo el peso de un centímetro cúbico de agua destilada un gramo, el de mercurio, que es 13,6 veces más pesado que aquella, pesará $1^{grm.} \times 13,6 = 13,6^{grms.}$, luego la columna de mercurio de $760^{mm.}$ ó sean $0^{m.}$ 76 que tenga por base un centímetro cuadrado, tendrá 76 centímetros cúbicos y por consiguiente pesará $13^{grms.}$, $6 \times 76 = 13,6 \times 76$ gramos $= 1033,6^{grms.} = 1^{klg.} + 33,6^{grms.} = 1^{klg.} + 33^{grms.}$ y como la presión de la columna atmosférica insistente sobre una superficie de un centímetro cuadradro equilibra ó es equilibrada por la de mercurio de igual base y $0^{m.}$ 76 de altura, será igual á la que ejerce esta misma columna; luego la presión atmosférica sobre un centímetro cuadrado resulta igual á $1^{klg.} + 33^{grms.}$ 2.° Si sobre un centímetro cuadrado resulta esta presión, sobre un decímetro cuadrado, que es igual $0^{m.}$ $10 \times 10 = 10^{c.} \times 10 = 100^{c.}$, la presión sobre él será $(1^{klg.} + 33,6^{grms.})$ 100 $= 100^{klgs.} + 3360^{grms.} = 103^{klgs.} + 360^{grms.}$ Y finalmente, teniendo el metro 10 decímetros, el metro cuadrado se compondrá de 10 decímetros $\times$ 10 decímetros $=$ 100 decímetros cuadrados, y como la presión sobre uno de éstos es $103^{klg.} + 360^{grms.}$ sobre los 100 centímetros cuadrados, ó metro cuadrado, será $(103^{klgs.} + 360^{grms.})$ $100 = 10300^{klgs.} + 36000^{grms.} = 10336^{klgs.}$

La presión de $15504^{klgs.}$ que sufre el hombre, de fuera á dentro, sobre la superficie de su cuerpo, se ha determinado calculando que la de un individuo de talla y corpulencia ordinaria, es de $1^{m.}$, 5.

Si esta presión pasa desapercibida para el hombre, es porque la contrarresta la de los gases y líquidos que circulan en el interior de su organismo, pero no deja de hacer un gran efecto que por la costumbre tal vez no sentimos; lo que se comprende por el experimento que se suele hacer con un pájaro bajo la campana de la máquina neumática, y variados y frecuentes hechos fisiológicos que se explican por las variaciones de la presión atmosférica, cuyas oscilaciones tanto influyen en el bien ó malestar del hombre, sobre todo cuando el estado de salud no es completo y sufre cierta clase de padecimientos, y que como es sabido hacen decir, *el tiempo va á variar, que está pesado*, etc.

18. *Oscilación barométrica* es la variación que en un mismo lugar experimenta la columna mercurial en su altura, de unos días á otros y de unas horas á otras de un mismo día.

19. *Amplitud de la oscilación* barométrica es la diferencia media entre su altura máxima y mínima, ya entre las del día,

del mes, del año ó del período ó número de años de observación; así es que la oscilación puede ser *diurna*, *mensual*, *anual* y *definitiva*.

20. *Las oscilaciones* barométricas pueden ser de dos clases: regulares ó periódicas, é irregulares ó accidentales. Las primeras, *las diurnas*, son las que se verifican de unas horas á otras del día, y *las accidentales* las que se producen sin ley alguna á causa de los cambios de estación, dirección de los vientos y posición geográfica del lugar.

El estudio y explicación de las causas y circunstancias de las oscilaciones barométricas, pertenecen á la Meteorología.

21. *Además del principal* empleo del barómetro en su destino á las observaciones meteorológicas, tiene la aplicación importante, en los gabinetes de Física, laboratorios de Química y en muchos establecimientos industriales, de servir para determinar la presión existente en un instante dado, á fin de comparar con ella la de los gases que se manejan y establecer su relación con la presión atmosférica. Como aplicación del barómetro hay la que tiene por objeto predecir los cambios del buen tiempo al mal tiempo, de lluvias, vientos, etc. y veceversa, cuyos pormenores corresponden también á la Meteorología.

Otra aplicación es su destino á medir alturas, como instrumento geodésico, cuyos pormenores son impropios de estas lecciones; bastando saber que de los numerosos casos calculados por las correspondientes fórmulas, se ha deducido la regla siguiente: tomada la presión barométrica á la misma hora con dos barómetros iguales, en dos puntos diferentes, *cada milímetro de disminución del inferior al superior de los dos puntos de observación corresponde á* $10,^{m.}5$ *de elevación.*

En el uso del barómetro de sifón se hace necesaria la corrección de capilaridad, y en todos la de temperatura; por cuya razón, todo barómetro lleva unido el correspondiente termómetro.

Los pormenores acerca de todo lo relativo á las causas de las oscilaciones barométricas, predicción del tiempo, reducción de presiones á la del nivel del mar, correcciones de capilaridad y temperatura, no son para tratados en estas lecciones, á no ser imperfectamente, y sí para expuestos en Física superior ó ampliada.

LECCIÓN XLI.

Bombas en general.—Máquina neumática y probeta.—Máquina contra-neumática ó de compresión.—Fuente de compresión.—Manómetros.

I.

1.ª *Bajo el nombre de bombas* se debe comprender, en general, una porción de aparatos, que, aunque distintos por su forma y objeto, son realmente unos mismos, pues todos ellos están constituidos por un cuerpo de bomba, un émbolo ó pistón y válvulas.

2.ª Cuerpo de bomba es un cilindro hueco de más ó menos diámetro y altura, según su objeto, en el cual entra y se mueve el correspondiente émbolo ó pistón.

3.ª *Émbolo* ó *pistón* es un cilindro macizo de poca altura y de un diámetro igual ó menor que el del interior del cuerpo de bomba en que se haya de mover, y que va unido en la dirección de su eje á uno de los extremos de la barra cilíndrica ó prismática, que le sirve de astil, enlazándose éste por su otro extremo á la palanca ó elemento cualquiera de los empleados para la comunicación y cambio de movimiento.

4.ª *Válvula* es todo cuerpo de forma y disposición conveniente para abrir y cerrar los orificios que necesitan llevar los pistones, cuerpos de bomba y depósitos que se comunican entre sí; diferenciándose de las llaves en que éstas se abren y cierran, generalmente, por la mano del hombre.

Las válvulas y pistones son de tanto uso é interés, que han ocupado muy especialmente la atención de los mecánicos, y por lo mismo éstos han ideado variedad de unos y otras que no es posible especificar en estas lecciones.

Las bombas de elevar agua ó hidráulicas, usadas de tan antiguo, fueron las que se consideraron exclusivamente, pero hoy se aplican á otros muchos usos, aunque con distintos nombres, como los de máquinas neumáticas, máquinas de vapor, bombas de inyección, etc.

5.ª *La máquina neumática* es un sistema de una ó más bombas, que sirve para extraer el aire ó cualquier gas de recipientes dados, á fin de enrarecer aquél y hacer el vacío más ó menos aproximado, aunque nunca perfecto.

Su invención es debida, como la del barómetro, al mismo Otto de Guericke, que la ideó, aunque muy imperfecta, en 1654; si bien fué Roberto Roile el primero que la perfeccionó.

6.ª *La máquina neumática* ha sido uno de los aparatos que más modificaciones han sufrido desde su invención, á fin de su mayor perfeccionamiento; y aun cuando esto mismo se decía ya en 1787, desde entonces no se ha dejado de modificarla y perfeccionarla más y más: por esta razón no es posible decir en realidad cuál es la que más generalmente se usa hoy en los gabinetes; pues si bien es verdad que la usada en la mayoría de ellos es aún la de dos cuerpos de bomba, con el doble agotamiento ó sin él, también lo es que la puede haber de movimiento de rotación con dos cuerpos de bomba, como la de M. Bretón y hermanos, ó con uno solo de doble efecto, como la de M. Bianchi, y la de mercurio.

Su descripción y pormenores son tan varios que imposibilitan el ocuparse de ellos, como en casos semejantes de otros aparatos en otras lecciones, y por lo mismo hay que prescindir de los mismos en éstas tan elementales, pues á no ser de un modo completo, escusado es fijarse en un aparato determinado si es de diferente modelo del que se dispone y se pueda presentar á los alumnos.

7.ª *Cualquiera* que sea la clase de máquina neumática que se emplee para hacer el vacío, su juego es como sigue: el aire ó gas del recipiente sale de éste de un modo continuo, como sucede con las ordinarias de dos cuerpos de bomba, dirigiéndose al vacío que resulta bajo del uno ó del otro de los dos émbolos en su movimiento alternativo, para ser lanzado fuera de aquel espacio al ser comprimido, cuando desciende cada cual de aquéllos y se abre su respectiva válvula.

8.ª *No es posible* obtener un vacío perfecto ni aun con la mejor máquina neumática, por más de una causa que se opone á ello, pues por el juego de los pistones y válvulas, retrocede siempre al recipiente una parte del aire salido al cuerpo de bomba, mientras se cierra la válvula correspondiente al fondo; y porque guardando los espacios del recipiente y cuerpo de bomba una razón constante, los restos del aire en el primero disminuyen en progresión geométrica decreciente, que no puede conducir á un último término que sea cero. Al decir que se hace el vacío, no se debe entender que esto se efectúa de un modo absoluto,

sino que se enrarece más y más el aire, de suerte que su tensión llega á ser casi nula y su efecto despreciable en la mayor parte de los casos; equivaliendo tal enrarecimiento como á un verdadero vacío.

9.ª *Aunque* no es posible notar á simple vista si se enrarece ó no el aire de los recipientes al hacer uso de la máquina neumática, se ha ideado un medio tan sencillo como ingenioso, que no sólo advierte si aquél se enrarece ó no, tanto en los recipientes trasparentes como en los opacos, sino que da la medida de la rarefacción ó fuerza de presión que va quedando al aire ó gas interior.

10. *La medida* del enrarecimiento del aire se consigue con el uso de la probeta, pequeño aparato llamado por algunos barómetro truncado, que forma parte de la máquina neumática y sirve para indicar si se enrarece el aire ó no cuando se hace uso de aquélla, y el mayor ó menor grado de enrarecimiento que se consigue.

11. *Lo esencial* de la probeta se reduce á un tubo encorvado de brazos iguales, de dos decimetros de longitud y dos ó tres milímetros de diámetro interior, cerrado por el extremo de uno de ellos y abierto por el otro; lleno de mercurio el brazo cerrado, en que se sostiene el líquido sin descender, por ser su altura muchísimo menor que la barométrica, y aplicado el todo sobre una planchuela metálica en que van dos escalas, en milímetros, para señalar la diferencia de altura del mercurio en ambos brazos cuando se enrarece el aire.

12. *La disposición* y colocación de la probeta en la máquina neumática es la siguiente: la planchuela sobre que lleva el barómetro truncado y escalas, está apoyada sobre un pié circular metálico; éste se atornilla al tubo ó conducto de comunicación entre el recipiente y los cuerpos de bomba, de modo que, por el correspondiente orificio, dicho cuerpo queda también en comunicación con el espacio hueco y limitado resultante bajo una campanita ó probeta, que, atornillada al disco, sustentáculo de la planchuela, por su base abierta, recubre y aisla perfectamente del aire exterior el tubo ó barómetro truncado.

13. *Se conoce* el enrarecimiento del aire en los recipientes

en que se hace el vacío con la máquina neumática, por la diferencia de alturas que presenta el mercurio, descendiendo en el brazo cerrado del barómetro truncado y subiendo en el abierto.

Esto es así, porque estando la probeta en comunicación con el recipiente, á medida que se enrarece en éste el aire, se enrarece á la vez en aquélla, y cuando la presión llega á ser menor que la de los doscientos milímetros de mercurio, que próximamente contiene el brazo cerrado, el líquido desciende en éste más y más, subiendo en el abierto.

De esta manera, si se llegase á obtener el vacío perfeccto, el mercurio quedaría á igual altura en ambos brazos (XXX—16); pero no llegándose nunca á tal caso, siempre quedará en el tubo cerrado un exceso de altura debido á la presión del aire enrarecido, por pequeña que ella sea.

14. *Que una máquina neumática* hace el vacio á menos de uno, dos, tres,... milímetros, quiere decir que la diferencia de las alturas del mercurio en los brazos del barómetro truncado, es ya menor que dicho número de milímetros, y por consiguiente que se ha llegado á enrarecer el aire de tal suerte, que su fuerza no alcanza á sostener los tantos milímetros de columna mercurial.

II.

15. *Se da el nombre* de máquina contra-neumática á otro aparato semejante á la neumática, que, por su disposición, en vez de hacer el vacío en los recipientes, sirve para encerrar gases en los mismos en tanta cantidad como se quiera, dentro de los límites de resistencia de las paredes de aquéllos.

16. *Está dispuesta* como la neumática, con la sola diferencia de que el juego de las válvulas en los pistones y cuerpos de bomba se verifica en orden inverso; con lo que en vez de salir el gas que puede haber en un recipiente, entra el que se quiere encerrar, y en vez de enrarecerse, se comprime, aumentando más y más su tensión de modo que pudiera llegar á estallar el recipiente; mas para evitar los accidentes que esto pudiera ocasionar, se recubre aquél con una rejilla metálica fuerte y bien asegurada á la platina del aparato.

17. *La máquina contra-neumática* se emplea principalmente

para inyectar gases en recipientes vacíos ó con líquidos, pero en realidad su empleo no es muy general, usándose en vez de ella más bien la bomba de inyección ó pistón impelente, como sucede al comprimir el aire en la fuente de compresión, en la escopeta de viento y otros casos.

18. *El pistón impelente* se compone de un cuerpo de bomba metálico con un pistón macizo en su interior, llevando en su base una boquilla ó virola que se atornilla á la del recipiente en que se quiere inyectar el gas; en el fondo de dicho cuerpo de bomba hay una válvula, que se abre de dentro de él á fuera por la fuerza de presión resultante en el gas que se trata de introducir, al ser comprimido por el descenso y empuje del pistón macizo, la cual se abre venciendo la fuerza elástica del gas y la de un resorte metálico en espiral, destinado á cerrarla cuando retrocede el indicado émbolo; el gas que se inyecta entra de la atmósfera, ó depósito en que se tiene, al vacío que en el cuerpo de bomba deja bajo de sí el émbolo al subir y su entrada se efectúa por un orificio situado cerca de la base superior del cuerpo de bomba, que resulta abierto al llegar dicho émbolo al fin de su curso, ó por una válvula dispuesta convenientemente cerca del fondo del cuerpo de bomba.

19. *La fuente de compresión* es uno de los muchos y variados aparatos fundados en la presión del aire y fuerza elástica resultante en los gases por su compresión ó enrarecimiento.

Consiste en un recipiente metálico, de paredes resistentes, con un orificio en la parte superior, por donde entra y se atornilla un tubo de hierro, que llega cerca del fondo y termina en su parte exterior en una boquilla de latón, la cual lleva su orificio y llave para abrir y cerrar la comunicación del interior con el exterior. Se carga llenando de agua dos tercios de su capacidad, con lo que resulta el superior lleno de aire y éste encerrado entre el nivel del líquido y la base superior del recipiente; se le atornilla el pistón impelente, estando abierta la llave, é inyectando aire, el que se hallaba en el tercio superior, aumentado con el que se inyecta, adquiere una gran tensión; se cierra dicha llave, se quita el antedicho pistón y se atornilla otra boquilla con uno ó más orificios, según el juego de agua que se quiera obtener. En tal

estado, si se abre la llave, resulta un saltador de tanta mayor altura, cuanto más comprimido esté el aire interior; pues comprimiendo éste fuertemente al líquido de arrriba abajo y trasmitiéndose la presión en todos sentidos, lo impele de abajo arriba, haciéndole subir por el tubo y elevándolo á la altura correspondiente á la diferencia entre la presión interior y la exterior de la atmósfera, hasta que disminuyendo sucesivamente la primera, ésta queda igual á la segunda y cesa la salida.

20. *El aumento de tensión* ó fuerza elástica que adquieren los gases comprimidos á más de una atmósfera, se mide por el aparato denominado manómetro, que, puesto en comunicación con los depósitos de gases ó vapores, sirve para indicar la tensión de éstos á cada instante. Los manómetros pueden ser de dos clases: de aire y metálicos.

21. *Manómetros* de aire son aquellos en que las indicaciones son debidas á la diferencia de presiones entre la del gas ó vapor comprimido y la atmosférica; cuyas presiones se trasmiten mútuamente por el intermedio de una columna de mercurio ó de agua encerrada en un tubo encorvado de vidrio.

22. *Los metálicos* ó de Bourdon son mecanismos semejantes á los barómetros de igual nombre en que el gas ó vapor comunica con un tubo metálico flexible y elastico.

23. *Los de aire* pueden ser á su vez de dos clases diferentes: de aire comprimido y de aire libre.

24. *Los de aire comprimido* están formados por un tubo encorvado, uno de cuyos brazos está cerrado y el otro abierto, puesto éste convenientemente en comunicación con el depósito de gas ó vapor.

Dicho tubo va fijo á una planchuela de latón ó madera con su correspondiente escala, y viene á ser una aplicación del tubo de Mariotte. Dicha escala indica las atmósferas en que el gas ó vapor excede á la atmosférica de $0^{m}.76$. Se usa poniendo mercurio en el tubo, para cortar la comunicación entre el brazo cerrado y el abierto, dejando cerrado en el primero un volumen de aire á la presión ordinaria y en comunicación el extremo abierto con el depósito. En este estado, el gas á mayor tensión que la del aire del brazo cerrado, vence y mueve hacia éste la columna mercurial y

disminuye el volumen del aire que contiene, en la misma forma y según la ley que en el citado tubo de Mariotte.

25. *Los de aire libre* son tubos de brazos comunicantes, uno más largo que el otro, abiertos por ambos extremos y colocados sobre la planchuela ó tablilla que lleva la escala, los cuales van llenos de mercurio hasta igual altura en ambos brazos, en comunicación el uno con el aire y el otro con el depósito de gas. Si la presión de éste es menor de una atmósfera, se puede usar del agua, y en todo caso, mientras el gas del depósito tenga igual tensión que la presión atmosférica, las columnas líquidas permanecerán iguales; mas cuando la del gas aumente, hará descender la columna que comprime, y, en su consecuencia, elevará la del brazo que está en comunicación con la atmósfera, resultando una diferencia de alturas, que medirá en milímetros y en la escala indicada, el exceso de tensión del gas en el depósito sobre la presión atmosférica.

26. *Los manómetros* metálicos de Bourdon están dispuestos del modo siguiente: en una caja de hierro, de figura elíptica por lo general, se coloca un tubo metálico, de paredes flexibles y elásticas, arrollado convenientemente y en comunicación por un extremo con el depósito de gas ó vapor; por el otro, que está cerrado, va unido á un mecanismo para mover una aguja sobre un arco, cuya graduación representa unidades de fuerza iguales á la presión atmosférica. Cuando la tensión del gas aumenta, tiende á ensanchar las paredes del tubo y éste á desarrollarse, con lo que se mueve la aguja á la derecha; mas cuando disminuye, sucede lo contrario y gira á la izquierda.

LECCIÓN LXII.

Bombas hidráulicas.—Sifones y pipetas.

1.ª *Bombas hidráulicas* ó de elevar agua son las dispuestas para elevar cualquier líquido, principalmente el agua, desde un depósito inferior á otro mucho más elevado, ó para trasladarlos de uno á otro de pequeña diferencia de nivel.

2. *Las bombas hidráulicas*, prescindiendo de sus variados usos, si bien se suelen dividir en aspirantes, impelentes y mixtas, se

pueden clasificar más ordenada y completamente dividiéndolas en bombas con tubo de aspiración unas, *aspirantes*, y sin él otras, *ó no aspirantes*, subdividiendo las primeras en *bombas aspirantes elevatorias* y *aspirantes impelentes*, y las segundas en *elevatorias* y en *impelentes* simplemente ó sin aspiración.

3.ª *Las bombas aspirantes* están dispuestas del modo siguiente. De la base del cuerpo de bomba, tanto en las elevatorias, como en las impelentes, parte un tubo llamado *de aspiración*, de menor sección que la de aquél, que llega hasta cerca del fondo del depósito; en dicha base hay una válvula que, abriéndose de fuera á dentro, establece la comunicación entre el cuerpo de bomba y su tubo de aspiración; y si son elevatorias, va otra válvula en el interior del émbolo, que juega en el mismo sentido que la del cuerpo de bomba, llevando éste unido á su pared lateral y cerca de su base opuesta á la de que parte el tubo de aspiración, otro para dar salida al líquido ó conducirlo á mayor elevación: válvula y tubo que en las aspirantes impelentes se halla en la pared lateral y cerca de la base de que parte el antedicho tubo de aspiración, en cuyo caso el pistón es macizo.

4.ª *En las impelentes* todo es lo mismo que en las aspirantes: excepto el no llevar tubo de aspiración y entrar la base del cuerpo de bomba bajo el nivel del líquido. Algunas veces, para evitar los inconvenientes de que el cuerpo de bomba entre en el líquido, se le pone en comunicación con éste por un corto tubo. Su modo de obrar es el mismo que en las aspirantes, con la sola diferencia de que siendo el pistón macizo al bajar y comprimir al líquido, éste trasmite su presión á la válvula del tubo de desagüe ó de elevación, y abierta sale el líquido.

5.ª *En las bombas elevatorias* debe haber una válvula, que se abra de dentro á fuera, en el orificio por donde pasa el líquido al tubo de elevación ó de desagüe, á fin de impedir que el agua salida del cuerpo de bomba vuelva á él al retroceder el émbolo.

6.ª *En las bombas* elevatorias lo mismo que en las impelentes, el vástago ó astil se mueve alternativamente de una á otra de las bases del cuerpo de bomba por medio de la correspondiente palanca, enlazada á él por uno de sus extremos, aplicando al otro la potencia, que en la generalidad de los casos es la mano del hom-

bre, si bien en muchos puede recibirla de una máquina de vapor, y aun de algún otro modo.

7.ª *El juego de las válvulas*, cuando son elevatorias, se efectúa en la forma siguiente: antes de empezar el movimiento del émbolo, el aire contenido bajo aquél en el cuerpo de bomba y en el tubo de aspiración, si son aspirantes, hallándose con igual tensión que el exterior, comprime al líquido, sobre quien insiste, con igual fuerza y en el mismo orden, de arriba abajo, que lo ejecuta por fuera la columna atmosférica, y trasmitidas mútuamente ambas presiones en sentidos opuestos, se destruyen; quedando por tanto á igual altura los niveles del líquido en el depósito y en el interior del tubo de aspiración: extraída de éste parte de su aire, á cada movimiento del pistón se enrarece el restante y disminuye de tensión, hasta que predomina la presión exterior y empieza á elevarse el agua en el interior de dicho tubo; lo que repetido un número mayor ó menor de veces, hace que salga todo el aire y que, alcanzando el agua la altura de la válvula del cuerpo de bomba, penetre en éste. En tal estado, cuando el émbolo desciende, comprime al agua que, con su presión de arriba abajo, cierra la válvula del cuerpo de bomba, y con la trasmitida de abajo arriba abre la del pistón, se precipita sobre él y llena una parte más ó menos grande de la capacidad restante del cuerpo de bomba sobre la ocupada por el mismo pistón. Repetido esto una ó más veces, con los movimientos ó golpes posteriores de émbolo se concluye de llenar el cuerpo de bomba y en los sucesivos se derrama ó eleva al recipiente, donde se dirige el líquido, un volumen de éste igual al comprendido entre la base superior del pistón, cuando se halla en la parte inferior de su curso, y la sección del cuerpo de bomba sobre que se halla el orificio y tubo de salida, derrame ó elevación del líquido.

8.ª *El trabajo* ó efecto de las bombas aspirantes se puede considerar dividido en dos partes, que son: 1.ª la ascensión del agua en el tubo de aspiración, hasta colocarse sobre la base superior del pistón; y 2.ª la elevación del mismo líquido por dicho pistón cada vez que sube éste, cuya válvula, cerrada por la presión del agua de arriba abajo, impide su retroceso ó escape al cuerpo de bomba.

9.ª *La elevación* del líquido en el tubo de aspiración es pro-

ducida por la sola presión atmosférica, independientemente del efecto de la potencia que mueve al pistón; y la del líquido, hasta la altura á que haya de ser trasportado á impulso del émbolo desde el cuerpo de bomba, se efectúa á espensas de la potencia que se emplea.

10. *La longitud* del tubo de apiración no puede ser igual en todos los pueblos, sino que es necesario calcularla para cada cual de ellos, con arreglo á su presión barométrica media y á la densidad del líquido; por lo que en las de agua se determinará multiplicando por 13,6 el número de milímetros de la presión, toda vez que el agua es 13,6 menos pesada que el mercurio.

Por esta razón, aunque se pudiera creer posible el dar á dicho tubo, al nivel del mar, 36,2 piés castellanos, como el agua no es pura, la presión no es siempre la máxima y las bombas, por perfectas que sean, nunca alcanzan la exactitud matemática que supone su teoría, resulta que la longitud de dicho tubo podría ser á lo más de 28 á 32 piés, y en Granada y Madrid, cuyas presiones medias son casi iguales, de 26 á 30: así es que, debiendo ser dicha longitud muy variable, é imposible fijarle un verdadero término medio, sólo se debe decir que en general podrá ser de 22 á 28 piés.

11. *La longitud* del tubo de aspiración de las bombas aspirantes es diferente de unos puntos á otros de la tierra, porque siendo la presión atmosférica la que sostiene la columna líquida que en aquél se eleva, ésta, como la columna barométrica, variará según la referida presión en dichos puntos; y, por lo mismo, como la presión que en uno podría elevar una columna líquida que excediese la altura de la válvula del cuerpo de bomba, en otro, por ser menor, pudiera suceder que dicha columna no alcanzase á aquella altura, claro es que en este caso tendría que dársele menor longitud.

12. *La altura* á que puede subir el agua, una vez entrada en el cuerpo de bomba sobre la base superior del pistón en las elevatorias, ó en el tubo de derrame en las impelentes, no tiene en realidad más límites que los de la resistencia de las paredes del aparato y los de la potencia que pueda emplearse; pues aunque se acostumbra decir que en las bombas aspirantes no puede subir el agua á mayor altura que la de 22 ó 24 á 28 piés, esto se entiende por término medio y sólo se refiere al tubo de aspiración,

pero no al cuerpo de bomba y tubo de elevación ó derrame, en que siendo producido todo el trabajo por la potencia, cuanto mayor sea ésta, mayor será la altura de elevación, y viceversa.

13. *Cuando la disposición* de la bomba es de las impelentes ó de pistón macizo y se desea elevar el agua entrada en el cuerpo de bomba á otra altura, se consigue esta ventaja combinando con el tubo de elevación un depósito de aire; pues comprimido éste por el agua que entra en aquél, obra como en la fuente de compresión, y con su fuerza elástica produce el ascenso del líquido.

14. *Las bombas de incendios*, una de tantas aplicaciones de las bombas, como su nombre lo indica, son las que se usan para la extinción de aquéllos. Se disponen enlazando dos bombas impelentes, cuyos tubos de salida comunican con un tercero en combinación con el correspondiente depósito de aire; cuyo todo va colocado sobre una especie de arca, en forma de carro para su trasporte, que llena de agua hace de depósito. Éste se llena con el agua que acarrean los operarios, si no es posible elevarla con las mismas bombas de algún depósito inmediato, utilizando el tubo de aspiración que puede adaptárseles.

Juegan semejantemente que las máquinas neumáticas de dos cuerpos de bombas, y elevan el agua por un tubo largo y flexible, que se añade al de salida, llamado manga; la cual, manejada desde abajo ó elevada á puntos altos, lanza el líquido sobre las materias incendiadas, con tanta más abundancia y fuerza según el motor que se emplea, que es hoy el vapor en todos los casos en que se necesita y desea grande efecto.

15. *Sifones* son unos tubos encorvados de vidrio, goma ó metal, cuyas ramas ó brazos son generalmente desiguales, y que sirven para extraer ó trasvasar líquidos sin removerlos y sin necesidad de abrir orificios en el fondo ó paredes del depósito, siempre que el extremo de la rama por donde salga el líquido, quede inferior á la altura del nivel del depósito donde esté sumergida la otra.

16. *El modo de manejarlos es el siguiente:* se introduce el extremo de la rama corta, ó de una cualquiera de las dos si son iguales, hasta cerca del fondo ó de la capa liquida que convenga: con lo que la distancia del nivel al plano horizontal que pase por el vértice ó punto más alto de la curvatura del sifón, será siempre

menor que la existente entre este plano y el orificio de la rama larga; se extrae el aire de su interior haciendo una succión por el orificio del extremo de la rama larga, ó llenándolo préviamente de líquido; éste sube en la corta como en el tubo de aspiración de una bomba; gana la curvatura del sifón, si la altura de dicha rama no excede el límite de la del antedicho tubo, y desciende por la rama larga, para continuar saliendo, aunque baje el nivel, mientras el orificio ó extremo de la corta no se descubra.

17. *Las ramas del sifón* ó, mejor, las columnas líquidas contenidas en aquéllas, han de resultar desiguales para que el líquido pueda correr por el mismo, porque si fueran iguales, la diferencia de las columnas líquidas contenidas en aquéllas sería cero, y lo mismo la fuerza que produce la elevación y curso del líquido en el aparato; toda vez que se calcula equivalente al peso de una columna líquida de igual altura que aquella diferencia.

La elevación y curso de los líquidos en los sifones se explica fácilmente construyendo la correspondiente figura y analizando el juego de presiones entre la de la atmósfera sobre el nivel del líquido en el depósito y orificio de la rama larga, y las que oponen las columnas líquidas de ambas ramas. — Para esto representemos por P la presión de la atmósfera, por a la que ejerce la columna líquida de la rama corta y por $A=a+a'$ la ejercida por la de la rama larga. En la corta resultará una fuerza libre de abajo arriba $P-a$, y en la larga otra en igual orden $P-A=P-(a+a')=P-a-a'$, hecha la sustitución de $a+a'$ en vez de su igual A y verificada la sustracción indicada; pero éstas resultantes, tendiendo la primera á mover y llevar el líquido de la rama corta á la larga, y viceversa la segunda, serán opuestas, y la resultante final producida por las mismas igual á su diferencia; la que obrará en el sentido de la primera, que es la mayor por ser $a < A$, y su valor será $P-a-(P-a-a')=P-a-P+a+a'=a'$; luego el líquido será impulsado á pasar de la rama corta á la larga, y continuar su marcha en este sentido por una fuerza a', equivalente á la presión de una columna líquida de altura igual á la diferencia entre las de ambas ramas, ó sea á la distancia entre el nivel del líquido en el depósito y el plano horizontal que pase por el orificio de la rama larga.

18. *Si el sifón* tuviese los dos brazos iguales, no por esto dejaría de servir, toda vez que introducido el extremo del uno bajo el nivel, la parte restante sobre éste sería menor que el otro.

19. *Para hacer más fácilmente* la succión y evitar la entrada del líquido en la boca del operador al verificar aquélla, especial-

mente si se trata de líquidos nocivos, se suele añadir una tercera rama, uniendo un tubo que, comunicándose con la más larga cerca de su extremo, se dirige de esta parte hacia la curvatura.

20. *La pipeta ó catalicores*, llamada también bomba de tonelero ó tabernero, es un tubo recto ó curvo, con uno ó más ensanches esféricos ó cilíndricos en su parte media, adelgazado por un extremo, y terminado en el otro con una boquilla ó reborde á propósito para cerrar su orificio con el dedo. Sirve para sacar del líquido colocado en capas ó alturas determinadas de un depósito.

21. *La pipeta* se usa del modo siguiente: se tapa con el dedo índice ó pulgar el orificio de la boquilla, y se introduce en el depósito hasta que el extremo inferior llegue á la capa de cuyo líquido se quiera tomar; se destapa el orificio cerrado, levantando el dedo, y se verá entrar el líquido hasta igualar el nivel interior con el exterior, si antes no se vuelve á tapar el orificio superior. Introducida en la pipeta la cantidad de líquido que convenga, se vuelve á tapar su orificio superior y se saca fuera del depósito, en cuya disposición se conserva el líquido sin salir, hasta que quitando el dedo, se abre el orificio y el líquido cae.

22. *La salida del líquido* de las pipetas, cuando se quita el dedo ó destapa el orificio superior, consiste en que penetrando el aire por uno y otro orificio, la presión de la atmósfera se trasmite al través del líquido en sentidos opuestos; la de abajo arriba se destruye con la de arriba abajo, y el líquido, como en todo vaso abierto, sale en virtud de su presión. Cuando se tapa el orificio superior, no sale por el otro, á no ser que el tubo fuese de una gran longitud, por ejemplo un metro, tratándose del mercurio, porque siendo mayor la presión de abajo arriba sobre el líquido que la que éste produce de arriba abajo, ésta es destruida por aquélla y el resto impide la salida.

Se suprime todo lo relativo á prensa y ariete hidráulicos, fuentes milagrosas ó intermitentes, jarros, botellas y embudos mágicos, como haremos con algunos otros aparatos y explicaciones, por no corresponder en realidad á estas lecciones tan elementales, ni aun á la Física superior ó ampliada, y sí á la Mecánica y Física aplicada ó recreativa; pues por curiosos ó interesantes que sean, no es posible ocuparse de su estudio, porque, de hacerlo, sobre resultar demasiado extenso el texto, sería insuficiente el tiempo tan necesario para teorías más fundamen-

tales é interesantes. Tiempo que, aun así y todo, á la amplitud mayor que cada día adquiere la Física y la Química, siempre quedará muy escaso, mientras no se divida la asignatura, objeto de estas lecciones, en las dos de Física y de Química enteramente independientes, como sus catedráticos, gabinetes, laboratorios y servicio correspondiente.

Á no ser de este modo, si se atiende á las dos por igual, no es posible una enseñanza regular de ninguna de ellas; y si se da preferencia á la una sobre la otra, ésta quedará casi anulada.

AEREODINÁMICA.

LECCIÓN XLIII.

I. Movimiento de los gases.—Su salida por orificios.—Su gasto.—II. Gasómetros.—Globos aereostáticos.

I.

1.ª *Para que un gas* encerrado en un vaso pueda salir por un orificio existente en cualquiera parte de sus paredes, es preciso que la presión que ejerza de dentro á fuera, sea mayor que la opuesta en el orificio, de fuera á dentro, por el aire ó cualquier otro gas existente en el recinto ó nuevo depósito á que el gas del primer vaso haya de dirigirse: en caso inverso, el gas exterior comprimirá al del recinto interior y penetrará en éste; mas si ambas presiones resultasen iguales, se destruirán, y el gas interior no podrá salir ni el exterior entrar.

La salida de los gases ofrece iguales problemas que la de los líquidos, excepto el de su conducción por tubos abiertos, imposible por su naturaleza gaseosa.

El gasto se calcula de la misma manera que el de los líquidos, si bien la velocidad que entra en la fórmula no depende simplemente de la altura de nivel sobre el orificio.

2.ª *La presión ó tensión* de un gas cualquiera en el interior y contra las paredes inextensibles de los vasos que lo contienen, á igualdad de temperatura depende de su densidad, no de su volumen ó altura, y en igualdad de densidad, de la temperatura. Si el depósito de gas estuviese en comunicación con otro de gas ó líquido, ó sus paredes fuesen flexibles y pudiesen trasmitir las

presiones recibidas del exterior, engendradas por gases, líquidos ó sólidos, que en contacto con ellas las comprimiesen, la presión interior del gas no sólo dependerá de la temperatura, sino que también de aquella compresión.

3.ª *La velocidad* de la salida de un gas por un orificio, bien salga á la atmósfera, á otro depósito de gas ó al vacío, depende de la diferencia entre las presiones resultantes en el orificio, de dentro á fuera y de fuera á dentro; siendo ésta última cero en el caso de salir al vacío.

4.ª *El estudio* de la salida de los gases, cuyos pormenores son impropios de lecciones elementales, se puede considerar con relación á su presión interior de dos modos: permaneciendo ésta constante ó variable. Con relación á la presión exterior se pueden considerar tres casos: que el gas vaya á la atmósfera, á otro depósito de gas ó al vacío.

5.ª *Para que la velocidad* sea constante, es necesario que la diferencia de presiones en el orificio resulte también constante, cualesquiera que puedan ser las variaciones de ella en el interior, en el exterior ó por ambas partes; mas si dicha diferencia varía, la velocidad de salida será variable.

6.ª *Si la presión* interior de un gas, ó de dentro á fuera, no es constante, por disminuir á medida que, vaciándose el depósito, se dilata aquél y disminuye de densidad, su velocidad siempre disminuirá; pero de muy distinto modo, según se dirija libremente desde dicho depósito á la atmósfera, á otro deposito de gas ó al vacío.

En el primer caso, la cantidad de gas salida se puede considerar infinitamente pequeña con relación á la atmósfera y, por consiguiente, que no altera á ésta el valor de su presión, por lo que la velocidad sólo decrecerá por la disminución de la presión interior, y dependerá siempre la diferencia entre la presión interior variable y la constante de la atmósfera.

En el segundo caso, á medida que sale el gas del depósito, disminuye su presión de dentro á fuera, y la cantidad salida al entrar en el segundo depósito comprime al contenido en éste, le aumenta su presión anterior y por consiguiente la de fuera á dentro sobre el del primero; de modo que la diferencia de las dos

presiones decrece por dos causas, por la disminución de la presión interior en el primer depósito de dentro á fuera, que obra como minuendo, y por el aumento de la opuesta, de fuera á dentro, procedente del segundo depósito, que obra como sustraendo; por cuya razón el decremento de velocidad será mucho más rápido que en el primer caso.

En el tercero, considerando un primer instante, la presión de fuera á dentro procedente del vacío será cero, y la velocidad sólo resultará dependiente de la presión interior en el depósito; pero una vez entrada la más pequeña cantidad de gas en el depósito vacío, deja ya de estarlo, el gas que entra va aumentando de fuerza de presión y queda reducido este caso al anterior.

7.ª *La salida* de los gases produce también una reacción como la de los líquidos, la cual es demostrable con un molinete semejante al hidráulico, en disposición de inyectarle aire ú otro gas en vez de agua.

8.ª El retroceso de las armas de fuego, la ascensión de los cohetes y los movimientos giratorios de los fuegos artificiales no son otra cosa sino la reacción de salida del gas engendrado en el disparo, al inflamarse la pólvora.

9.ª *En la salida* de los gases por los orificios se verifica también la contracción de la vena como en la salida de los líquidos, lo que se hace perceptible con gases coloreados ó mezclando humo con el gas del depósito.

El coeficiente de contracción viene á ser el mismo que en los líquidos, resultando el gasto práctico, unas 0,625 del teórico.

10. *Aunque* se suele decir que el teorema de Torricelli se verifica en la salida de los gases lo mismo que en la de los líquidos, lo que se ha de entender es, que la fórmula $\sqrt{2gh}$, por cuyo medio se calcula la velocidad de salida de los líquidos, es aplicable á la de los gases, pero es considerando que en dicha fórmula h no representa la altura de nivel en el depósito, sino la de una columna líquida de presión equivalente á la diferencia de las existentes sobre orificio, de dentro á fuera y de fuera á dentro.

11. *La salida* de un gas con velocidad constante se puede obtener de varias maneras; pues sostenido á igual temperatura, si entra en el depósito tanto gas como sale por el orificio en igual

tiempo, conservará la misma densidad é igual presión interior, y yendo á la atmósfera ó depósito en que la tensión sea también constante, la diferencia de presiones permanecerá invariable y, por consiguiente, la velocidad resultará constante.

Los modos de obtener ésta se reducen á disponer mecanismos de manera que entrando en el depósito volúmenes constantes de líquido, hagan salir en igual tiempo volúmenes equivalentes de gas; lo que se puede conseguir, ya utilizando la salida constante de un líquido, como la del frasco de Mariotte, ó cargando pesos que, obrando convenientemente y comprimiendo al gas restante en el depósito, lo reduzcan siempre al primitivo espacio correspondiente, para que, conservando igual la densidad, resulte constante su velocidad de salida.

12. *Gasómetros* son depósitos de gas, grandes ó pequeños, con mecanismos á propósito para hacer salir al exterior ó á otro depósito, de una manera continua y generalmente con velocidad constante, los gases que encierran. Su disposición puede variar por su magnitud, forma y mecanismo; y aunque antes de la invención del alumbrado de gas su uso estaba casi limitado á los laboratorios, hoy se pueden considerar de tres clases principales: los de laboratorio, los portátiles y los de las fábricas de gas para el alumbrado público.

13. *Los gasómetros* más sencillos, los de laboratorio, son vejigas con boquilla, llave y pico ó tubo de salida, la cual se obtiene constante por medio de un contrapeso, que pende de aquéllas ó que se apoya sobre las mismas; y otros que se reducen á recibir en el depósito del gas una cantidad constante de líquido. Los portátiles son vasos resistentes de pequeña magnitud, en los cuales se puede encerrar y condensar volúmenes más ó menos considerables de gas, para ser trasportados de unos puntos á otros, donde se haya de emplear aquél.

14. *Los gasómetros* de las fábricas del gas del alumbrado consisten en una campana cilíndrica de dimensiones más ó menos grandes, cuyo diámentro llega algunas vececes á 30 metros, construida de láminas de palastro, claveteadas y embreadas; la cual se introduce con la base abierta hacia abajo en una gran cuba de de la misma materia, ó construida de mampostería en el suelo. Los pormenores acerca de estos gasómetros y de todo lo referente al alumbrado de gas, preparación, manejo y conducción de éste,

disposición de las correspondientes fábricas y su material constituyen un extenso ramo de aplicación, tanto de Física como de Química y Mecánica.

II.

15. *Globos aerostáticos, aeróstatos*, son cuerpos huecos de forma esférica próximamente, ó de otras redondeadas, cuyas paredes son muy ligeras, pero resistentes, y que llenos de humo, aire caliente ó cualquier otro gas menos denso, ó más ligero que el aire, se elevan en éste á grandes alturas. Se dividen en dos clases, que son: mongolfieras y globos aerostáticos propiamente dichos.

16. *Mongolfieras* son globos aerostáticos hechos generalmente de papel, que se llenan de humo y aire caliente.

Su invención se debe á los hermanos Estéban y José Montgolfier, que, después de pequeños ensayos, hicieron uno completo en Avignon, por Diciembre de 1782, con un globo de tela de 13 metros de diámetro y forrado interiormente de papel; repitiéndolo públicamente en Annonay el 5 de Junio de 1783.

17. *Aeróstatos* son globos aerostáticos que se construyen de tela barnizada y se llenan con gas hidrógeno, y aun con el gas del alumbrado, que si no tan ligero como aquél, siempre lo es más que el aire.

18. *Los mongolfieras* se elevan llenándolos del modo siguiente: se quema paja, virutas de carpintero, papel ó cualquier otro cuerpo que dé humo, para que al entrar éste por la manga ó boca del globo, se mezcle con el aire interior, á quien calienta y dilata, formándose una masa gaseosa heterogénea, pero más ligera que el aire: operación que se abrevia echando alcohol ó petróleo sobre la paja.

Para que, lleno el globo y libre de las ligaduras con que se sostiene al llenarlo, pueda elevarse más y más, se suspende de su abertura un cestillo de hilo de alambre delgado, que pese poco, con materias ligeras y combustibles, que van quemándose y dando humo; pues penetrando éste en el interior, sostiene caliente y más ligera que el aire la masa gaseosa contenida. Cuando se apaga el fuego del canastillo, el gas interior del globo se enfría y se hace más denso; el todo del aparato resulta más pesado que el aire, y el globo desciende con más ó menos rapidez, dependiente de la velocidad del enfriamiento y estado de densidad, equilibrio ó movimiento de la atmósfera.

19. *Los globos aerostáticos* hechos de tela barnizada, ó de binza de tripa ó vejiga, como los de los gabinetes, y aun los pequeñitos de goma elástica, como juguete, se llenan de gas hidrógeno preparado en pequeño ó en grande, según enseña la Química; si bien donde hay fábrica de gas para el alumbrado, se aprovecha esta clase de gas, resultando la operación de llenarlos más fácil y económica.

20. *La elevación* de todo globo aerostático es consecuencia del principio de Arquímedes; pues lleno el globo de un gas más ligero que el aire, el peso del todo resultan menor que el del volumen de aire desalojado, y el exceso de este peso sobre aquél da una fuerza ascensional que lo eleva, como sucede con el corcho en el agua.

21. *El modo* más ventajoso de elevar los globos es el de llenarlos con el hidrógeno; porque siendo éste el más ligero de los gases, se obtiene la mayor diferencia posible entre el peso del volumen de aire desalojado y el del globo con el gas interior, y en su consecuencia la mayor fuerza ascensional.

22. *Los globos* no se deben llenar por completo, porque si no, al llegar á capas superiores de la atmósfera, donde el aire tiene menor fuerza de presión que en las inferiores, el gas encerrado en el globo se dilataría y podría hacerlo estallar.

Además, no estando completamente lleno, al llegar á las capas superiores y dilatarse el gas de su interior, aumentará el volumen del globo y el del aire desalojado; en cuya consecuencia la fuerza ascensional crecerá, compensando así la disminución que le corresponde á medida que la altura es mayor. En efecto, disminuyendo la densidad del aire, si su volumen permaneciese constante, el peso del volumen desalojado disminuiría y llegaría á quedar igual con el del globo; con lo que la fuerza ascensional, diferencia de aquellos pesos iguales, quedaría nula y el globo quieto en la capa correspondiente de la atmósfera; prescindiendo del movimiento que pudieran comunicarle las corrientes aéreas.

23. *Los globos* en que suben personas llevan una válvula, que se abre tirando de un cordón desde la barquilla que de ellos va suspendida, para que, escapando hidrógeno, disminuya el volumen del globo y el del aire desalojado, y á causa de esto la fuerza

ascensional, á fin de que suba más lentamente ó que descienda.

24. *En las ascensiones aerostáticas*, tan repetidas hoy hasta por personas del sexo femenino, se llevan saquillos de arena para cuando, agotada la fuerza ascensional del globo, se quiera que éste se eleve más; pues en tal caso, derramando más ó menos cantidad de arena, la falta de su peso deja libre otra tanta cantidad de empuje, de lo que resulta aumento de fuerza ascensional.

25. *Paracaídas* es un apéndice, especie de paraguas grande y resistente, que va unido al globo, para utilizarlo en ciertos accidentes en que sin él peligraría la vida de los aereonautas, y ligado al mismo por su parte superior y por la inferior á la barquilla en tal disposición, que desde ella puede abrirlo el aereonauta, tirando de una cuerda, al soltarlo del globo para encomendar á él solo la bajada de su persona y la salvación de su vida.

Determinar el valor de la fuerza ascencional de un aeróstato, en unos casos, y su diámetro en otros; la preparación del gas con que se haya de llenar y todas las circunstancias de una ascensión, son cosas trabajosas, pero de no difícil ejecución valiéndose del cálculo y de los conocimientos de Química y Mecánica correspondientes.

El problema de darles dirección es tan difícil, que se llegó á creer imposible su resolución, que consiste en hallar medios seguros de poder hacerlos marchar el hombre de unos puntos á otros á su voluntad, independientemente de las corrientes aéreas. Hoy, sin embargo, puede esperarse que en día no lejano el problema quede perfecta y completamente resuelto, como lo prueban los resultados obtenidos, no por personas imperitas y con ensayos imperfectos ó de farsa, sino por hombres competentes y por medios científicos.

Desde 1804 en que Biot y Gay-Lussac ascendieron á 4000 metros y á los pocos días Gay-Lussac solo á la de 7000, y se han multiplicado las ascensiones y llegádo ya hasta cerca de 11000 metros, se han recogido y pueden recogerse datos científicos interesantes á las ciencias, relativos á la intensidad magnética del globo, á la electricidad atmosférica, á la temperatura de las altas regiones de la atmósfera y á la composición del aire en las mismas.

También se han ejecutado cual medio auxiliar de exploración en las campañas, como en las guerras de Napoleón I, y posteriormente en el sitio de París cuando la guerra franco-prusiana; y aunque nunca se resolviese el problema de la dirección, siempre podrán servir para elevarse en la atmósfera á practicar investigaciones científicas y aun artísticas, como sucede hoy en las innumerables ascensiones ejecutadas por personas científicas en los Estados-Unidos, Inglaterra, Francia y

otras naciones menos en España, donde desgraciadamente se hacen por personas no competentes y sólo para especular entreteniendo al público, que no ve en ellas sino una rareza ú objeto de diversión.

LECCIÓN XLIV.

I. Concepto de las acciones moleculares. — Adhesión ó adherencia y capilaridad.—II. Fenómenos osmósicos como son: la difusión, osmosis, absorción é imbibición y la diálisis en los líquidos; y en los gases, su difusión, efusión y traspiración; la osmosis de los gases y atmolisis, etc.

1.ª *Acciones moleculares* se pueden llamar á todos los hechos producidos en virtud de las fuerzas moleculares (X—7.ª), ó sea el juego contínuo de las acciones recíprocas de la atracción y repulsión entre las moléculas de los cuerpos, que suelen ser denominadas, atracción molecular la primera y distensión la segunda.

No siendo completamente conocida la naturaleza de una ni otra, se las admite como dos fuerzas distintas, para facilitar las esplicaciones, bien pueda ser la atracción inherente á la materia, como se ha venido suponiendo, y la repulsión el efecto del calor, ó todo ello simplemente resultados opuestos de los variados y complicados movimientos y choques de los átomos etéreos, cuya realidad resulta ya casi enteramente demostrada con tantos y tantos hechos.

2.ª *Bajo el nombre de acciones moleculares* pudiera comprenderse todo lo relativo á la cohesión, constitución y estado de los cuerpos físicos; á la compresibilidad y la elasticidad de sólidos, líquidos y gases; á la tracción, torsión, flexión, tenacidad, ductilidad, maleabilidad, dureza, templadura y recocido en los sólidos; á la trasmisión de presiones en los líquidos y gases, y á la mezcla de éstos; y cuanto se refiere á los fenómenos relacionados con la agregación molecular, como la estructura y cristalización de los sólidos, la endosmosis, absorción, exhalación, etc., así como á la producción y propagación de los sonidos, ó sea el estudio de la Acústica.

3.ª *Se han estudiado* en las correspondientes lecciones los estados de los cuerpos y su modo de formación; la compresibilidad, elasticidad, dureza, tenacidad, etc., y sucesivamente el choque de los sólidos, y la trasmisión de las presiones de los flúidos, porque no pudiendo estudiarse todas estas cuestiones con la extensión y en la forma que puede hacerlo la verdadera Mecánica, en conformidad al objeto de la Física elemental é índole de estas lecciones,

se hace más conveniente su exposición en el orden adoptado, dejando para un capítulo ó sección aparte ciertos fenómenos cuya especialidad así lo exige, como son los fenómenos que se originan en la presencia y contacto de sólidos, líquidos y gases consigo mismos, ó de unos y otros entre sí.

4.ª *De los fenómenos* que resultan al contacto de los cuerpos, conviene conocer la adherencia que se establece entre sólidos homogéneos ó heterogéneos; la que resulta entre los mismos con los líquidos y con los gases; y la que se puede observar entre líquidos con líquidos y con gases, y aun entre estos mismos, presentando finalmente la capilaridad y los fenómenos ósmicos en sus diferentes casos, como la endosmosis, diálisis, etc.

5.ª *La adherencia* de los sólidos, aunque no se observa tan fácilmente y con la generalidad que la cohesión de sus moléculas, se demuestra fácilmente dividiendo una bala de plomo con una sección perfectamente plana y tersa, ó tomando dos segmentos iguales de dos balas diferentes, cuyas bases se hallen en las antedichas circunstancias; pues apoyando fuertemente y haciendo resbalar una sobre otra hasta superponerlas, resultan unidas de tal suerte que se necesita un esfuerzo para separarlas. Este experimento se practica más fácilmente con dos discos de vidrio deslustrado, y aun con trozos de materias homogéneas ó heterogéneas cualesquiera, preparadas convenientemente, como trozos de cera, arcilla húmeda, etc.

6.ª *La adherencia* de los sólidos entre sí se puede medir preparando dos discos de vidrio ó mármol, llamados planos de Magdeburgo, con virolas metálicas, en los centros de cuyas bases hay fijos los correspondientes anillos ó ganchos para la suspensión, y operando del modo siguiente: unidos fuertemente los planos, se cuelgan de un apoyo por el gancho del superior; en el del inferior se van cargando pesos hasta que éstos producen la separación, y el peso empleado viene á ser, con pequeño exceso, la medida de la adherencia. El valor de este peso depende de la extensión superficial de los discos que se ponen en contacto, si bien influye mucho su mejor ó peor unión, mas no la presión de la atmósfera.

7.ª *Que la adherencia* de los discos no proviene de la presión

de la atmósfera semejantemente á lo que sucede en el experimento de los hemisferios de Magdeburgo, como se pudiera creer, se prueba con los discos del antedicho nombre, del modo siguiente: se establece la unión de ambos; se suspende uno de ellos de un montante convenientemente dispuesto sobre la platina de la máquina neumática; del otro se cuelga un peso bastante grande, pero que no alcance á producir la separación de ambos discos; se cubre todo con una campana de cristal, y haciendo el vacío se ve que los discos continúan unidos, lo que no sucedería al faltar la presión atmosférica, si ésta fuese la causa de la adherencia.

8.ª *La adherencia* de sólidos con líquidos se prueba suspendiendo del gancho de uno de los platillos de la balanza hidrostática un disco de vidrio, metal, etc.; estableciendo con pesos en el otro platillo el equilibrio de aquélla, y haciéndola descender sobre el nivel de un líquido, colocado debajo en la correspondiente vasija, hasta establecer el completo contacto de la superficie sólida con la líquida. En tal disposición se vuelve á elevar la balanza, el disco queda unido al líquido, lo que prueba su adherencia; desciende el extremo de la cruz de la balanza de que está suspendido dicho disco, perdiéndose el equilibrio, y cargando gradualmente con nuevos pesos el platillo elevado, al llegar á cierto límite se rompe la unión del disco con el líquido, separándose de éste.

Al separarse el disco del líquido, en unos casos se lleva unida á sí la capa líquida con la que estaba en contacto, y en otros no, según la naturaleza del sólido y del líquido, resultando así el que éste moje ó no al sólido.

9.ª *Se dice* que un líquido moja á un sólido, cuando al separarse éste de aquél, arrastra unida á la superficie que estuvo en contacto con el mismo una capa de dicho líquido.

10. *Se dice* que un líquido no moja á un sólido, cuando al separarse éste de aquél no arrastra, unida á la superficie que estuvo en contacto con el mismo, molécula alguna de dicho líquido.

11. *Cuando un sólido* no es mojado por un líquido, se puede medir la fuerza de adhesión entre ambos, ejecutando con el mercurio y un disco de vidrio el experimento (XLIV—8.ª); en tal caso, el peso de las pesas ó contrapesos empleados para romper la unión de dichos cuerpos, nos dirá el valor de dicha fuerza, aunque no

exacta sino aproximadamente, pues dicho peso es algo mayor.

En efecto, estando el disco sometido á dos fuerzas opuestas, peso de las pesas ó contrapeso y adhesión, la resultante que lo mueve y separa debe ser igual á la diferencia entre ambas y obrará en el sentido de la mayor; luego moviéndose el disco en la dirección que dicho peso trataba de imprimirle, éste debe ser la fuerza mayor, y, por consiguiente, igual á la adhesión, más el exceso necesario para vencer la inercia del disco al ponerse éste en movimiento.

12. *Al hacer el anterior experimento* con un líquido que moje al sólido, por ejemplo el agua y el vidrio, el peso que se emplea para conseguir la separación de ambos no mide realmente su fuerza de adhesión, sino próximamente la de unión de unas moléculas líquidas con otras, ó sea su cohesión; pero habiendo podido vencer dicho peso para la cohesión del líquido y no su adherencia con el sólido, claro es que ésta es mayor que aquélla y que el mismo peso.

De lo expuesto resulta que el mojar un líquido á un sólido consiste en ser mayor la fuerza de adherencia entre ambos que la de cohesión en el líquido, y el no mojarlo en que, por el contrario, la cohesión entre las moléculas del líquido es mayor que la adherencia entre éste y el sólido.

13. *La adherencia de sólidos* con gases se puede hacer ver, introduciendo un sólido en un vaso de agua, privada de aire mediante la ebullición, y colocando dicho vaso bajo la campana de la máquina neumática; pues haciendo el vacío se ve subir á la superficie burbujas de aire que se desprenden del cuerpo.

Esta propiedad es la causa por la que se puede explicar la propagación de las epidemias á grandes distancias y el fundamento de ciertas medidas gubernativas, como los cordones sanitarios y las fumigaciones de los objetos procedentes de puntos infestados.

14. *No es tan fácil* demostrar la adherencia de los líquidos entre sí, como la de éstos con los sólidos; pero se comprende que sin ella no se mezclarían, como lo verifican unos líquidos con otros, pues aun cuando haya muchos, como el agua, aceite y mercurio, que no pueden mezclarse por su gran diferencia de densidad, agitados en un mismo vaso y verificada después por ellos mismos su separación en el orden de sus respectivas densidades, se puede observar que dichos líquidos conservan adherida á sus

moléculas cantidad más ó menos perceptible de la de los otros.

15. *La adherencia de líquidos* con gases se puede hacer ver, colocando un vaso con agua bajo la campana de la máquina neumática y haciendo el vacío; pues se ve subir á la superficie de nivel y fijarse en las paredes del vaso algunas burbujas; prueba de que el líquido llevaba adheridas á las suyas moléculas de aire.

16. *La adherencia de gases* con gases sin acción química, aunque tampoco es fácil hacerla visible, se concibe por el hecho de su mezcla.

17. *Se dió en otro tiempo* el nombre de capilaridad á ciertos fenómenos observados en el interior de los tubos capilares introducidos en los líquidos, entendiéndose por tubos capilares los de diámetro muy pequeño, asimilable al de un cabello.

18. *El origen de la voz capilaridad* fué el haber considerado como fenómenos especiales y aislados la elevación y depresión de los líquidos en el interior de tubos estrechos, tanto más notable y perceptible cuanto menor era el diámetro de los mismos, y sobre todo en aquellos que, teniéndolo extremadamente pequeño, se podían asimilar al de un cabello, de cuyo nombre latino, *capillus*, se derivó el de capilaridad.

19. *La voz capilaridad* no se limita hoy á significar solamente dicho fenómeno, sino que abraza el estudio de las elevaciones y depresiones alrededor de los sólidos en contacto con los líquidos, ó en los espacios intermedios de dos ó más sólidos separados por pequeñas distancias; el de las elevaciones y depresiones en el interior de los tubos; la desigualdad de altura en las columnas líquidas homogéneas en vasos comunicantes de diferente diámetro, que parece contradecir la ley de equilibrio de los líquidos en dichos vasos; la explicación de la formación de los meniscos y la de las atracciones y repulsiones de los cuerpos flotantes cuando se hallan á pequeñas distancias, y cuanto se pueda referir al contacto de sólidos con líquidos.

20. *La elevación* y depresión de los líquidos alrededor ó en el intervalo de los sólidos introducidos en los mismos, tanto cuando éstos mojan á aquéllos como cuando no, se explica tomando en consideración, además de la fuerza de la gravedad, las atractivas ó de adhesión de los sólidos con los líquidos y las de cohesión

entre las moléculas de éstos; pues se ve que dichas elevaciones ó depresiones no hacen excepción ni contrarían las leyes de la Hidrostática, sino que, por el contrario, resultan del cumplimiento de la fundamental de todas, la de que, para el equilibrio de una masa líquida, cada molécula ha de resultar sometida á presiones iguales en todos sentidos.

En efecto, aunque los pormenores de los sistemas de fuerzas, su composición y demás necesario para la indicada explicación no son fáciles de desenvolver y relacionar, con la exactitud y claridad debidas, por medio de breves indicaciones y sin cálculo, sin embargo, todo se puede reducir á los dos casos siguientes: 1.° Cuando el sólido introducido es mojado por el líquido, en este caso siendo la atracción entre ambos mayor que la cohesión entre las moléculas de aquél, las acciones de la gravedad sobre la fila de moléculas en contacto con el sólido resultan más disminuidas de lo que puedan serlo las de otras por la cohesión con sus inmediatas; cada fila vertical de aquellas moléculas, que hacían equilibrio á las restantes, no puede continuarlo sino compensando aquella disminución con un aumento de moléculas, y por consiguiente de altura, de lo que se sigue su elevación alrededor del sólido. 2.° Cuando éste no es mojado, siendo la atracción entre sus moléculas y las del líquido menor que las de cohesión entre las de éste, la gravedad de la fila vertical de aquéllas en contacto con el sólido es menos disminuida de lo que pueden serlo las otras por la fuerza de cohesión de sus inmediatas, por cuya razón, las filas que no están en contacto con el sólido no pueden continuar equilibrando á las que lo están, sino compensando la menor presión con el aumento de las moléculas y, por consiguiente, de altura, resultando de esta elevación la depresión del líquido á la inmediación del sólido.

21. *En las elevaciones* y depresiones de los líquidos en el interior de los tubos, comparando la de unos con otros y los diámetros de los mismos, se observan las leyes siguientes: 1.ª Que hay elevación cuando el líquido moja al tubo, y depresión cuando no lo moja. 2.ª Que en un mismo tubo la elevación del líquido depende de la naturaleza de éste y de la temperatura, disminuyendo con ésta; mas no de la sustancia del tubo ni del espesor de sus paredes, si se mojan préviamente; y 3.ª Que las elevaciones y depresiones en el interior de los tubos resultan en razón inversa de sus diámetros, mientras éstos no exceden de dos á tres milímetros: ley que se denomina de Jurín por haberla dado á conocer éste. Estas leyes tanto se verifican en el aire como en el vacío.

22. *La última ley* se demuestra experimentalmente introduciendo una serie de tubos de diámetros diferentes en un mismo vaso, pues se ve: que el nivel interior se eleva en todos sobre el exterior si aquéllos son mojados por el líquido, ó que resulta inferior en caso contrario; que cuanto menor es el diámetro, mayor es la elevación ó la depresión, y que fijos dichos tubos á una escala y medidos sus diámetros, la razón de los números de las elevaciones y depresiones, señaladas en las escalas, es inversa de la de los que expresan el valor de los diámetros.

La depresión del mercurio varía con su pureza y clase de vidrio de los tubos.

23. *Se da el nombre* de menisco á la forma de zona ó segmento esférico de la superficie de nivel de un líquido encerrado en un tubo cilíndrico. Puede ser cóncavo y convexo: es cóncavo cuando el líquido moja al tubo, y convexo cuando no lo moja.

24. *La explicación* de la formación de los meniscos cóncavos y convexos en los respectivos casos, sin las consideraciones matemáticas necesarias, es tan difícil como la de las elevaciones y depresiones de los líquidos alrededor de los sólidos; pero en la imposibilidad de darla completa y con toda exactitud, puede suplirse con la consideración de que dichos fenómenos vienen á ser consecuencia inmediata de aquellas elevaciones y depresiones.

En efecto, si el líquido moja al sólido, la atracción de la materia del tubo por la superficie interna produce las elevaciones correspondientes según las generatrices de aquéllas; las moléculas elevadas de las filas en contacto con dichas generatrices del tubo, por su cohesión elevan á su vez las de las filas inmediatas, y el conjunto de tales elevaciones, continuas y graduales, formando un reborde sobre el nivel hacia las paredes del tubo, dejan un espacio esférico vacío de líquido, que es llamado menisco cóncavo. Si por el contrario el líquido no moja al tubo, la depresión correspondiente de la fila de moléculas en contacto con las generatrices de la superficie interna de aquél, hace que las filas inmediatas interiores se eleven gradualmente hasta la situada en el eje del tubo, que siendo la más elevada, forma el vértice de una curvatura esférica convexa y constituye el menisco convexo.

25. *La explicación* del desnivel de un líquido en tubos de brazos comunicantes de diferente diámetro, se halla en el mismo caso que la de los meniscos; pues es consecuencia de las mismas causas que producen las elevaciones ó depresiones de los líquidos

alrededor de las paredes de los sólidos, y sobre todo, del orden de resultantes que produce la cohesión de las moléculas líquidas entre sí, según los meniscos que se forman.

En efecto, fuera del caso de la igualdad de diámetro de ambos tubos, en que siendo iguales las elevaciones y depresiones y, por consiguiente, las presiones que mutuamente se trasmiten ambas columnas, y éstas se equilibran quedando á igual altura; en todo otro, en que por la desigualdad de diámetro hay desigualdad en los sistemas de fuerzas que se combinan, en las resultantes finales y, por lo mismo, en las presiones mútuas trasmitidas entre ambas columnas, teniendo que aumentar ó disminuir la una relativamente á la otra, se produce el desnivel, resultando en el tubo de menor diámetro la mayor elevación, en el caso de mojar el líquido al sólido, y la mayor depresión en el caso contrario.

26. *Las atracciones* que resultan entre dos cuerpos flotantes y á corta distancia, tanto cuando son mojados como cuando no lo son por el líquido sobre el cual se sostienen, se pueden explicar del modo siguiente. En el primer caso, la columna líquida resultante entre ambos cuerpos, al tratar de subir y separar sus moléculas de las de los sólidos, por su mayor fuerza de adhesión con ambos que la de cohesión de las del líquido, produce una especie de tracción interior y de abajo arriba, con mayor ó menor inclinación, y origina un primer movimiento de ambos cuerpos hacia dentro, que los aproxima y cambia la colocación y disposición del líquido y de los sólidos; á consecuencia de lo cual se vuelve á repetir sucesivamente el hecho, y acortándose más y más la distancia entre aquéllos, crece su mútua atracción y se acelera el movimiento simultáneo de uno sobre otro, hasta llegar á unirse.

En el segundo caso, siendo menor la fuerza de adhesión del líquido sobre las paredes de los sólidos, que la de cohesión entre las moléculas de aquél, al descender el mismo para formar la depresión interior, aunque no resulte como en el primero aquella especie de tracción hacia dentro, las presiones laterales del líquido en la parte más elevada por defuera imprimen empujes sobre los sólidos de fuera á dentro, que no pueden ser contrariados por falta de otros opuestos de dentro á fuera, á causa del hueco resultante con la referida depresión interior, y mueven en sus direcciones á los cuerpos, llevando simultáneamente el uno sobre el otro, con lo que se produce una primera aproximación. Repetido el hecho

sucesivamente, dicha aproximación es cada vez mayor, hasta llegar por último los cuerpos á chocar y unirse.

27. *Cuando uno* de los cuerpos flotantes es mojado por el líquido, y el otro no, se separan como por una mútua repulsión; cuya separación se puede considerar como resultado de la combinación de los dos casos del extremo anterior. En efecto, si suponemos en la derecha al que es mojado, y en la izquierda al que no lo es, el primero obedecerá á la tracción hacia arriba y empuje hacia fuera de entre los dos cuerpos y de derecha á izquierda, que le comunicará el líquido interior al subir, con arreglo al primer caso de lo expuesto en el párrafo anterior, como si estuviese cerca de otro cuerpo también mojado; y el segundo á la tracción hacia bajo y empuje de izquierda á derecha ó hacia fuera de entre ambos, con arrreglo al segundo caso del indicado párrafo anterior, como si estuviese cerca de otro no mojado. Así es que resultando los dos cuerpos impelidos en los sentidos opuestos de derecha á izquierda y de izquierda á derecha, marcharán según éllos alejándose uno de otro, esto es, resulta repulsión.

II.

28. *El estudio de las acciones moleculares*, además de los fenómenos de adhesión y los denominados capilares, comprende otros no menos curiosos que se deben dar á conocer, por lo importante de sus aplicaciones y aunque sea muy sucintamente, cualquiera que sea la causa inmediata y las teorías con que se pueda explicarlas. Tales fenómenos son: en los líquidos, la difusión, la ósmosis, la absorción é imbibición, y la diálisis. En los gases, la difusión gaseosa ó mezcla de gases, la efusión y traspiración; la ósmosis de los gases y atmolisis; la absorción de los gases por los sólidos; la permeabilidad y poder absorbente respecto de los gases por los metales á una temperatura elevada, y la oclusión.

29. *Difusión* es el acto de mezclarse espontáneamente dos líquidos de naturaleza distinta, ó de diferente grado de concentración, y que no ejerzan acción química uno sobre otro.

La difusión de los líquidos fué observada ya en el siglo último por Priestley y otros físicos, mas sus circunstancias y leyes no se estudiaron completamente hasta que *Graham* lo hizo en Londres en 1854. Di-

chas leyes y sus correspondientes experimentos, como cuanto se refiere á la ósmosis, diálisis, etc. no pueden tener cabida en lecciones elementales.

30. *Ósmosis* (que significa impulsión) viene á ser una difusión en el caso de estar separados los líquidos entre los cuales se ejecuta, por una membrana orgánica ó diafragma poroso é inorgánico. Hay que considerar en la ósmosis dos fases distintas, la *endósmosis,* corriente hacia adentro, ó entrante, y la *exósmosis,* corriente hacia á fuera, ó saliente.

El primero que dió á conocer este fenómeno fué Dutrochet, en Francia, año 1826, llamando *endosmómetro* al sencillo aparato que para su estudio se emplea y cuya disposición varió de muchos modos, para sus numerosos y escogidos experimentos Mateusi, que los expuso en una de sus lecciones sobre los *fenómenos fisiológicos de los seres vivos.*

31. *La endósmosis* se verifica siempre del líquido menos denso al más denso, y viceversa la exósmosis; pero se debe tener presente, según Graham, que del depósito del líquido más denso no sale éste al otro, sino que al pasar el menos denso al más denso, pasan de éste á aquél moléculas de la materia disuelta en el más denso; por cuya razón se aplicó para significar ambas cosas á la vez el de nombre *ósmosis.*

32. *Absorción* es el acto de penetrar en los cuerpos sólidos cualquier materia líquida ó gaseosa; é imbibición el acto de penetrar en aquéllos las sustancias líquidas.

La absorción é imbibición, aunque se suelen considerar como sinónimas, hay la diferencia de que la segunda sólo se refiere á líquidos, y la primera lo mismo á líquidos que á gases. En Fisiología la palabra absorción significa el hecho de penetrar sustancias extrañas en los tejidos de los seres vivos, y la imbibición sólo expresa la penetración de sustancias extrañas en cuerpos porosos inertes, esto es, sin vida, sean ó no orgánicos.

33. *Diálisis* (que significa separación á través) es el hecho de la desigual difusión de los líquidos al través de las membranas, dado á conocer en 1861 por Graham, el cual dividió en dos clases las diferentes sustancias que pueden entrar en juego. Llamó *cristaloides* á unas y *coloides* á otras; cristaloides á las que pueden cristalizar, y coloides á las no cristalizables, como las gomas, el almidón, la dextrina, la gelatina y la albúmina.

La diálisis puede ser un gran auxiliar para ciertos ensayos y análisis químicos. Los experimentos de la diálisis se practican con el sencillo aparato llamado dializador, y si bien sus pormenores y leyes son curiosas é interesantes, no son para incluidas en estas lecciones, pero pueden verse muy brillantemente expuestos en la memoria titulada: *Historia y juicio crítico de la diálisis considerada como procedimiento analítico:* Memoria que fué premiada por la Academia médico-quirúrgica matritense, al doctor D. Manuel Saenz Díez.

34. *Difusión* de los gases es el hecho de mezclarse espontáneamente dos de ellos de diferente densidad, pero sin acción química.

El primero por quien se demostró la difusión gaseosa fué Berthollet, que lo ejecutó por medio del aparato de dos globos de vidrio, con cuello y llave de paso, atornillados uno á otro, como es fácil comprender á la vista del aparato y explicación verbal.

35. *La difusión* gaseosa, en virtud de la fuerza expansiva de los gases, se efectúa con mucha mayor rapidez que la de los líquidos, pero mezclados ya, aquéllos persisten indefinidamente en el estado de mezcla. La difusión entre los gases es tanto más rápida cuanto mayor es la diferencia de sus densidades, siendo el menos difusible el más denso, como se observa respecto del ácido carbónico y el hidrógeno; pues el primero, como más denso, tarda en difundirse hacia arriba cinco veces más que en efectuarlo hacia abajo el hidrógeno, que es menos denso.

36. *Efusión* es el paso de los gases al vacío por una abertura muy pequeña en pared delgada, y *traspiración* el paso de los mismos por un tubo capilar al vacío ú otro depósito de gas muy enrarecido.

37. *La ósmosis* de los gases viene á ser una difusión gaseosa á través de mombranas y de diafragmas porosos, semejantes á la endósmosis y exósmosis. Sus leyes y consecuencias, estudiadas por Graham con el aparato ideado al efecto, llamado difusiómetro y variado después por Bunsen, sirven de fundamento al método auxiliar de análisis de mezclas gaseosas llamado atmolísis.

Cualquiera que sea la causa ó aspecto de la energía con que se explique ó á quien se atribuya la producción de los fenómenos de difusión, ósmosis, diálisis, etc., hay algunos otros relacionados con los mismos, que, aunque dignos de ser estudiados por su novedad é importancia, sólo daremos á conocer sus nombres, que son: absorción de los gases por

los sólidos, permeabilidad y poder absorbente de los metales á una temperatura elevada, la oclusión y la absorción de los gases por los líquidos.

38. *La absorción* de los gases por los sólidos es la propiedad que presentan todos éstos de absorber siempre los gases que con ellos se ponen en contacto. Esta absorción es muy variable, según la naturaleza del sólido y del gas, y se verifica condensándose el segundo principalmente sobre la superficie del primero, porque se observa que es tanto mayor el volumen absorbido cuanto mayor es la superficie del sólido. Los carbones en general, y el de encina más particularmente, presentan ejemplos y aplicaciones notables de dicha propiedad, y lo mismo el musgo del platino sobre el cual pasa una corriente de hidrógeno.

39. *Permeabilidad* y poder absorbente de los metales á una alta temperatura, es la propiedad de algunos de éllos que consiste en adquirir un gran poder absorbente de gases, cuando se les pone á una elevada temperatura, y hacerse permeables á los mismos, ésto es, poniéndose los sólidos en tal disposición que permiten el paso de algún gas el través de ellos.

40. *Oclusión* es la voz que indica absorción permanente de un gas por un sólido.

41. *Absorción* de los gases por los líquidos es la propiedad que tiene el agua y otros líquidos de dejarse penetrar por los gases, pero en distinto grado, pues á igual presión y temperatura las cantidades de diferentes gases que absorbe un mismo líquido no son iguales. El agua, en las mismas condiciones de 10° de temperatura y 0^m, 76 de presión, disuelve 25 milésimas de su volumen si se trata de nitrógeno, 46 si del oxígeno, un volumen igual al suyo si del ácido carbónico, y uno 670 mayor si del amoniaco.

Semejantes diferencias resultan si se compara otro líquido cualquiera con diferentes gases, excepto el mercurio que parece se resiste por completo á la penetración de los gases.

ACÚSTICA.

LECCIÓN XLV.

I. Conceptos del sonido, Acústica y Música. — Producción de los sonidos.—Distinción entre sonido y ruido. — II. Propagación del sonido.— Ondas y ondulaciones sonoras.

I.

1.ª *Sonido* es la sensación especial que se percibe en virtud de los movimientos vibratorios de las moléculas de los cuerpos, que comunicados al aire, agua ó cualquier medio ponderable y trasmitidos por su intermedio hasta el órgano del oído, impresionan á éste y resulta dicha sensación de la manera con que se produce todo orden de sensaciones: su estudio es del dominio de la Fisiología.

2.ª *Acústica* ó *Fonología* es la parte de la Física que estudia la producción y propagación de los sonidos y su comparación mediante los números de vibraciones con que son producidos.

El concepto de la Acústica no se debe comfundir con el de la Música, pues ésta sólo es un arte, cuyo fundamento es aquélla.

En muchas partes del estudio de la Acústica se usan locuciones impropias, como las de velocidad, propagación, reflexión, refracción del sonido y algunas otras. Por esta razón conviene advertir desde luego, que á lo que verdaderamente se refieren es á las vibraciones y ondas sonoras, pues son las que verdaderamente se comunican y modifican, y no el sonido; porque siendo éste una sensación, no se concibe en ella velocidad, propagación, marcha ni modificación de ésta.

3.ª *Vibración* es el movimiento de vaivén que, alrededor de sus posiciones de equilibrio, ejecutan las moléculas de los cuerpos y el todo ó las partes de éstos, permaneciendo fijos siempre por uno ó más puntos: movimiento que se denomina vibratorio y en el cual se entiende por amplitud de la vibración, la distancia que recorre la molécula ó cuerpo vibrante á su ida ó vuelta, cuando sacado de su posición de equilibrio se le abandona á sí mismo.

4.ª *La vibración* se diferencia de la oscilación en que ésta es

ejecutada siempre por todas las moléculas del cuerpo, con el movimiento común impreso por la acción de la gravedad y velocidad adquirida; cuando la primera se efectúa por dichas moléculas del cuerpo ó por el todo ó parte de éste, permaneciendo fijo por uno ó más de sus puntos. La oscilación es debida á la acción de la gravedad y velocidad adquirida durante la semi-oscilación descendente, y la vibración, sea de las moléculas, de todo el cuerpo ó de parte de éste, proviene de perturbar el equilibrio de las acciones moleculares de los cuerpos por el choque, percusión fricción ó alguna otra causa. La primera se efectúa siempre en plano vertical y la segunda en cualquier dirección.

Algunos toman por vibración el camino recorrido por la molécula ó cuerpo vibrante en su ida, cuando se los abandona á sí mismos después de separados de su posición de equilibrio, ó en su vuelta; pero lo más admitido es considerarla compuesta de la ida y vuelta. En el primero de estos casos se le suele llamar vibración sencilla, y en el segundo vibración doble ó compuesta; pero siendo ésta la verdadera vibración, la sencilla se debería llamar semi-oscilación.

5.ª *Las vibraciones* de las moléculas de los cuerpos se ejecutan del modo siguiente: si por una acción cualquiera impresa á una parte de las moléculas de un cuerpo, se turba el equilibrio de las fuerzas ó acciones moleculares, que obrando sobre las mismas lo constituyen en el estado de solidez ó fluidez en que se halle, pero sin exceder el límite de su elasticidad; cada una de las que se ponen en movimiento comunica el suyo á las inmediatas y éstas á las otras, á la manera que se hace ver una comunicación semejante de movimiento por el aparato denominado *de las siete esferas;* con lo que todas las moléculas quedan separadas de su primitiva posición de equilibrio, aunque á una distancia infinitamente pequeña. En tal estado y cesando la acción desquilibrante, quedan libres las acciones moleculares é imprimen un movimiento á las moléculas, con el cual retroceden y vuelven al punto de donde partieron; mas al llegar á él animadas de cierta velocidad, pasan adelante como por un nuevo desquilibrio, que reproduce los mismos hechos; los que repetidos sucesivamente, engendran en cada molécula su vibración, semejantemente á como se ejecutan las oscilaciones del péndulo.

6.ª *Todo sonido* se puede considerar engendrado del modo

siguiente: puestas en vibración las moléculas de un cuerpo, á la manera que sus movimientos se comunican mútuamente, así también se comunican á las moléculas de los cuerpos sólidos, líquidos ó gases con quienes se hallan en contacto, hasta llegar la comunicación al tímpano del oído; cuya conmoción, trasmitida en la forma con que se explica la audición, nos causa la sensación especial consiguiente apellidada sonido.

Según esta explicación, se ve que el sonido no es propiedad de los cuerpos, sino de nuestra sensibilidad, y que aquéllos, con sus vibraciones, sólo son la causa mediata de tal efecto, siempre que entre el oído y el cuerpo vibrante haya interpuesto cualquier cuerpo, sea sólido, líquido ó gaseoso, como se observa y demuestra.

7.ª *Las sonidos*, ó más bien las vibraciones de los cuerpos sonoros que los ocasionan, se pueden obtener directa ó indirectamente. Los medios más generales de producirlos directamente son: el choque ó percusión, la frotación y cualquier otro que produzca en los cuerpos desquilibrio en su arreglo molecular, como ciertas diferencias ó desquilibrios de temperatura, ó el paso de una corriente eléctrica dirigida convenientemente por barras ó varillas metálicas. Los indirectos ó por influencia se producen por la comunicación de las vibraciones de un cuerpo sonante á las moléculas de aquellos con los que se halla en contacto ó á su proximidad: lo que se demuestra experimentalmente de varias maneras, pero especialmente con sólo hacer vibrar un diapasón y apoyarlo sobre la superficie de una mesa, ó sobre cualquier cuerpo hueco; pues se notará que el sonido del diapasón, poco perceptible, se refuerza notablemente, porque sus vibraciones se reunen ó componen con las excitadas en las moléculas en que aquél se apoya.

Este hecho es el fundamento del uso de las cajas sonoras en ciertos instrumentos de música, de la construcción de las cajas de guerra, así como la de los violines, guitarras, etc.

Fundado en esto mismo, es como M. Marloye ideó la colocación del diapasón sabre una caja hueca, de paredes delgadas de madera, como las de su sonómetro, abierta por un extremo, y que contiene por consiguiente una columna de aire. Con esta disposición se consigue que al vibrar el diapasón, las vibraciones de éste se comuniquen á la caja y de ésta á la columna aérea que contiene, y que el sonido se refuerce de

una manera tal que el de un diapasón que da el do$_3$ por 512 vibraciones al segundo, es tan parecido y penetrante como el de un tubo de órgano.

8.ª *Las vibraciones* de las moléculas de los cuerpos no son tan perceptibles á simple vista como las oscilaciones de los péndulos; pero se puede hacer verlas de varias maneras, ya aproximando al cuerpo vibrante láminas finas de papel, péndulos ó varillas terminadas en punta, ó bien colocando cuerpos ligeros sobre placas y cuerdas, como arenilla fina sobre las primeras y tiritas de papel sobre las segundas; pues se ve que dichos cuerpos adquieren movimientos más ó menos notables, que á su vez engendran los correspondientes sonidos, prueba de la conmoción de las moléculas del primer cuerpo, causa única á quien se puede atribuir la de las del segundo.

9.ª *La producción* de un sonido no depende únicamente del movimiento vibratorio del cuerpo sonoro, pues sin medio de propagación y órgano del oído en estado perfecto de organización y salud, las vibraciones del cuerpo podrán producir en él y en algún otro inmediato la ruptura, desformación ú otro efecto cualquiera, pero nunca una percepción de sonido. Por esta razón se puede decir que su producción exige *cuerpo vibrante*, *medio ponderable* por donde se comuniquen sus vibraciones y el *órgano del oído*.

Oído es el órgano de los animales, destinado á la percepción de los sonidos, esto es, á la *audición;* su estructura y modo de funcionar se estudia en Fisiología, por cuya razón, aunque en la generalidad de los textos se incluya el estudio de uno y otra, se debe prescindir de él en estas lecciones, no sólo para abreviarlas lo posible, sino porque los alumnos hacen dicho estudio en la parte de Organografía y Fisiología de la asignatura de Historia Natural.

Lo mismo se debe hacer respecto á la *voz*, que siendo el sonido producido en la laringe al atravesar la glotis el aire aspirado por los animales, exige el estudio del modo y variedades con que se produce, á la vez que el de la estructura de dicho órgano, que es como un instrumento de viento.

La voz humana se puede modificar de varias maneras, pero todas sus modificaciones se reducen á las tres siguientes: *voz ordinaria*, *grito* y *canto*.

La *voz* no se debe confundir con la *palabra*, que es la facultad que tiene el hombre solamente de articular sonidos.

10. *La propagación* del sonido, si bien se hace generalmente por el aire, también se efectúa por el intermedio de cualquier otro medio ponderable, mas nunca en el vacío.

11. *Se prueba* la imposibilidad de la propagación del sonido en el vacío, haciendo éste por medio de la máquina neumática, colocado préviamente bajo una campana á propósito el aparatito de relojería con timbre, que para el objeto existe en los gabinetes; pues se ve: 1.°, que el macito ó martillo que hiere al timbre, sigue moviéndose sin percibirse sonido cuando la máquina hace bien el vacío y el aparatito se apoya en cuerpos blandos, que impiden la trasmisión de las vibraciones del aparato al aire exterior, como se verifica á través de la platina, si aquél se apoya solamente sobre ella; y 2.°, que cuando se abre la llave de comunicación con el exterior, si se ejecuta con lentitud, se nota, á medida que va entrando el aire y adquiriendo mayor densidad, que cada vez se percibe el sonido con más intensidad.

También se puede ejecutar el experimento con un globo de vidrio con virola, llave y un vástago de que va suspendida por un hilo una campanita; pues hecho el vacío, se ven los movimientos que se comunican á aquélla sin percibir sonido alguno.

12. *Los gases y vapores,* como medios ponderables, son á propósito, lo mismo que el aire, para la producción y propagación del sonido, según se demuestra por experimentos directos, aunque con notables diferencias dependientes de su densidad.

En efecto; valiéndose del globo con virola, llave y campanilla, que se emplea para demostrar que el sonido no se produce ni propaga en el vacío, con la sencilla adición de una llave, por medio de la cual, hecho aquél, es posible dejar caer en el mismo una ó más gotas del líquido cuyo vapor se quiera ensayar; pues evaporándose dicho líquido y extendiéndose su vapor en el vacío, se percibe el sonido más y más, á medida que, entrando más líquido, se forma más vapor y aumenta su densidad. De la misma manera se practica la demostración en los gases, haciendo penetrar el que se quiera ensayar en el mismo globo, puesta la llave en comunicación con el depósito que lo contenga.

13. *De estos* y otros experimentos se sigue: que la densidad de los gases y vapores influye notablemente en la producción y propagación del sonido, pues éste resulta tanto más débil y se propaga más difícilmente, cuanto menor es la densidad de aqué-

llos; así es que los sonidos que se producen y propagan en el hidrógeno, cuya densidad es tan pequeña respecto de la del aire, apenas se perciben.

14. *La influencia* de la densidad de los gases respecto á la producción y progación del sonido en los mismos, se comprueba con los ejemplos siguientes que entre otros se pueden citar: el hecho de que un pistoletazo disparado en lo alto de las montañas se oye menos que un pequeño petardo en los valles; el observado en las ascenciones aerostáticas, en las cuales resulta una notable disminución de la voz á medida que es mayor la altura á que se va elevando el globo, y el oír desde éste el ruido producido en tierra, no oyéndose desde ésta el producido en aquél. Por esta razón es posible oír bien desde la altura de una torre ó elevación al que habla abajo, y difícil el entender desde esta parte al que está en alto: todo lo cual proviene de que la densidad de las capas atmosféricas es menor en las superiores que en las inferiores.

15. *La trasmisión* del sonido por los líquidos es más fácil que por el aire; pues se observa que bajo el agua se oyen con facilidad sonidos que se perderían fuera de élla.

16. *En los sólidos compactos* la trasmisión es más fácil y perfecta que en el aire y que en los líquidos; pues si con las barbas de una pluma ó con la punta de un alfiler se produce una pequeña fricción en el extremo de una barra de hierro, ó de un madero de gran longitud, se percibe perfectamente aplicando el oído otra persona al extremo opuesto, cuando separándolo nada se advierte por el intermedio del aire.

La más fácil y perfecta propagación de las vibraciones por los sólidos explica muchos fenómenos, curiosos unos é importantes otros, y es el fundamento de la aplicación de los escuchas y del juguete denominado teléfono de hilo, que tanto llamó la atención no hace muchos años; que á los pocos, perfeccionado por Bell, admiró al mundo, y que, variado de diferentes modos, es hoy una aplicación interesante de la electricidad y un suplemento ó auxiliar importante de la telegrafía eléctrica.

La explicación del teléfono de hilo es tan fácil que basta hacerla verbalmente con él á la vista.

17. *El sonido y el ruido*, aunque esencialmente vienen á ser una misma cosa; se distingue uno de otro con diferente nombre por algunas circunstancias especiales de su producción.

18. *Sonido propiamente dicho, regular ó sonido musical* es todo aquel que se origina por vibraciones isócronas, continuadas y comparables con las que produce otro cualquiera, por cuyas cualidades afecta al ánimo de una manera agradable.

19. *Ruido* es todo sonido irregular que resulta por vibraciones irregulares, sin isocronismo, sin continuidad y sin posibilidad de ser comparadas, afectando al ánimo de un modo más ó menos desagradable.

Tales condiciones no pueden servir, como se comprende fácilmente, para establecer límites que hagan distinguir de un modo determinado un sonido de un ruido; tanto menos cuanto que un ruido se puede considerar como un conjunto de sonidos regulares, según la descomposición que hoy se sabe hacer de los sonidos y ruidos.

II.

20. *La propagación* del sonido, ó sea la comunicación de las vibraciones de los cuerpos al aire y de éste al tímpano del oído, se efectúa por la serie de ondas llamadas sonoras que aquéllas originan.

21. *Se da el nombre de ondas* en Acústica, á cada una de las capas ó columnas aéreas que, por condensación ó espansión, resultan modificadas alrededor de los cuerpos vibrantes durante el movimiento vibratorio de sus moléculas.

22. *Las ondas sonoras* se pueden considerar formadas en una columna de aire homogénea, encerrada en untubo cilíndrico, abierto y de longitud indefinida, ó en un espacio abierto é indefinido en todos sentidos, como la atmósfera, que por ser los casos más generales se debe estudiarlos cual tipo ó modelo de todo otro.

Se considera antes y más principalmente el primero de los dos casos indicados, por la facilidad y sencillez con que, generalizando, se pasa al segundo.

23. *Para comprender* la formación y marcha de las ondas sonoras en el tubo cilíndrico, ó sea en el primer caso, basta considerar el movimiento de vaivén de una lámina elástica ó de un pistón al extremo ó entrada de un tubo cilíndrico, de longitud indefinida y lleno de aire á temperatura y presión constante, cuya disposición se puede representar por las figuras (58 á 62).

Fija dicha lámina por uno de sus extremos, si se la separa de su posición normal, dejándola luego escapar hacia el interior del tubo, en virtud de su elasticidad hará una vibración sencilla; retrocediendo enseguida, hará otra inversa, concluyendo así una vibración completa ó doble, que, repitiéndose sucesiva y continuamente, conmoverá al aire del tubo de la manera siguiente. En la primera vibración sencilla de la citada lámina, ésta con su velocidad conmueve y lleva delante de sí á el aire que encuentra en su camino, el cual por su gran compresibilidad comunica instantáneamente la presión recibida á las capas inmediatas hasta una distancia más ó menos grande, según la mayor ó menor fuerza de impulsión de la antedicha lámina; de lo que resulta una primera capa de aire comprimida, que constituye la primera onda. Ésta, por su elasticidad, reobra sobre la columna igual inmediata, la comprime á la vez y queda en su primitivo estado de equilibrio; la segunda onda engendra igualmente otra tercera, volviendo ella como la primera á su equilibrio, y así sucesiva é independientemente. Al retroceder la misma lámina y ejecutar la segunda vibración sencilla, para volver á la posición de donde partió al empezar la primera, deja un vacío, y la columna en que se enjendró la primera onda, por compresión, se dilata hacia aquél y contituye otra primera por espansión ó dilatación; sobre ésta se dirige la columna inmediata dilatándose á su vez, mientras que la primera vuelve á su estado de quietud; de la dilatación de la segunda columna resulta la de la siguiente y la vuelta de aquélla á su equilibrio y así sucesivamente. De este modo, mientras la compresión se va propagando de capa en capa hacia adelante, se produce una dilatación en la que antecede á la comprimida, resultando así dos columnas inmediatas, una comprimida y otra dilatada, y quedando las demás en su primitivo equilibrio.

Lo que sucede en un tubo ilimitado, se efectúa igualmente si se considera una lámina elástica en la sección intermedia de otro indefinido hacia uno y otro lado de dicha sección; pues al engendrarse el movimiento ondulatorio en la parte de la derecha, se engendra también en el de la izquierda, sólo que en orden inverso, esto es, que cuando las ondas se hallan comprimidas y dilatadas en la primera, las de la segunda de iguales lugares lo están dilatadas y comprimidas en virtud de la acción inversa de la referida lámina, que mientras se dirige á la derecha y comprime, por la izquierda ocasiona el vacío á que sigue la dilatación ó espansión del aire inmediato.

24. *Movimiento ondulatorio* del aire es la modificación que se produce por las vibraciones de un cuerpo en la columna de aire que lo rodea, dividiéndose ésta en capas ó columnas parciales iguales, que se agitan comprimiéndose y dilatándose alternativa y continuamente, mientras dura el movimiento vibratorio del cuerpo.

25. *Se denominan ondas condensadas* las columnas aéreas que, en cada instante, resultan comprimidas por efecto del choque del cuerpo ó lámina vibrante contra el aire que encuentra en su camino al hacer cada vibración sencilla; y *ondas dilatadas* las columnas aéreas que, en cada instante, se hallan en aquel estado por la espansión consiguiente al vacío que se forma tras la lámina vibrante, en el espacio que abandona al hacer cada vibración sencilla.

26. *Se da el nombre* de *centro de conmoción* al punto ó espacio en que vibra un cuerpo, alrededor del cual se engendra cualquier movimiento.

27. *Todas las ondas* que se hallan equidistantes del centro de conmoción, están modificadas inversamente; si la del uno está comprimida, la del otro se halla dilatada, y viceversa; de donde resulta que las de un mismo lugar, par ó impar, á uno y otro lado del centro de conmoción, se hallarán siempre en estado contrario de condensación y dilatación, y las de diferente lugar, una par y otra impar, en estado igual.

Además, por la simple inspección de la figura 59, resulta:

1.° Que ondas impares ó pares de un mismo lado, respecto del centro de conmoción, resultan en igual estado de condensación ó dilatación, si bien á la inversa en el un caso respecto del otro, esto es, que todas las impares estarán condensadas y todas las pares dilatadas, ó, al contrario, todas las impares dilatadas y las pares condensadas.

2.° Que una onda par y otra impar, ó viceversa, del mismo lado del centro de conmoción resultan en estado contrario, pero inversamente en el un caso respecto del otro, esto es, una par condensada y otra impar dilatada, ó la par dilatada y la impar condensada.

3.° Que ondas equidistantes del centro de conmoción están en estado contrario la de un lado condensada y la del otro dilatada, ó si dilatada la primera, la segunda condensada.

4.° Que las de lugar par ó las de impar á uno y otro lado del centro de conmoción resultan en estado contrario si una condensada, la otra dilatada y á la inversa.

5.° Que las de lugar par de un lado del centro de conmoción con las de impar del otro, ó al contrario, resultan en el mismo estado, ambas dilatadas ó las dos condensadas, y viceversa.

6.° Que ondas cuyas distancias del mismo lado al centro de conmoción se diferencian en un número par de ellas resultan en igual estado, condensadas á la vez ó dilatadas, y en estado contrario condensadas unas y dilatadas otras si dicha diferencia es un número impar.

Finalmente, que las de uno y otro lado del centro de conmoción, si se diferencian en un número par, resultan en estado contrario, pero en igual si dicho número es impar.

28. *La formación* y propagación de las ondas esféricas, que trasmiten los sonidos en el aire, se efectúa semejantemente que en la columna de aire contenida en un tubo, con la única diferencia de que las ondas en aquél son cilíndricas como él y todas iguales; mas en los espacios de la atmósfera, abiertos é indefinidos en todos sentidos, aquéllas se engendran conmoviéndose el aire en los puntos correspondientes á la región del espacio hacia donde vibra el cuerpo puesto en vibración y resulta una onda, especie de hemisferio, en aquella dirección, y otra de igual forma, pero en estado contrario, hacia la región opuesta. Á estas primeras ondas se sigue la producción de las subsiguientes, pero cuya magnitud aumenta más y más á proporción que, por aumentar las distancias, lo efectúan también las superficies esféricas de las que aquéllas son rádios.

29. *La marcha* ó propagación de las ondas sonoras en el aire no se verifica por su movimiento progresivo ó de traslación, sino por las respectivas condensaciones y dilataciones, que constituyen el movimiento ondulatorio; asimilándose al experimento con el aparato de las siete esferas, en que separando la primera, elevándola á una altura y dejándola caer sobre su inmediata, ésta como aquélla y las cuatro siguientes, al través de las cuales se comunica el movimiento, quedan en reposo y sólo se mueve la séptima con la velocidad trasmitida.

30. *Para ejemplo* de la producción y propagación de las ondas esféricas en el aire y de que se pueden cortar mútuamente sin perturbarse, como lo prueba el oirse distintamente y á la vez todos los sonidos de una orquesta ó banda de música, podemos citar el fenómeno visible que se observa al dejar caer un cuerpo pequeño sobre la superficie de nivel de un depósito de líquido. Consiste en la formación sucesiva de círculos concéntricos alrededor del punto sobre el cual cae el cuerpo, cuyo dibujo no se desforma, ni pierde su limpieza y perfección, cuando aquéllos son cortados por los que se originan igualmente alrededor de otro punto inmediato.

31. *En el movimiento* ondulatorio, se da el nombre de *ondulación* al conjunto de dos ondas contiguas, una dilatada y otra condensada; llamándose *semi-ondulación* á cada una de las dos (figura 60), y en él, según (XLV—28), resulta: que ondulaciones que se diferencian en un número par de ondas ó semiondulaciones, se hallan en igual estado, esto es, la una con sus ondas, condensada la primera y dilatada la segunda, y lo mismo la otra ó al contrario (f.ª 62); pero si es en número impar, resultan en estado inverso las ondas de la una respecto de las de la otra, esto es, si condensada la primera, dilatada la segunda en la una, y dilatada y condensada en la otra, ó al contrario (f.ª 61).

32. *Las odulaciones* engendradas en un mismo punto, ó en uno ó más centros de conmoción, si por cualquier circunstancia se sobreponen después de haber andado caminos desiguales, podrán reforzarse ó destruirse mutuamente, según sus estados. Se refuerzan cuando siendo idénticas se encuentran de modo que la onda condensada coincide con la condensada, y la dilatada con la dilatada; mas se destruyen cuando se encuentran coincidiendo cada una de sus ondas con la contraria de la otra, esto es, la condensada de la primera ondulación con la dilatada de la segunda, y la dilatada de aquélla con la condensada de ésta. Lo primero sucede cuando los caminos andados por las dos ondulaciones se diferencian en un número par de ondas ó semiondulaciones, y lo segundo cuando se diferencian en un número impar.

LECCIÓN XLVI.

I. Cuerpos sonoros.—Circunstancias que es necesario considerar en un mismo sonido.—Gravedad y agudeza de los sonidos.—Límite de los sonidos perceptibles.— Velocidad del sonido y causas que en ella influyen.—II. Variaciones de la intensidad del sonido y causas de que dependen.—Leyes del decrecimiento de la intensidad del sonido por la distancia.—Reflexión y refracción del sonido.—Ecos y resonancias.—Análisis y síntesis de los sonidos.

I.

1.ª *Se da el nombre* de cuerpos sonoros á los de cualquier materia que, por el estado de agregación de sus moléculas, sus dimensiones y alguna otra circunstancia, puestos en vibración, producen sonidos regulares ó musicales.

2.ª *En todo sonido* regular ó musical hay que considerar tres cosas ó cualidades, que son: intensidad, tono y timbre.

3.ª *Intensidad de un sonido* es la mayor ó menor energía con que, en igualdad de las demás circunstancias, es impresionado el oído. Depende de la mayor ó menor amplitud de las vibraciones, que á su vez resulta de la mayor ó menor fuerza de percusión, fricción, etc. con que se conmueve á los cuerpos sonoros, y de alguna otra circunstancia.

4.ª *Tono* de un sonido es la calidad especial de cada uno de los diferentes que puede ocasionar un mismo instrumento ó cuerpo sonoro, independientemente de la intensidad con que se produzca; cuyas diferencias provienen del número de vibraciones ejecutadas por el cuerpo en un tiempo dado.

Aunque no sea fácil percibir ó distinguir á simple vista las vibraciones y parezca imposible contar su número, sin embargo, éste se puede apreciar con los correspondientes aparatos por diferentes métodos, como son: 1.° El acústico con la sirena ó con la rueda de Savart; 2.° El gráfico con el aparato denominado vibroscopio de Duhamel ó con el fonotógrafo de Scott; 3.° El óptico de Lisajaus, y 4.° El de las llamas sonoras ó cantantes.

Todos estos métodos exigen experimentos y una detención que se hacen imposibles en lecciones elementales, fuera de una sencilla indicación verbal á la vista de los aparatos de que se disponga, como por ejemplo la sirena y el vibroscopio de Duhamel.

Así como sólo es dable en estas lecciones una indicación verbal del vibroscopio de Duhamel y del fonotógrafo de Scott, por iguales razones sólo es posible la misma indicación respecto del fonotógrafo parlante ó simplemente fonógrafo de Edison. Este admirable aparato, que se puede considerar como una ingeniosa modificación del fonotógrafo, fué inventado en los Estodos-Unidos en 1877 é importado á Europa en 1878.

El fonógrafo tiene por objeto el inscribir por su medio, con un primer movimiento, los sonidos músicos y los articulados de la palabra en una fina hoja metálica, donde quedan como gravados las curvas ó dibujos expresión gráfica ó representación material de los mismos, y está dispuesto de manera que con un segundo movimiento, inverso del primero, en cualquier época, próxima ó lejana, reproduce, con sólo alguna diferencia en timbre, los mismos sonidos producidos ante el aparato, como si sonase el mismo instrumento ó hablase la misma persona que los emitieron.

5.ª *Los sonidos,* por razón de su tono, se denominan *graves* ó *agudos,* según el menor ó el mayor número de vibraciones con

que se producen en igual tiempo: se consideran graves los que son producidos por un corto número de vibraciones, y agudos los originados en igual tiempo por gran número de aquellas.

La clasificación de los tonos en graves ó bajos y agudos ó altos es muy indeterminada, pues dependiendo del número de vibraciones y siendo éste variable al infinito, también lo serán aquéllos; por cuya razón la cuestión de gravedad ó agudeza de los sonidos sólo se puede considerar relativamente de unos á otros, siendo el más grave el producido por el menor número de vibraciones en un tiempo dado, y el más agudo el que lo sea con el mayor. Por consecuencia de esto, para el estudio comparativo de los sonidos se hace necesaria una escala gradual con sus divisiones y subdivisiones. En ella se considerará para cada cuerpo como sonido grave en absoluto el más grave de todos, que será el primero que se pueda percibir con el menor número de vibraciones, y sonido agudo absoluto el más agudo de todos ó el último de los que se puedan percibir con el mayor número posible de aquéllas, y de aquí la necesidad de considerar los límites de los sonidos.

6.ª *Se entiende* por límite de los sonidos perceptibles, el menor número de vibraciones con que es posible percibir un sonido grave, ó el mayor hasta que es posible la percepción de los agudos y más allá del cual es imposible ya su percepción.

Antes de los experimentos de Savart, se asignaba para límite de los sonidos perceptibles el número de 32 vibraciones simples por segundo para los graves, y 18000 para los agudos. Después de los trabajos de Savart se sustituyeron aquellos números con los de 14 á 16 vibraciones simples para los sonidos graves, y 48000 para los agudos: según Despretz dichos límites son 32 y 73700.

7.ª *La cuestión* del límite de los sonidos perceptibles no es fácil resolverla de un modo absoluto y determinado, toda vez que su resolución depende no sólo de los ingeniosos aparatos empleados en los experimentos correspondientes, sino que también de la mayor ó menor finura y educación del oído del observador.

8.ª *El timbre* de los sonidos es la cualidad especial y característica de los de cada instrumento ó cuerpo sonoro, independientemente de su tono é intensidad; cuya cualidad hace distinguir los diferentes instrumentos aunque den igual tono, á la manera de lo que se llama metal de la voz, que hace distinguir la de las diferentes personas.

Aunque durante mucho tiempo se ignoró en lo que consistía el timbre y sólo se comprendía podía depender de su materia y agrupación de

ella en los cuerpos vibrantes, de su forma, dimensiones y alguna otra circunstancia, en 1863 Helmoholz, hizo ver era debida al mayor ó menor número de armónicos que acompañan á los mismos y cuyo primer estudio aparece fué hecho por Sauveur en 1700.

9.ª *La velocidad* del sonido se define diciendo: es el espacio que recorre el mismo en un segundo; pero no siendo el sonido sino una sensación, no se traslada, ni tampoco las vibraciones que lo ocasionan y, por lo mismo, tal definición es defectuosa. Por esta razon se debe definir diciendo: es la distancia á que alcanza la comunicación de las vibraciones del cuerpo sonoro, durante un segundo, en el medio por donde se propaga, y entender que el sonido originado por las vibraciones de un cuerpo colocado á tal distancia, lo percibe el oído un segundo después de empezar aquéllas.

10. *La velocidad* del sonido en el aire seco y tranquilo á cero grados, se ha calculado ser 333 metros, ó unos 1195 pies castellanos, valor que se diferencia poco de 331$^{m.}$, 12 que resultan por datos experimentales; á 10° del centígrado es de 337 metros, ó sean 1209 $^1/_2$ pies, y á 16°, es de 340$^{m.}$, 89, ó unos 1223 $^1/_2$ pies.

11. *La velocidad* del sonido se midió ya en 1738 entre Montmartre y Montlhéry, á los alrededores de París, obteniéndose desde luego la certeza de que la trasmisión del movimiento vibratorio en el aire era uniforme. Posteriormente, en 1822, se ejecutaron experiencias con las mejores condiciones, y se determinó, con la mayor exactitud, que á la temperatura reinante, 16°, con cielo despejado y viento suave, aquélla era de 340$^{m.}$, 888 por segundo, y que la propagación es con movimiento uniforme.

Las experiencias se hicieron colocando una pieza de artillería en Villejuif y otra igual en Montlhéry, distantes 18612,52 metros, situándose en ambos puntos observadores provistos de cronómetros exactos y acordes.

Se empezaron á las 11 de la mañana del 21 de Junio, disparando de 10 en 10 minutos y anotando cada observador el tiempo trascurrido entre el instante del disparo de la pieza del punto en que se hallaba el otro y el de percibir el estampido: tomando por instante del disparo el de la percepción de la luz, pues aunque teóricamente se concibe una diferencia, es infinitamente pequeña y despreciable, en atención á la gran velocidad de dicho agente y la pequeña distancia de los 18612,52 metros entre los puntos del experimento.

Repetidos los disparos y anotaciones, y tomado el término medio, se halló que el tiempo empleado desde el disparo de una pieza y la llegada de su estampido al oído del observador, ó sea el empleado en la trasmisión entre ambos puntos, era de 54", 6; de donde en el supuesto del movimiento uniforme, según la fórmula $v=e:t$, se sacó $v=18612{,}52$ metros : 54",6=340,888 metros ó sean los 340, 89 metros.

El disparo de las dos piezas en ambos puntos y no en uno solo, se adoptó para compensar cualquier influencia de la dirección del viento y hacer más exactos los términos medios de los tiempos anotados en cada observación ó disparo y el resultado final.

Que la trasmisión del movimiento vibratorio es uniforme, está probado con experiencias secundarias por las que se obtuvieron resultados de tiempos proporcionales á las distancias parciales de la total.

Las velocidades á 0° y otras temperaturas se han calculado valiéndose de la hallada á los 16° y de fórmulas que hay para ello.

12. *Las variaciones* de temperatura, presión, densidad y estado higrométrico del aire, su estado de movimiento ó quietud, dirección del viento, sentido de la propagación y estado del cielo, son circunstancias que no todas influyen en la velocidad del sonido, haciéndolo unas, y otras no.

La temperatura influye en la velocidad del sonido por el aire, como indican los resultados á 0°, 10° y 16°, y los obtenidos en experimentos hechos á bajas temperaturas. De éstos resulta, que es tanto menor cuanto más baja es aquélla ó cuando hace más frío.

También influye la dirección del viento, fuera del caso de ser ésta perpendicular á la del sonido en que aquélla no se altera. Cuando las direcciones del sonido y el viento son iguales, la velocidad del primero aumenta con la del segundo si van en un mismo sentido, y disminuye con la del mismo viento si van en sentidos opuestos. En las demás direcciones la velocidad aumenta ó disminuye según la resultante de ambas velocidades. Finalmente, aunque se ha venido admitiendo que la intensidad de los sonidos no influía en su velocidad, según los experimentos de Regnault, resulta que algo influye.

No se altera cualquiera que sea el estado del cielo, bien se halle despejado ó cubierto, y por consiguiente no debe influir el estado higrométrico del aire. Tampoco influyen las variaciones de tono y timbre de los diferentes sonidos, pues que todos llegan á la vez al oído del observador. Últimamente, en una atmósfera tranquila la velocidad no se altera, cualquiera que sea la presión barométrica, la diferencia de alturas, ni porque la dirección de la propagación sea de arriba abajo ó en orden inverso.

La velocidad del sonido cambia en los diferentes gases conforme á su densidad, pues es tanto mayor, cuanto menor es ésta: hecho que

está en conformidad con las variaciones de velocidad en el aire por razón de la temperatura, toda vez que es mayor á medida que aquélla crece, lo cual equivale á menor densidad; no teniendo tal vez nada de extraño el que no varíe con la presión barométrica, que también conduce á cambios de densidad, por las diferencias poco notables, tal vez, á que se han podido hacer los experimentos.

Determinado el número de vibraciones con que se produce un sonido y sabido que la velocidad de éste es de 337 metros por segundo á la temperatura de 10° del centígrado, que es como término medio de las temperaturas ordinarias, se puede hallar la longitud de la correspondiente onda dividiendo dicha velocidad por el expresado número de vibraciones.

En efecto, si un cuerpo diera una sola vibración por segundo, se formaría sólo una onda, la cual, según lo que se debe entender por velocidad del sonido, alcanzaría hasta los 337 metros; si dos, se formarían dos ondas, y como con las dos alcanzaría la propagación hasta los 337, la suma de las dos sería 337 metros, y el valor de una sola la mitad ó $\frac{337^{ms.}}{2}$; si tres, se formarían tres ondas y por iguales razones el valor de una sería la tercera parte de 337 metros, esto es $\frac{337^{ms.}}{3}$, y así sucesivamente; luego si se representa por l la longitud de la onda, por n el número de vibraciones por segundo, y por v la velocidad, $l=\frac{v}{n}$ y por consiguiente $n = \frac{v}{l}$; de donde se deduce que el número de vibraciones con que se produce cada sonido, está en razón inversa de la longitud de la onda.

13. *Conocida* la velocidad del sonido, se puede medir la distancia entre dos puntos, valuando el tiempo trascurrido entre el instante de su producción en el primero y el en que se percibe en el segundo; pues siendo $e=vt$ (XXVI—2.ª), bastará multiplicar la velocidad $340^{ms.},89$ ó los $1223\ ^1/_2$ pies por el número de segundos, y el resultado expresará respectivamente en metros ó pies la distancia pedida.

Por este medio se mide aproximadamente la distancia de la nube cuando truena, contando los segundos que trascurren desde que se ve el relámpago hasta oír el trueno.

14. *La velocidad* del sonido, según los correspondientes experimentos, es mayor en los líquidos que en los gases, y mucho más en los sólidos que en los líquidos. En el agua, según los experimentos de Colladón y Sturm, viene á ser cuatro veces mayor

que la del aire. En los sólidos varía de unos á otros; pues es 9 veces mayor que en el aire, si se refiere á la plata; 10 si al cobre, y 17 en el hierro, acero y vidrio; pudiéndose considerar comprendida entre 4 y 17 veces la del aire para los metales, y entre 10 y 17 para las maderas.

II.

15. *La intensidad* del sonido no es constante ni aun en un mismo medio, pues es menor, como se ha visto al tratar de la propagación, á medida que lo es la amplitud de las vibraciones que lo engendran ó que decrece la densidad del medio. En el aire varía notablemente, en igualdad de las demás circunstancias, con el viento, con la temperatura del día á la noche y, por último, según su modo de propagación. Verificándose ésta en la columna de aire contenida en un tubo cilíndrico, permanece constante á todas las distancias. En esto se funda el uso de los tubos acústicos.

16. *La intensidad* del sonido es constante en toda la columna de aire contenida en cualquier tubo cilíndrico, porque siendo todas las ondas que en ella se forman cilíndricas é iguales entre sí, al formarse las ondulaciones, sus ondas siempre reciben el mismo grado de condensación y dilatación, y hallándose á toda distancia con igual fuerza, al chocar contra el tímpano del oído le causan igual impresión y el sonido resulta con la misma intensidad.

17. *Para demostrar esto*, Biot observó el sonido comunicado por el interior de tubos de la conducción de aguas á París, cuando, vacíos de aquélla, sólo estaban ocupados por el aire, y halló que no se notaba disminución alguna á la distancia de 951$^{m.}$ y que se podía seguir una conversación en voz baja entre dos personas colocadas á los extremos de dichos tubos.

Sin embargo, de las experiencias hechas por Regnault en tuberías de conducción del gas del alumbrado, resulta: que la velocidad y aun la intensidad del sonido no es constante, como parece debía suceder en su propagación por tubos cilíndricos y largos, pues se ve que la intensidad disminuye con el diámetro de los tubos; razón por la cual no es posible admitir que la propagación por éstos sea completamente indefinida.

18. *La intensidad* del sonido en el aire ó espacios indefinidos de la atmósfera, varía con la distancia, porque cuanto mayor es ésta, y en su consecuencia el radio de cada onda subsiguiente, mayor es la masa aérea esférica de la onda á donde llega la conmoción, que siendo siempre la misma, comunicará menor fuerza á los puntos de cada onda, al repartirse entre ellos, cada vez mayores en número. Variación que se efectúa según la ley fija siguiente: las intensidades de los sonidos engendrados por un cuerpo, resultan en razón inversa de los cuadrados de las distancias.

19. *Esta ley* se puede demostrar analítica ó experimentalmente.

En el primer caso se efectúa por el raciocinio siguiente: si llamamos C á la fuerza de conmoción con que el cuerpo vibrante engendra la primera onda y S á la superficie esférica de ésta, cuyo radio ó distancia al centro de conmoción podremos llamar R; C : S vendrá á ser la intensidad correspondiente á cada punto de la superficie S de la onda, y representada por y, tendremos $y=C:S$; mas si en vez de considerar la conmoción á la distancia R, lo hacemos á la R' y llamamos S' á la superficie de la nueva onda, por iguales razones la intensidad y' de conmoción en cada uno de sus puntos será $y'=C:S'$; y como de ambas ecuaciones se deduce que $C=y\ S$, $C'=y'\ S'$, de aquí que $y\ S=y'\ S'$. Ahora bien, siendo el producto y S de dos factores igual al y' S' de otros dos, con los cuatro se podrá formar la proporción $y:y'::S:S$; pero estando las áreas de las superficies esféricas en razón de los cuadrados de sus radios, se tendrá que $S':S::R'^2:R^2$; de cuya proporción y la anterior, que tienen la razón común S' : S, resulta $y:y'::R'^2:R^2$, que expresa la ley enunciada.

La demostración experimental, se ejecuta haciendo sonar una campanilla á una distancia dada del observador y un aparatito compuesto de cuatro campanillas exactamente iguales á la primera, el cual se aleja hasta que el oído perciba el sonido formado por el conjunto de sus cuatro campanillas igual al que produce la primera sola, en cuyo caso se ve que la segunda distancia es doble de la primera. Ahora bien, oír el sonido de cuatro campanillas como el de una, que es la cuarta parte del de las cuatro, es

haberse reducido á la cuarta parte de su valor, y oírse disminuído el de cada una en su cuarta parte; luego si la campanilla sola á la primer distancia, que podremos llamar uno, suena con una intensidad uno, y á distancia doble, que podremos llamar dos, como un cuarto, la razón de sus intensidades viene á ser la de $1 : {}^1/_4 = 4 : 1 = 2^2 : 1^2$, razón inversa de los cuadrados de las distancias uno y dos.

De la disminución de la intensidad de los sonidos por la distancia resulta, que, según sus intensidades, se dejan de percibir cada cual á distancia diferente, como se ve en la siguiente tabla de los datos presentados sobre este particular á la Academia de Ciencias de París por Mr. Hamanvi.

Sonido.	Distancia en metros.	Sonido.	Distancia en metros.
El del silvato	3000	Canto del gallo.	1400
El de la campana. . .	1600	De las ranas.	1000
Rumor de la marcha del convoy férreo. .	2500	Del grillo.	800
El estampido del tiro de fusil.	1800	Voz humana de bajo á alto.	400
Ladrido del perro. . .	1800	Id. en orden inverso.	100

20. *Las variaciones* de intensidad según el estado de movimiento ó reposo del aire son: que la intensidad es mayor en el aire tranquilo que cuando hay vientos; que en este caso es mayor en la dirección perpendicular á la propagación del sonido que en las demás; mayor en la dirección del viento que en su opuesta, y mayor también en el invierno que en el verano.

21. *Asimismo* resulta que es mayor de noche que de día, no por el silencio de aquélla, sino por la mayor densidad y homogeneidad que debe tener el aire con su menor y casi igual temperatura; pues se ha observado que en algunos desiertos, no obstante el mayor ruido de los insectos por la noche que por el día, la intensidad resulta mayor durante aquélla.

22. *Se da el nombre* de reflexión del sonido al retroceso que experimentan las ondas sonoras al encontrar un obstáculo en la dirección de su propagación. Se puede efectuar sobre los sólidos, sobre los líquidos y hasta sobre las nubes.

23. *La reflexión* del sonido se efectúa con las mismas leyes

que las de los cuerpos elásticos, como un caso particular de éstos, atendida la perfecta elasticidad de la onda aérea.

24. *La reflexión* de las ondas sonoras, semejante á la que se observa en las formadas sobre las superficies de los líquidos, se confirma por la formación de los ecos y de las resonancias.

25. *La reflexión del sonido* se comprueba experimentalmente de la misma manera que la del calórico, colocando un reloj de bolsillo en el foco de uno de dos espejos parabólicos, y el oído del observador en el del otro; pues resulta que se oyen sus oscilaciones, aunque la distancia sea algo considerable, sin hacerse perceptible á distancias menores intermedias.

26. *Se da el nombre* de resonancias á la repetición de sonidos directos que, en locales más ó menos limitados y por efecto de la reflexión de las ondas sonoras, se perciben á la vez que aquéllos sin poder distinguir bien unos de otros, por confundirse como en uno solo sostenido ó reforzado.

27. *Sonido directo* es el producido por las ondas que, partiendo del centro de conmoción, llegan al oído en la dirección rectilínea de su propagación, sin experimentar antes reflexión alguna.

28. *Se da el nombre de ecos* á unos segundos sonidos que, en ciertos locales y por efecto de una ó más reflexiones, se perciben tras los directos, distinguiéndose de éstos los repetidos como si fuesen diferentes.

29. *La formación de los ecos* es la siguiente: cuando se hace vibrar un cuerpo en el aire, se originan ondas en todos sentidos, de las cuales las que penetran en el oído de los oyentes dan los sonidos directos, y de las restantes las que se reflejan sobre obstáculos, como las superficies de las paredes, montañas y aun de las nubes, si en su nueva dirección encuentran también el oído del observador, dan otros nuevos sonidos como repetición de los primeros, constituyendo los ecos de éstos.

Las resonancias se forman de la misma menera con la diferencia de que se producen por reflexiones sobre planos que distan del oído del observador menos de 17 metros, como sucede en las habitaciones y espacios de estrechos límites, por cuya razón se producen con tan corto intervalo de tiempo que casi se confunden en uno con los sonidos directos.

Las distancias á que es necesario se hallen los planos reflectantes del punto de origen de los sonidos para que resulten los ecos, han de ser mayores que 17 metros, y menores para la producción de las resonancias.

En efecto, siendo la velocidad del sonido en el aire 340 metros por segundo, á la temperatura ordinaria, y el tiempo empleado en la pronunciación de una sílaba 1|10 de segundo, al terminar la de cada sílaba, las ondas engendradas habrán podido avanzar 34 metros, décima parte de los 340, y como la onda reflejada gasta en retroceder desde un plano reflector al oído del observador el mismo que desde éste á aquél, claro es que si hay un plano reflectante á 17 metros, las ondas llegarán á él en medio décimo de segundo y retrocederán en el otro medio, resultando andados los 34 metros en el 1|10 de segundo al terminar la sílaba pronunciada; lo que producirá inmediatamente su repetición, sin confundirse en nada con el primer sonido directo, dando el eco primero ó más inmediato que se puede originar. Si el plano se hallase á menos de 17 metros, la repetición ó eco se produciría estando percibiendo aún el sonido directo y se confundiría con el mismo, constituyendo resonancia.

Fundados en este pequeño cálculo, se comprende que, pudiendo combinarse la situación del observador, la de los planos reflectantes y sus distancias al oído de aquél de distintas maneras, los ecos podrán resultar también de varias clases.

30. *Los ecos* por razón de las sílabas, cuya repetición se oye después de terminado el sonido directo de una palabra, pueden ser monosílabos, bisílabos y polisílabos, y por razón del número de veces que se repita por su reflexión cada sonido, sílaba ó palabra, pueden ser únicos y múltiplos.

31. *Los ecos* serán monosílabos si por hallarse el plano reflectante á 17 metros, sólo se oye distintamente la última sílaba de la palabra, confundiéndose por resonancia todas las que anteceden á la úlima con las que siguen á la primera; bisílabo cuando, por hallarse el plano reflectante á 2 veces los 17 metros, se oyen sola y distintamente las dos últimas sílabas; siendo trisílabo cuando el plano reflectante se halle 3 veces los 17 metros, y así sucesivamente.

32. *Los ecos* son múltiplos cuando un mismo sonido se repite dos ó más veces. Se forman cuando existen planos reflectantes á distancias diferentes del observador y cuyas reflexiones producen la misma repetición después de tiempos mayores, según las distancias de los diferentes planos, lo que permite percibir un eco

antes de llegar el siguiente, razón por la cual se pueden oír unos tras otros.

33. *Las resonancias* bien calculadas son útiles á los oyentes, porque reforzados con ellas los sonidos directos, éstos vienen á ser más intensos y más perceptibles para aquéllos. Los ecos, por el contrario, son perjudiciales, porque interponiéndose á los sonidos directos, no es posible percibir éstos con el órden y claridad debidos y, por lo mismo, deben evitarse.

Esto se consigue en las iglesias y sitios semejantes, poniendo en las paredes colgaduras, que por ser cuerpos blandos no reflejan las ondas sonoras y éstas se extinguen; con lo que, no resultando ecos, sólo se perciben los sonidos directos clara y distintamente.

34. *La refracción* del sonido es el desvío que experimentan las ondas sonoras al pasar oblícuamente de unos medios á otros de diferente naturaleza ó densidad, acercándose ó alejándose su nueva dirección de la normal á la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia ó por donde la onda penetra.

35. *Así como* en el calor y luz hay que estudiar, según se verá en las correspondientes lecciones, además de su reflexión y refracción, su dispersión, igualmente hay que considerar en los sonidos, además de su reflexión y refracción, su descomposición ó sea el análisis y la síntesis de los mismos. De este estudio resulta que los sonidos pueden ser simples y compuestos.

Sonido simple es el que resulta, por un solo género de vibraciones, sin mezcla de armónicos, y *compuesto* el producido por varios superpuestos.

Los sonidos aislados se consideraron como simples hasta que en 1863 Helmholtz demostró que casi todos son compuestos. Hoy se analizan y reconocen los sonidos componentes con aparatos ingeniosos, como veremos se descomponen los rayos luminosos con los prismas; y no sólo se descomponen, sino que se ejecuta también su síntesis ó recomposición, llegando á reproducir un sonido dado por la reunión de los sonidos simples obtenidos ó indicados por los aparatos correspondientes, denominados *cajas* de Helmholtz ó resonadores.

La análisis y la síntesis de los sonidos, aunque de sumo interés hoy en la ciencia, tampoco son propias de lecciones elementales, á no ser su texto, de volumen y peso realmente insoportables á los alumnos; por cuya razón hay que prescindir igualmente de dar explicación de las

muchas aplicaciones correspondientes á la Acústica, como el uso de los estetoscopios, trompetillas acústicas para los sordos, bocina y otras.

36. *Los hechos* de la refracción y descomposición de los sonidos tienen desde luego la importancia de hacernos ver, que si las ondas sonoras se reflejan á la manera de los cuerpos elásticos y de los fluidos imponderados calor y luz, asimismo se refractan también como unos y otros, y se descomponen como dichos fluidos.

LECCIÓN XLVII.

I. Clasificación de las vibraciones y de los instrumentos de música.—Cuerdas vibrantes y sus leyes.—II. Particularidades respecto de las varillas, láminas y placas elásticas, así como de las membranas tensas.—III. Breves indicaciones respecto de los tubos sonoros.

I.

1.ª *Los cuerpos sonoros* producen sus sonidos, mediante vibraciones de diferentes clases, según su estado, grado de elasticidad, forma y modo de hacerlos vibrar; por cuya razón las leyes con que se ejecutan son también diferentes y exigen la correspondiente clasificación.

2.ª *La clasificación* de las vibraciones que hay que considerar en Acústica, se puede reducir á los casos siguientes: 1.° Vibraciones de las cuerdas; 2.° De las varillas ó láminas, planchas elásticas y membranas tensas; y 3.° Vibraciones del aire en los tubos sonoros.

En cuantos instrumentos de música se puedan considerar, sus sonidos serán producidos por vibraciones correspondientes á alguno de los indicados casos, esto es: 1.° Á las de las cuerdas vibrantes, *instrumentos de cuerda*, como la guitarra, arpa, violín y piano; 2.° Á las de las varillas, placas elásticas y membranas tensas, instrumentos que se suelen denominar, en conjunto, *instrumentos sencillos ó monótonos*, como campanas, timbres, triángulos y liras; timbales, tambores, panderetas, etc.; y 3.° Á las de los tubos sonoros, denominados *instrumentos de viento*.

Los instrumentos de viento, aunque tantos y de tantas formas, se suelen subdividir en los tres grupos siguientes: 1.° *Instrumentos de embocadura de flauta*, como flauta de pan ó syrinx, el caramillo, flauta, pífano ó flautín y tubos de órgano con dicha embocadura; 2.° *Instrumentos de lengüeta ó estrangur*, como el clarinete, el óboe y fagot; 3.° *Instrumentos de viento, bocal ó embocadura de trompa*, como la trompa de caza, el clarín, figle, cornetín de pistón, etc.

El órgano, el más completo de los instrumentos, *instrumento por excelencia*, según la etimología griega de su nombre, no se puede incluir en ninguno de los grupos anteriormente expresados, porque más bien es, no un instrumento, sino la reunión de muchos de viento, viniendo á equivaler á una orquesta completa.

3.ª *No siendo* posible, en las lecciones de la segunda enseñanza, ocuparse enteramente de todo lo relativo á las diferentes clases de vibraciones, leyes con que se ejecutan, ni tampoco de los instrumentos de música y teoría física y fundamental de ésta, conviene indicar lo más principal de lo relativo á las cuerdas vibrantes y sus leyes; algo acerca de lo referente á placas, varillas y membranas, y dar una idea, aunque ligerísima, de los tubos sonoros, así como de los fundamentos de la teoría física de la música.

4.ª *Cuerdas vibrantes* son los cuerpos filiformes y flexibles, como las cuerdas de guitarra, hilos metálicos, de seda, etc., fijos por sus dos extremos y sujetos convenientemente á la tracción para producir sonidos.

5.ª *Vibraciones de las cuerdas* son los cambios de posición que ejecutan las moléculas y partes de las mismas, cuando por cualquier medio se las separa de la línea recta en cuya dirección se hallan tendidas, apoyadas por sus extremos y con la suficiente tensión, esto es, convenientemente atirantadas.

6.ª *Las vibraciones* de las cuerdas pueden ser de las dos clases siguientes: 1.ª Vibraciones trasversales, que son las ejecutadas por los movimientos de vaivén de las partes ó diferentes segmentos longitudinales de las cuerdas. 2.ª Vibraciones longitudinales, que son las efectuadas por la vibración de sus moléculas ó secciones trasversales en el sentido longitudinal.

Las primeras se producen frotando las cuerdas perpendicularmente á su longitud con el arco de violín, ó cosa equivalente, golpeándolas en la antedicha dirección ó separándolas de la línea recta en que se hallan tendidas, apoyando en un punto intermedio el dedo ó cualquier cuerpo á propósito; y las segundas, frotándolas en sentido longitudinal con un trozo de tela espolvoreado con polvos de colofonia (resina). Las que se estudian con todos sus pormenores son las trasversales, por su generalidad, importancia y leyes á que se sujetan.

7.ª *El monocordio ó sonómetro diferencial*, de M. Marloye, es un aparato que sirve para el estudio de las vibraciones de las cuerdas y comprobación de las leyes con que se efectúan.

Se reduce á una caja hueca de forma de paralelipípedo rectangular, de paredes delgadas de madera y á propósito para reforzar el sonido, la cual se halla apoyada por una de sus dos caras mayores sobre los correspondientes pies, y en la superior lleva tres reglitas paralelas con sus correspondientes escalas: la longitud de la del medio es de un metro, dividido en sus mil milímetros, y las otras dos de igual magnitud y divididas respectivamente en las longitudes correspondientes á los tonos ó notas de las escalas diatónica y cromática. Sobre la misma cara superior, como límites de las escalas, se levantan dos puentes ó caballetes, sobre cuyas aristas superiores se apoyan las cuerdas que se emplean en los experimentos. Éstas se fijan paralelamente á las escalas, asegurándolas en clavillejos metálicos por un extremo, en clavijas metálicas por el otro, las de los costados, y pasando la del medio por la garganta de una polea fija, dispuesta al efecto á fin de cargar á su otro extremo los pesos necesarios para el estudio de la influencia de las tensiones de las cuerdas en el número de sus vibraciones. Entre los puentes ó caballetes fijos hay otro movible sobre cada escala de las dos de los costados, para dividir la cuerda y variar su longitud según y para lo que convenga. El sonómetro se suele llamar monocordio, porque se puede usar con una sola cuerda.

8.ª *En toda* cuerda vibrante, con vibraciones trasversales, hay que considerar sus nodos, concameraciones y vientres.

9.ª *Se llaman nodos*, en las cuerdas y demás cuerpos vibrantes, ciertos puntos intermedios de los mismos, los cuales vibran tan poco que se pueden considerar fijos durante el movimiento vibratorio de los demás. *Líneas nodales* la serie de nodos que resultan formando líneas rectas ó curvas en los cuerpos vibrantes en vibración. *Concameraciones* las partes vibrantes comprendidas entre dos nodos ó entre dos líneas nodales, y *vientres* las partes medias de cada concameración, ó sea el punto en que las vibraciones alcanzan el máximun de amplitud, creciente gradualmente hasta él, desde el nodo en que se puede considerar cero.

10. *La existencia* de los nodos y vientres, en las cuerdas, se puede demostrar con el sonómetro del modo siguiente: se considera la cuerda dividida en tres, cuatro ó más partes iguales; se coloca el puente ó caballete móvil, de modo que resulte apoyado sobre el mismo el primer punto de división de la cuerda; se hace

vibrar con el arco de violín la primera parte comprendida entre el primer puente fijo y el móvil, colocadas previamente tiritas de papel fino, dobladas por su mitad, sobre los demás puntos de división y en los medios de cada una de las partes siguientes á la primera, y se verá que los papelitos de los puntos de división permanecen inmóviles, mientras que los otros saltan y escapan con la mayor rapidez, lo que prueba, si la división es en tres partes, que mientras la primera vibra, las otras dos lo hacen también, dejando entre ellas un nodo, y presentando cada cual un vientre; semejantemente resultan dos nodos y tres vientres si se considera dividida la cuerda en cuatro partes iguales, y así sucesivamente.

11. *Con el sonómetro* se hace ver experimentalmente, entre otras circunstancias, que en igualdad de todo lo demás, los números de vibraciones de las cuerdas, en un mismo tiempo, resultan según las leyes siguientes:

1.ª En razón inversa de sus longitudes.

$$\begin{array}{l|l} \text{Longitudes} \ldots\ldots & 1 \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{4} \ldots \quad \frac{1}{12} \\ \text{N.° de vibraciones.} & 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \ldots \quad 12 \end{array} \quad \text{ó} \quad \begin{array}{l|l} & 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \ldots \quad 12 \\ & 1 \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{4} \ldots \quad \frac{1}{12} \end{array}$$

2.ª En razón inversa de sus diámetros.

$$\begin{array}{l|l} \text{Diámetros} \ldots\ldots & 1 \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{4} \\ \text{N.° de vibraciones.} & 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \end{array} \quad \text{ó} \quad \begin{array}{l|l} & 1, \quad 2, \quad 3, \quad 4, \\ & 1, \quad \frac{1}{2} \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{4} \end{array}$$

3.ª En razón directa de las raíces cuadradas de los pesos que las tienden.

Pesos.....	1	4	9	16
N.° de vibraciones.	1	2	3	4

4.ª En razón inversa de las raíces cuadradas de sus densidades.

Desidades.....	1	4	9	16
N.° de vibraciones.	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$

Estas leyes se demuestran experimentalmente con la comprobación de la fórmula de que se deducen y que resuelve el problema de las

cuerdas vibrantes: cuya fórmula es $n=\frac{1}{r\,l}\sqrt{\frac{P}{\pi\,d}}$ (1.ª) ó $n=\frac{1}{r\,l}\sqrt{\frac{g\,P}{\pi\,d}}$ (2.ª). En estas expresiones n representa el número de vibraciones sencillas por segundo; l la longitud de la cuerda en decimetros; r el radio de su sección; P el peso en kilogramos que la tiende; d su peso especifico ó densidad relativa en la fórmula 1.ª y su densidad absoluta en la 2.ª; g la gravedad del punto en que se experimenta y π la relación del diametro á la circunferencia 3.14159.....

II.

13. *Las vibraciones* de las varillas y láminas elásticas pueden ser, como en las cuerdas, trasversales y longitudinales: las primeras se producen fijando las varillas ó láminas por un extremo y pasando un arco de bajo por la parte libre: las segundas se obtienen fijando las varillas por un extremo y frotándolas en el sentido de su longitud con un trozo de tela expolvoreada con polvo de colofonia.

14. *Las vibraciones* de las varillas se producen según las dos leyes siguientes:

1.ª Los números de las vibraciones trasversales de varillas de igual naturaleza resultan en razón directa de su espesor é inversa del cuadrado de su longitud.

2.ª Las longitudinales en razón inversa de la longitud de las mismas, cualquierera que sea el diámetro y forma de su sección trasversal. En estas leyes está fundado el uso del diapasón.

15. *El diapasón* es un instrumento formado por una barra de acero encorvada sobre sí misma, en forma de pinzas más ó menos abiertas, que se hace vibrar frotando sus bordes con un arco ó separando bruscamente sus dos ramas por medio de un cilindro que se fuerza á pasar por entre ellas. Por el vértice de su curvatura termina en un pequeño vástago ó espiga para fijarlo sobre otros cuerpos ó sobre un pie circular que la sirve de apoyo.

16. *El diapasón* sirve para producir, en cualquier instante que se desee, una nota fija ó invariable, y por lo mismo se usa para comparar y regular los sonidos de los instrumentos de música en las orquestas y los de las diferentes cuerdas de los pianos; por cuya razón se le suele llamar hierro de tono ó corista y vulgarmente templador.

17. *El uso del diapasón* se funda en que dependiendo sus vibraciones y tono de su espesor y longitud solamente, no variando estas circunstancias, siempre dará el mismo tono ó nota, razón por la cual, su empleo es de gran importancia en música, de tal suerte que se ha legislado sobre él, mandándose ya en España por Real orden de 25 de Febrero de 1879 adoptar como diapasón normal ó tipo el que lo estaba ya en otras naciones, y es el que da 870 vibraciones por segundo.

18. *Las vibraciones* de las placas ó planchas se pueden producir fijándolas por su centro y frotando sus bordes con un arco, ó bien sujetándolas por un punto de su superficie y frotando los bordes de una abertura practicada en su centro, pasando por ella un manojo de crines recubiertas de colofonia.

19. *Las vibraciones* de las placas producen, según las dos leyes siguientes:

1.ª Placas de igual naturaleza, extensión y forma, y cuyas líneas nodales forman figuras idénticas, producen números de vibraciones que resultan en razón inversa de su grueso.

2.ª En igualdad de grueso y demás circunstancias, menos su extensión superficial, dichos números resultan en razón inversa de aquélla.

20. *Líneas nodales*, en las placas vibrantes, son las líneas rectas ó curvas que determinan los numerosos nodos que en ellas resultan; esto es, la serie de puntos que, no entrando en vibración, permanecen en reposo.

21. *Las líneas nodales* que producen las placas vibrantes se pueden hacer visibles recubriéndoles la superficie superior con una ligera capa de arena, ó cosa semejante, antes de hacerlas entrar en vibración.

El número, forma, disposición y combinación de las líneas nodales, en las placas vibrantes, son circunstancias tan variables como su forma, disposición, modo de apoyarlas y frotarlas; por cuya razón su estudio, sumamente curioso, es imposible de especificar en estas lecciones.

III.

22. *Tubos sonoros* ó instrumentos de viento, son tubos en que vibrando la columna de aire contenida en ellos, como pudiera hacerlo la de otro gas y aun de algunos líquidos, producen soni-

dos que se pueden hacer variar en uno mismo, por circunstancias variables, como sucede en una cuerda.

23. *Los sonidos* de los tubos sonoros no resultan de la vibración de las moléculas del sólido de que están formados, como sucede en los demás instrumentos que, conmoviendo el aire y produciendo su movimiento ondulutorio dan aquéllos, sino de las vibraciones de la columna aérea que contienen y de sus ondas, que, comunicadas al aire exterior, producen su movimiento ondulatario; pues se demuestra que la naturaleza de la materia de los tubos, en igualdad de circunstancias, no produce variación en el sonido, esto es, que lo mismo suenan los de madera, que los de vidrio ó metal, influyendo sólo en el timbre.

24. *Los tubos sonoros* sólo producen sonidos cuando, por un medio á propósito, se puede conmover el aire de su interior con una sucesión rápida de condensaciones y dilataciones, que propagándose á toda la columna aérea contenida, comunique su movimiento ondulatorio al aire exterior; por cuya razón es necesario tenga la conveniente embocadura, ó bien la correspondiente lengüeta. Sin una ú otra penetraría el aire sin interrupciones rápidas á propósito para quebrar la columna del aire entrante y sólo se produciría su movimiento contínuo y progresivo, esto es, un soplar, como se demuestra experimentalmente con el tubo dispuesto á este fin.

25. *Embocadura* de un tubo sonoro es la forma que, en uno de sus extremos, se da al orificio de entrada del aire, en el mismo, para que no pueda pasar de una manera contínua, sino solamente con ciertas intermitencias.

26. *Lengüeta* de un tubo sonoro es una lámina elástica, dispuesta en el orificio de los tubos sonoros de aquel nombre, que vibrando á impulso de la corriente de aire entrante, abre y cierra dicho orificio y produce las intermitencias convenientes: pueden ser las lengüetas batientes y libres.

Las partes y circunstancias relativas á las embocaduras y lengüetas se pueden dar á conocer fácilmente con los correspondientes tubos á la vista, para evitar la mayor difusión con la descripción y relato de todos sus pormenores.

27. *Los tubos sonoros,* lo mismo que las cuerdas, producen so-

nidos armónicos y presentan en la columna aérea interior nodos y vientres.

28. *Nodos en los tubos sonoros* son las capas que de trecho en trecho de su columna aérea resultan en quietud, esto es, que no vibran, y vientres las secciones ó capas de dicha columna, comprendidas entre dos nodos y en las que la vibración del aire resulta en su máximum.

29. *La existencia* de los nodos y vientres en los tubos sonoros se demuestra experimentalmente de varias maneras, según es fácil hacer ver con los tubos dispuestos al efecto, como el prismático con una cara de vidrio, ya con el de orificio y obturador en el sentido de su longitud, bien con el de llave y émbolo ó por medio de las llamas manométricas de Koenig.

Todos estos pormenores, como la exposición de las leyes con que se efectúan las vibraciones de los tubos sonoros, y lo relativo á las llamas cantantes, si bien son notables é importantes, su extensión es causa tal vez de que casi se prescinda de este estudio en libros elementales de nuestra enseñanza y se detengan poco en el mismo aun en las clases de ampliación.

30. *Los tubos sonoros* pueden estar, unos abiertos por un extremo y cerrados por el otro, en cuyo caso se suelen denominar *bordones*, y otros abiertos por los dos; por cuya razón en las leyes de sus vibraciones hay algunas diferencias, y aunque no sea posible presentarlas en toda su extensión, conviene dar á conocer lo más esencial é interesante de éllas, según la indicación siguiente:

1.ª Los números de vibraciones que hacen dos tubos semejantes, resultan en razón inversa del crecimiento ó decremento igual y simultáneo de todas sus dimensiones: así cuando todas las dimensiones de un tubo semejante á otro son dobles, triples, etc. que las respectivas de otro, los números de vibraciones serán la mitad, tercera parte, etc. de las del primero y viceversa, así:

Dimensiones.... 1, 2, 3, 4 ...

N.° de Vibraciones. $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4} \cdots$

2.ª Los tubos sonoros, todos abiertos ó todos cerrados, de lon-

gitud grande respecto de sus otras dimensiones y en igualdad de las demás circunstancias, dan sonidos fundamentales cuyos números de vibraciones resultan en razón inversa de sus longitudes ó alturas, esto es, que cuando

Longitudes . . . . 12-6-4-3- 1... } 1— $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{12}$

ó

N.° de vibraciones. 1-2-3-4-12... } 1— 2 — 3 — 4 — 12

Si bien cada tubo puede dar diferentes sonidos, el más grave de cada cual es su fundamental y los demás son sus armónicos, que son tanto más agudos cuanto mayor es la velocidad de la corriente de viento. De modo que cuanto más largo es el tubo, á igual corriente de viento el sonido es más grave, pero que en cada tubo se hace más agudo cuanto más se refuerza la corriente de viento.

3.ª Dos tubos de igual longitud, uno cerrado y otro abierto, dan diferente sonido fundamental, pues el número de vibraciones del primero *cerrado* es dos veces menor que las del segundo *abierto*, esto es, que es doblemente grave; de suerte que, según las leyes de los tubos abiertos, por la anterior se ve que el sonido fundamental de un tubo cerrado es el mismo que el de otro abierto de iguales dimensiones, pero de doble longitud.

4.ª Los sonidos armónicos resultan por números de vibraciones que crecen

en un tubo abierto, según la serie de los números naturales } 1—2—3—4—5—6...

en un tubo cerrado, según la serie de los números impares } 1—3—5—7...

De lo expuesto se sigue, que tomando un tubo abierto y dos de mitad de longitud del primero, uno cerrado y otro abierto, resultará: que siendo los números de vibraciones de los sonidos

del primero, abierto y de uno de longitud, } 1—2—3—4—5—6.....

del segundo, cerrado y de mitad de longitud del primero } 1—3—5—7—9.....

y las

del tercero, abierto y de mitad de longitud del primero } 2—4—6—8...

por deber éstas estar con las del primero, también abierto, en razón inversa de sus longitudee 1 y $^1/_2$, entre los sonidos correspondientes á los números de vibraciones de los dos tubos, uno cerrado y otro abierto, de mitad de longitud del primero, se obtendrán los correspondientes

$$\text{á las } \begin{cases} 1—3—5—7... \\ 2—4—6... \end{cases}$$

de modo que, haciéndolos sonar sucesiva y alternadamente, se producirán los correspondientes á las 1—2—3—4—5—6—7..... del primero, y por consiguiente, como si sonara éste.

LECCIÓN XLVIII.

Breve idea de la teoría física de la Música. – Definición de ésta. – Escala musical.—Gama de la misma.— Escritura de la escala.—Unisón y pulsación.—Intervalos.—Acordes, consonancia, disonancia, armonía y acorde perfecto.— Sostenidos y bemoles. – Diferencia entre las gamas diatónica, cromática y templada.

1.ª *Música* es el arte cuyas reglas enseñan á combinar y enlazar, en tiempos convenientes, los diferentes sonidos de la escala musical de la manera más á propósito para afectar al ánimo según el fin que se proponga el compositor.

2.ª *La escala musical* es la serie de tonos que, separados entre sí por intervalos determinados, son á propósito para afectar el ánimo agradablemente en virtud del enlace, sucesión ó simultaneidad de ellos y naturaleza de nuestra organización.

Los números de vibraciones de dichos sonidos, tienen relaciones tales, que aunque diferentes sus tonos entre sí, se asemejan de tal manera, que se pueden reducir á siete repetidos sucesivamente, si bien con distinto grado de gravedad ó agudeza, pero con iguales relaciones, á la manera de lo que sucede en Aritmética con el sistema de numeración; pues así como los seis órdenes de unidades, unidad, decena, centena, millar, decena de millar, centena de millar forman un período, que se repite indefinidamente para millones, billones, etc., de la misma manera con dichos siete sonidos se forma un período la gama que se repite según aumenta la agudeza de los sonidos.

3.ª *Se da el nombre* de *gama natural, verdadera* ó diatónica, á la serie de siete sonidos que, repetidos sucesivamente con cierta gradación, forman la escala musical.

4.ª *Los sonidos*, tonos ó notas de la gama se representan por las sílabas

do-re-mi-fa-sol-la-si:

el *do* se representaba antiguamente con *ut*.

5.ª *La escala* se escribe repitiendo dicho grupo sucesivamente, y la gradación se indica poniendo á dichas sílabas, como subíndices, los números 1, 2, 3..... á cada gama en la forma siguiente:

do-re-mi... si—do... si—do... si—do... si...
1 1 1 1 2 2 3 3 4 4

y para tonos más graves que los de la primera gama los mismos subíndices precedidos del signo — de la manera siguiente:

do... si—do... si—do... si—do... si;
—3 —3 —2 —2 —1 —1 1 1

así es que la totalidad de la escala se puede representar del modo siguiente:

do...si—do...si—do...si—do-re-mi-fa-sol-la-si—do...si—do...si—do—si...
—3 —3 —2 —2 —1 —1 1 1 1 1 1 1 2 2 3 3 4 4

y por algunos de este otro modo:

do... si—do... si—do... si—do... si—do... si—do... si—do... si—do... si.
—3 —3 —2 —2 —1 —1 0 0 1 1 2 2 3 3

6.ª *Se da el nombre* de *gama fundamental*, en la escala música, á la que se toma como término de comparación ó punto de partida respecto de las demás, y es la que empieza por el do correspondiente al sonido más grave del violoncelo. Á partir de esta nota, *do fundamental*, todas van siendo más agudas, según aumentan los números de vibraciones que las producen, ó más graves, según disminuyen.

Las relaciones de éstos son tales, que el de las que originan el *do* de la segunda gama es doble del de las que producen el fundamental de la primera. Por esta razón, si el número de vibraciones del *do* fundamental se toma por unidad, como está establececido, y representa por 1, el de las que producen el *do* de la segunda gama será 2, y como entre uno y otro *do*, ambos inclusive, resultan ocho notas, se dice que el segundo está á la octava del primero.

Determinado, por los medios que hay de ejecutarlo, el número abso-

luto de vibraciones de que se origina cada una de las notas de la gama y *do* de la segunda, y tomando por unidad el de las del *do* fundamental, se ve que lós números relativos de las ocho notas desde el do$_1$ hasta el do$_2$ son como expresa el siguiente cuadro:

Notas. . . . . do— re — mi — fa — sol — la — si —do$_2$

N.° relativo de vibs. $1-\frac{9}{8}-\frac{5}{4}-\frac{4}{3}-\frac{3}{2}-\frac{5}{3}-\frac{15}{8}-2$:

sucesión que constituye lo que se llama una *octava*, por cuya razón también se puede decir que la escala es una serie de octavas.

Por otra parte, como la semejanza de sonidos de las diferentes notas de las octavas proviene de la igualdad de relaciones de los números de vibraciones que las producen y el *do* de la segunda es el duplo del de la primera, los números de las demás notas serán también duplos respecto de los de las notas de la primera octava; los de la tercera, cuádruplos ó múltiplos por 2^2 y así sucesivamente. Por esta razón el número de vibraciones de cada nota de una gama será siempre duplo del de la misma nota de la gama anterior, y, por tanto, resulta que toda nota está á la octava de su igual de la gama anterior, ó también que en cada gama todas sus notas son múltiplos según las potencias crecientes de 2, respecto de las notas del mismo nombre de la gama fundamental. Esto hace que las octavas se puedan considerar tanto desde un *do* al de la gama inmediata más aguda como de otra nota cualquiera á su igual de la gama más aguda siguiente.

7.ª *En la comparación* de los diferentes tonos de la escala musical, hay que considerar el *unisón* ó *unísono*, *pulsación*, *acordes*, *intervalos*, etc.

8.ª *Se dice* que dos sonidos están al *unisón*, que son unísonos ó de igual tono, gravedad ó agudeza, cuando son producidos por igual número de vibraciones, cualquiera que sea su intensidad y timbre. Así cuando dos instrumentos iguales ó diferentes emiten sonidos cuyos números de vibraciones, tomadas con la sirena ó por cualquiera de los métodos y aparatos con que es posible, resultan iguales, se dice que están al unisón.

9.ª *Pulsación* (batement de los franceses) es el refuerzo de sonido que se efectúa de tiempo en tiempo por la coincidencia de vibración entre las desiguales de sonidos que no están al unisón.

10. *Intervalo* de los sonidos es la relación de los números de vibraciones con que se producen. Se pueden apreciar de dos modos: 1.° Tomando la relación de cada tono ó nota de los siete de

la gama fundamental respecto del *do* de la misma: 2.° Tomando la de cada nota respecto de su inmediata anterior.

En el primer caso, si se representa por n' el número de vibraciones de una cualquiera de las notas y por n el de la nota primera *do*, $\frac{n'}{n}$ expresará el respectivo intervalo, que será siempre un quebrado impropio, pues como de nota más aguda $n' > n$.

Además, como un quebrado no se altera multiplicando sus dos términos por un mismo número, resulta que el intervalo de dos sonidos no depende del número absoluto de sus vibraciones, sino de los relativos.

Los intervalos de cada nota, respecto al *do* de la misma gama, son los contenidos en el siguiente cuadro:

Notas de la gama.. do— re — mi — fa — sol — la — si—do

N.° relativo de vibs. $1-\frac{9}{8}-\frac{5}{4}-\frac{4}{3}-\frac{3}{2}-\frac{5}{3}-\frac{15}{8}-2$

Intervalos... $1-\frac{9}{8}-\frac{5}{4}-\frac{4}{3}-\frac{3}{2}-\frac{5}{3}-\frac{15}{8}-2$

que se denominan: unisón—2.ª — 3.ª — 4.ª — 5.ª — 6.ª — 7.ª — 8.ª

pues la relación $\frac{n'}{n}$ da, comparando

con do_1 el

$do_1, \frac{n'}{n} = \frac{1}{1} = 1$ y resulta el *unisón*

$re_1, \frac{n'}{n} = \frac{9/8}{1} = \frac{9}{8}$ « una *segunda*

$mi_1, \frac{n'}{n} = \frac{5/4}{1} = \frac{5}{4}$ « una *tercera*

$fa_1, \frac{n'}{n} = \frac{4/3}{1} = \frac{4}{3}$ « una *cuarta*

$sol_1, \frac{n'}{n} = \frac{3/2}{1} = \frac{3}{2}$ « una *quinta*

$la_1, \frac{n'}{n} = \frac{5/3}{1} = \frac{5}{3}$ « una *sexta*

$si_1, \frac{n'}{n} = \frac{15/8}{1} = \frac{15}{8}$ « una *séptima*

$do_2, \frac{n'}{n} = \frac{2}{1} = 2$ « una *octava*

En el segundo caso, hallando por su división la relación de los números relativos de vibraciones correspondientes á cada nota con el de su anterior, en la primera gama, resultan los intervalos de entre dos notas consecutivas según el siguiente cuadro:

Notas..	do	re	mi	fa	sol	la	si	do$_2$
N.° relativo de vibraciones.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Intervalo de entre las notas.	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	
que se denominan	tono mayor	tono menor	semi-tono menor	tono mayor	tono menor	tono mayor	semi-tono menor	

Según esto, cuando el intervalo entre dos sonidos es el $\frac{9}{8}$ ó el $\frac{10}{9}$ se dice hay un tono entre ellos, y cuando es el $\frac{16}{15}$ que hay un semi tono. Por esta razón, según se observa en el anterior cuadro, resulta que la gama diatónica consta de tres tonos mayores, dos menores y dos semitonos distribuidos así: dos tonos, un semitono, tres tonos y otro semitono.

11. *Se da el nombre* de *coma* al intervalo resultante entre el tono mayor y el menor que es $\frac{10}{9} : \frac{9}{8} = \frac{80}{81}$ el menor de todos los que se consideran, y apenas perceptible sino por oídos muy ejecitados.

12. *Acorde*, en general, es la coexistencia de los sonidos que, sin estar al unisón, producen al ánimo una sensación agradable.

13. *Se dice* que hay *consonancia* cuando los números de vibraciones de los que forman el acorde son pequeños.

14. *Disonancia* se dice que la hay cuando dichos números no son pequeños, sino qne se alejan de los primeros de la serie 1, 2, 3... de los que forman los armónicos, desagradando más y más al oído.

15. *Sonidos armónicos* ó simplemente *armónicos* son los sonidos cuyos números de vibraciones son entre sí como los números 1, 2, 3, 4, 5, 6.....

16. *Los intervalos* que más deleitan al oído ó que producen acordes más consonantes son:

$\frac{n'}{n} = \frac{1}{1}$ ó sea el *unisón*

$\frac{n'}{n} = \frac{2}{1}$... la *octava*

$\frac{n'}{n} = \frac{5}{3}$... la *sexta*

$\frac{n'}{n} = \frac{3}{2}$... la *quinta*

$\frac{n'}{n} = \frac{4}{3}$... la *cuarta*

$\frac{n'}{n} = \frac{5}{4}$... la *tercera mayor*

$\frac{n'}{n} = \frac{6}{5}$... la *tercera menor*

17. *Armonía* es una sucesión de acordes convenientemente dispuestos ya en consonancia ó ya en disonancia.

18. *Acorde perfecto* es el de tres sonidos simultáneos, cuyos números de vibraciones se hallan en la relación de 4, 5, 6 como sucede con los de *do-mi-sol*, que es el más perfecto y grato al oído.

19. *La escala natural* ó diatónica no es la única que puede haber, porque es posible formar tantas como se quiera, semejantemente á lo que sucede en Aritmética con los sistemas de numeración; así es que sin entrar en pormenores respecto de ésto, conviene advertir que además de la gama verdadera ó diatónica hay otra, *la cromática*. Esta es la en que además de las siete notas de la diatónica, para mejorar ésta, los músicos intercalan entre aquéllas otras dos, el *sostenido* y el *bemol*, que aproximan y enlazan los sonidos de tal suerte, que los intervalos sucesivos de la escala si no iguales, se diferencian tampoco, sólo en una coma, que se pueden reemplazar sin desagradar al oído.

Esta escala se llama cromática porque, según unos, los griegos marcaban este género de música con caracteres encarnados ó de varios colores, ó según otros, porque embellece al diatónico con sus semitonos, los cuales producen en Música semejante efecto que la variedad de colores en Pintura.

20. *Sostenido* es la nota que, intercalada entre dos consecutivas de la gama de la escala diatónica, sirve para sostener la más

baja, esto es, para subir ésta, aumentando el número de sus vibraciones en la relación 24 á 25, y aproximarla á la siguiente más aguda sin perder su carácter.

21. *Bemol* es la nota que, intercalada entre dos consecutivas de la gama diatónica, sirve para bajar la más aguda siguiente, esto es, para producir una nota más baja que la más aguda de aquéllas, disminuyendo el número de sus vibraciones en la relación 25 á 24, y aproximarla á la anterior más baja sin que pierda su carácter.

22. *La diferencia* entre la gama diatónica y la cromática se reduce á que la primera se forma con las siete notas do... si procediendo simplemente por tonos, y la cromática con trece sonidos, próximamente equidistantes unos de otros y procediendo por semitonos; pero como tales distancias no resultaban exactamente iguales, para mayor perfección se dividió la octava, últimamente, en doce intervalos exactamente iguales, cuya modificación constituye la gama llamada templada (*temperè* de los franceses), que es la adoptada por los construcctores de pianos.

El modo de aplicar la teoría física de la Música, de cuyos principios sólo se han expuesto los más esenciales prescindiendo de sus pormenores en obsequio á la brevedad, pertenece al arte músico.

PARTE TERCERA

FLÚIDOS IMPONDERADOS

CALÓRICO Ó TERMOLOGÍA

LECCIÓN XLIX.

Conceptos del calórico y del calor.—Preliminares de su estudio.— Hipótesis ideadas para su explicación.—Temperatura.

1.ª *Los agentes* que se denominaron *fluidos imponderados*, y también *dinamidos*, considerados, hoy, no ya como seres ó causas diferentes ó de naturaleza distinta, sino (1—7.ª) como manifestaciones de distinto aspecto del mismo principio, *la energía universal ó la materia y movimiento*, no se pueden aún considerar en conjunto, bajo un mismo nombre, reduciendo su estudio á un solo tratado. Por esta razón, si bien el calórico y lumínico se puedan considerar como una misma cosa, y lo mismo la electricidad y el magnetismo, en la actualidad no es dable dejar de tratar de dichos agentes separadamente, como se ha hcho con la gravedad.

El orden de proceder en el estudio de los antedichos cuatro agentes, pudiera ser cualquiera, pero el que más propio ha parecido, como lo prueba la marcha seguida por la generalidad de los autores, ha sido el de empezar por el calórico, continuar con el lumínico y terminar con el magnetismo y electricidad; pues aunque principiar por el lumínico ofrece grandes ventajas, grandes son también los inconvenientes de no adquirir antes conocimiento de los efectos del calórico y de las temperaturas. Por estas razones se procederá según queda indicado (I—7.ª)

2.ª *Calórico* es la voz con que se denota la causa productora de la sensación conocida por todos con el nombre de *calor* y de ciertos fenómenos como la dilatación de los cuerpos, sus cambios de estado y otros muchos.

La voz *calórico* se usa también para dar nombre á su estudio que se suele denominar *Termología*, cuya etimología griega es *tratado del calor*.

3.ª *Calor* es la sensación que se experimenta al exponernos á la acción de los rayos solares ó al aproximarnos á los focos de combustión ó fuego.

La voz *calor* se empleó para significar no sólo la sensación que causan en los seres vivos los rayos solares y los cuerpos en combustión, *calor propiamente dicho*, sino que á la vez se usó para significar su causa hoy *calórico*. Por esta razón se suele usar indistintamente uno por otro; pero no se deben confundir ambos significados, porque calórico significa una causa y calor su efecto.

4.ª *El calórico* como los demás agentes no pudiéndolos manejar ni conocer en sí, se estudian por los efectos que producen en los cuerpos ponderables y por las modificaciones que experimentan en su marcha y efectos á causa de la interposición de dichos cuerpos.

5.ª *Se dice* que el calórico es un agente uiversal, porque se halla como esparcido en toda la naturaleza, pasando de unos cuerpos á otros y haciéndose presente en todos; pues aunque se diga que hay cuerpos fríos, no por esto se ha de entender que carecen de calor, toda vez que la palabra frío es una idea relativa, porque un cuerpo frío respcto de un primero, puede estar caliente respecto de un segundo.

6.ª *Las sensaciones* que conocemos con el nombre de calor, proceden principalmente del sol y del fuego, prescindiendo de la parte correspondiente al calor animal.

Por esta razón al considerar el calórico del sol ó del fuego, no es posible dejar de asociar la idea de la luz que le acompaña, porque ambas cosas se perciben á la vez; pero no se debe confundir en una las ideas de lumínico y calórico, pues aunque procedan de la misma causa, son efectos para nosotros muy distintos: los del lumínico sólo nos son perceptibles por el órgano especial de la visión y no tienen lugar sino en ciertas circunstancias, cuando el calórico se percibe por todo el organismo y en circunstancias distintas.

7.ª *Se suelen* emplear las denominaciones de calor luminoso y de calor oscuro para significar con la primera el calórico que va acompañado de lumínico, como el del sol y el del fuego, el del hierro incandescente, etc.; y con la segunda el que no es acompañado de lumínico, como el que emite el agua ó cualquier líquido calentado, un trozo de hierro incandescente después de apagado, y todo cuerpo no luminoso.

El calor luminoso se califica con distintas denominaciones, según el colorido que ofrecen los cuerpos incandescentes como las llamas, las ascuas de los combustibles y metales cuando sus temperaturas se elevan á determinados números de grados. Tal clasificación da lugar á las denominaciones de calor rojo, rojo naranja, rojo cereza, rojo blanco, etc. para indicar temperaturas cada vez más elevadas.

8.ª *Todas las hipótesis* con que se ha procurado explicar el calórico se pueden considerar reducidas á las dos que generalmente se dan á conocer en las clases elementales y son: la de la emisión y la de las ondulaciones, que se pueden llamar de Newton y Descartes, por ser sustancialmente idénticas á las que para la explicación del lumínico y sus efectos se atribuyen respectivamente á dichos físicos; por más que las hipótesis y los inventos nunca son debidos completamente á un solo hombre.

9.ª *La hipótesis de la emisión* para la explicación del calórico, consistía en considerar unida é interpuesta entre las moléculas de los cuerpos una sustancia particular, flúida y sutilísima, incoercible é imponderable, con sus átomos en un estado de continua repulsión y que pasando en virtud de ésta de unos cuerpos á otros, á cualquier distancia y por todas direcciones, é introduciéndose en ellos, impedía el contacto de los átomos ponderables aumentando sus distancias y disminuyendo éstas en el caso contrario de abandonar los cuerpos; con cuyas alternativas resultaban los fenómenos caloríficos.

10. *La de Descartes ó de las ondulaciones*, ampliada y perfeccionada con los nuevos conocimientos que han conducido á la constitución de la Física moderna, aunque difícil de resumir, consiste en suponer los fenómenos del calórico producidos no por emanaciones de sustancia alguna de unos cuerpos á otros, sino como el resultado de movimientos vibratorios, excitados por la continua vibración de las moléculas de los cuerpos ponderables en

una materia ó flúido sumamente sutil y elástico denominado *éter*, que se supone existente en los espacios interplanetarios lo mismo que en los intermoleculares de los cuerpos. Movimientos que comunicados de los átomos impoderables del éter á los ponderables de los cuerpos y trasmitidos, por el intermedio de aquél, de unos cuerpos á otros semejantemente á como se verifica por el aire la propagación de los sonidos, dan por resultado los cambios de temperatura y todos los fenómenos caloríficos. La hipótesis de las ondulaciones se denomina hoy *teoría dinámica* del calor ó *termodinámica*, por referir, según ella, todos los fenómenos caloríficos á la sola causa *movimiento*.

11. *Temperatura* de un cuerpo es el estado de equilibrio en que se hallan sus moléculas en un instante ó tiempo dado, sin aumentar ni disminuir la energía ó velocidad de sus vibraciones ni el volumen que en igual tiempo aquéllos presentan, esto es, su estado actual del calor sensible. Si éste aumenta, se dice que se eleva ó sube la temperatura, y que baja si aquél disminuye. Así es que en la teoría dinámica del calor la temperatura no viene á ser sino la representación de la energía actual ó fuerza viva que poseen las moléculas en un instante dado, por cuya razón cuando se dice que se eleva la temperatura, es que aumenta dicha energía ó velocidad de las vibraciones de las moléculas del cuerpo y viceversa cuando baja. Según esto, cuando se dice que los cuerpos se calientan, significa que sus moléculas vibran con mayor velocidad, calefacción, y con menor cuando se enfrían.

La frase *calórico sensible* se adoptó para significar la sola parte del calórico recibida por un cuerpo que se comunicaba y obraba sobre los demás, quedando como perdida la otra parte restante, que se denominó *calórico latente*, esto es, oculto; pues se vió, al observar ciertos hechos, que no se perdía, sino que se ocultaba, toda vez que en la ocasión correspondiente reaparecía.

La existencia del calórico latente ú ocultación de una parte del calórico que un cuerpo comunica á otro, se explica según la teoría termo-dinámica, considerando que el calórico que en un instante dado comunica un cuerpo á otro, esto es, la parte de energía actual, fuerza viva ó velocidad de las vibraciones moleculares del primero, comunicada al segundo, al penetrar en él y modificar el movimiento de su éter interior, se divide en dos partes, una que aumentando la velocidad de las vibraciones de aquéllas, produce el aumento de su calor sensible,

esto es, el aumento de temperatura ó calefacción del cuerpo, y otra que produce el alejamiento, separación ó disgregación de las moléculas.

De las antedichas partes, la primera, en conformidad á la teoría termo-dinámica, se denomina hoy *calórico comunicado*, y la segunda, en vez de calórico latente, *calor trasformado* en trabajo mecánico ó simplemente *calórico trasformado*. Ahora bien, éste resulta dividido también en dos partes, que son: el empleado dentro del cuerpo en el alejamiento ó disgregación de las moléculas, que se denomina trabajo trasformado interno, y otra el consumido fuera en vencer las resistencias ó en remover y separar las moléculas de los medios que rodean ó comprimen al cuerpo, como las de la atmósfera, cuya parte se apellida trabajo trasformado externo.

De lo expuesto resulta que el calórico que de un cuerpo va á parar á otro, se distribuye en éste dividiéndose en las tres partes siguientes: 1.ª, calórico comunicado; 2.ª, calórico trasformado en trabajo mecánico interno, y 3.ª, calórico trasformado en trabajo mecánico externo, ó simplemente: 1.°, calórico comunicado, *calefacción*; 2.°, trabajo interno, dilatación ó descomposición, y 3.° trabajo externo, calórico disipado.

12. *No siendo* posible estudiar el calórico en su esencia sino por sus efectos, para relacionarlos se ha hecho necesaria la comparación de las temperaturas, y para apreciar éstas el empleo de instrumentos á propósito. El uso de éstos, si bien se funda en casi toda la teoría del calórico, es imprescindible desde el principio de ella, y por lo mismo se hace necesario darlos á conocer desde luego, formando como un capítulo que se suele denominar termometría.

LECCIÓN L.

Termometría.— Termómetros.—Su clasificación, construcción y comparación de sus escalas.

1.ª *Termometría* es la parte de la termología que da á conocer los termómetros y su uso.

2.ª *Termómetros* son los aparatos que sirven para apreciar la temperatura de los cuerpos. No se debe decir para medir el calor de los cuerpos, pues sobre que no se puede apreciar en absoluto sino sus relaciones, la determinación de éstasforma otro tratado que se suele denominar calorimetría.

Varios son los fenómenos por los que se advierten los cambios de temperatura, pero no todos son comparables, pues las sensaciones de

calor que experimentamos son señales muy inciertas, como demuestra el hecho de poder sentir calor, no en relación con la temperatura del recinto ó cuerpos circunvecinos como sucede en los enfermos. Tampoco serían datos comparables los tiempos empleados en la combustión de cantidades iguales de combustible, ó las cantidades de éstos quemadas en igual tiempo, ni las sensaciones experimentadas al tocar los diferentes cuerpos, ni las recibidas al introducir la mano en el agua sacada de depósitos profundos, que nos parece fría en verano y templada en invierno, siendo su temperatura una misma.

3.ª *Los efectos* elegidos como más á propósito para la apreciación de las temperaturas son los de la dilatación de los cuerpos y, hoy, también el empleo de aparatos fundados en las corrientes eléctricas que se estudian en la electricidad, denominadas corrientes termoeléctricas.

Por esta razón, el número de aparatos termométricos es hoy mayor que el que se conocía no hace aún muchos años, lo que exige una clasificación que sea general.

4.ª *Los aparatos termométricos* se pueden dividir en dos grupos, uno el de los fundados en la dilatación, y otro en el efecto de las corrientes eléctricas en cuyo estudio se incluyen.

5.ª *Los aparatos* termométricos fundados en la dilatación se subdividen en termómetros propiamente dichos ó simplemente *termómetros*, *termóscopos* y *pirómetros*, cuyas clases se subdividen en diferentes especies.

6.ª *Los termómetros*, por razón de la materia dilatable empleada en ellos, pueden ser de líquido, metálicos y de un gas como el aire.

7.ª *De los aparatos* termométricos los que más importa estudiar en lecciones elementales, son los de líquido, por ser los de uso más general y hasta vulgar.

8.ª *Los termómetros* de líquido mejor comparables y que más se usan son los que se llenan de mercurio ó de alcohol colorado.

9.ª *La construcción* de los termómetros es más difícil de lo que pudiera creerse, aun no siendo los más perfectos; pero hoy la simplifican y abrevian los medios de que se puede disponer, como son: los tubos termométricos que suministra la fabricación del vidrio, las máquinas de dividir, etc.

10. *La construcción* de los termómetros de líquido se reducen esencialmente á tomar un tubo de vidrio cerrado por un extremo

y terminado por el otro en un pequeño depósito esférico, cilíndrico ó en espiral y á introducir en él una porción del líquido que se use, hasta ocupar una parte del tubo, en cuya longitud ó sobre la planchuela de madera, marfil, metal, etc. en que se fija, se escribe la correspondiente escala ó graduación.

11. *El tubo termométrico* se construye con un tubo de pequeño diámetro, soplándole á un extremo una esferita, ó soldándole un pequeño cilindro, ó un trozo de tubo en espiral, y cerrándole, después de introducido dicho líquido, por el otro extremo, con la lámpara de esmaltar, que es lo más fácil.

12. *Para llenar* el tubo se calienta el depósito, cuyo aire se dilata y sale en parte fuera de aquél. En este estado, antes que se enfríe, se introduce el extremo abierto del tubo en el líquido de que se haya de llenar, con lo que, al enfriarse, sube en su interior como en el tubo de aspiración en las bombas de este nombre, en virtud del exceso de la presión atmosférica sobre la del aire interior, y demás circunstancias que se explican y hacen comprender fácilmente en vista de la operación.

13. *La escala* de los termómetros, cualquiera que sea su división, se traza determinando dos puntos llamados fijos y dividiendo su distancia en el número de partes iguales correspondientes, según haya de ser aquélla.

En un principio, hacia el año 1621, cuando Cornelio Drebbel, sabio holandés, ideó el primer termómetro, éste era muy imperfecto, sobre todo porque la división de la escala resultaba arbitraria, por no tener puntos fijos de partida que con el tiempo se llegaron á establecer.

En efecto, los individuos de la Academia del Cimento, establecida en Florencia (académicos de Florencia), además de perfeccionar el termómetro ideado por Drebbel, adoptaron ya en el siglo XVII un punto de partida ó señal constante, cual era la altura á que se detenía el alcohol del termómetro cuando se le tenía en un sótano; pero esto no correspondia con la idea de tener un punto fijo, pues que dicha señal no era verdaderamente constante.

Renaldini, profesor en Padua, fué el primero que propuso la adopción de dos puntos fijos para la formación de la escala termométrica, pero no llegó á realizar su idea.

En 1701 Newton adoptó ya dos puntos como fijos en la construcción de un termómetro que se llamó *termómetro de Newton*, uno la temperatura de la nieve y el otro la del cuerpo humano.

Después de este verdadero adelanto, Guillermo de Amontons esta-

bleció para puntos fijos la temperatura de la nieve y la del agua hirviendo.

Gabriel Fahrenheit adoptó, para punto fijo inferior, no la de la nieve sino la temperatura de una mezcla frigorífica de nieve y sal amoniaco, en relación desconocida, y para punto fijo superior el de la temperatura del agua hirviendo.

Réaumur, en 1730, propuso para punto fijo inferior la temperatura del hielo fundente, y para segundo ó superior la del agua hirviendo bajo la presión admosférica ó de 700 milímetros: puntos que son los que en la actualidad sirven de puntos fijos.

14. *Se toman* ó determinan los dos puntos llamados fijos para la graduación del termómetro, llamados de hielo fundente el uno y del agua hirviendo el otro, de la manera siguiente: se coloca el tubo termométrico, después de lleno, en un vaso á propósito con hielo machacado, de modo que éste envuelva á aquél y que el agua resultante de la fusión vaya saliendo fuera del vaso; se observa la columna del líquido contenido en el tubo hasta que resulte estacionaria; se hace en él una señal donde llega el extremo de la columna, y esta señal es el punto de hielo fundente. Después se coloca el mismo tubo termométrico en otro vaso con agua hirviendo y á propósito para que el tubo resulte bañado por aquélla, ó mejor por su vapor, colocando el depósito cerca de la superficie de nivel del agua; se observa la columna del líquido contenido en el tubo hasta que resulte estacionaria; se hace en el mismo una señal donde se detiene el extremo de la columna mercurial, y esta señal es el punto de agua hirviendo.

15. *Para trazar* la escala se divide la distancia entre los dos puntos fijos en el número de partes iguales correspondiente á la escala que se quiera trazar, y se escribe entre ellos la numeración correspondiente.

Esto es en el supuesto de ser el tubo perfectamente cilíndrico; pues cuando se trata de completa exactitud, se siguen procedimientos cuyos pormenores son propios de las obras completas de la asignatura.

16. *Los termómetros* propiamente dichos, ó de líquidos, pueden ser de muchas clases; pero los que se deben estudiar, por más usuales y generalmente conocidos, son: el centígrado ó de Celsio, el de Réaumur y el de Fahrenheit.

17. *El centígrado* ó de Celsio, es el que, dividida en 100 partes la distancia entre los dos puntos fijos, lleva 0° en el hielo fun-

dente, 100° en el agua hirviendo y prolongada la numeración de la escala sobre 100° y por bajo 0°.

Los números 1, 2, 3 de bajo 0° se leen—1,—2, etc.

18. *El de Réaumur* es el que tiene dividida la distancia entre los dos puntos fijos en ochenta partes iguales, llevando 0° en el hielo fundente y 80° en el de agua hirviendo: además se prolonga la numeración de la escala sobre 80° y bajo 0° como en el centígrado.

19. *El termómetro* de Fahrenheit es el en que la distancia entre los dos puntos fijos se divide en 212 partes iguales.

20. *Se da el nombre* de grado del termómetro á una cualquiera de las partes de su escala, y el de grado de temperatura ó unidad de la misma, al aumento de volumen de la columna líquida con que, al dilatarse por el aumento del calor, llena un grado, esto es, la parte de tubo comprendida entre dos líneas inmediatas de la escala.

21. *El punto* señalado con cero no representa lo mismo en todos los termómetros; pues en el centígrado y Réaumur es el punto de hielo fundente, cuando en el de Fahrenheit indica una temperatura mucho menor ó, como suele decirse, un frío mucho mayor, que corresponde al producido por una mezcla frigorífica de nieve y sal amoniaco.

En la escala Fahrenheit el grado 32 corresponde con la temperatura del hielo fundente, 0° de los otros dos termómetros, de manera que lo comparable de ella con las escalas de los otros es la parte comprendida entre los 32° y 212°, esto es, 180°, que son justamente la suma de los 100° y los 80° de las otras dos escalas. Por esta razón se toma el número 180° como término de comparación respecto del 100° y del 80° de los otros dos termómetros.

22. Los grados de cada termómetro tienen distinto valor en cada uno de ellos; pues los del de Réaumur son mayores que los de los otros dos, y de éstos los del centígrado mayores que los del de Fahrenheit; razón por la cual el mismo número de grados leído en una escala, ó el resultante de cualquier cálculo ó experimento, no significa lo mismo respecto de todas las escalas.

Lo expuesto hace ver que el 0° en los termómetros no indica carencia absoluta de calor, sino un signo convencional establecido para término de comparación ó punto de partida de la escala.

El 0° absoluto ó carencia completa de calor sería la extinción total del movimiento vibratorio de las moléculas de un cuerpo,

Se calcula que se llegaría al 0° absoluto, si esto fuera posible, al descender la temperatura á 273° bajo 0°, esto es, que el 0° absoluto sería equivalente á—273° del centígrado.

Los denominados puntos fijos de la escala termométrica suelen variar con el trascurso del tiempo, por efecto al parecer de cambios en el arreglo molecular del vidrio del tubo termométrico por su introducción en el hielo y en el vapor del agua hirviendo.

II.

23. Para hacer comparables los grados de unos termómetros con otros y poder relacionarlos, se necesita la reducción de escalas que se efectúa por medio de las proporciones correspondientes.

24. *La reducción* de escalas se hace por una proporción, cuya primera razón se forma con los números en que se halla dividida la distancia de los dos puntos fijos en las dos escalas que se quieran comparar, y la segunda con el número de grados de la primera de aquéllas que se quieran reducir ó valuar y el de los grados que se buscan, que viene á ser el término incógnito ó cuarto proporcional que se ha de hallar.

Indicando respectivamente con las letras c, r, f, como exponentes, la graduación del centrigrado, Réamur y Fahrenheit; por n el número de grados que se quieran reducir, y por x el de los que se buscan, se procede del modo siguiente:

Del centígrado.	á Réaumur.....	100	: 80	::	n^c	: x^r
	á Fahrenheit ...	100	: 180	::	n^c	: x^f
De Réaumur.....	á centígrado	80	: 100	::	n^r	: x^c
	á Fahrenheit ...	80	: 180	::	n^r	: x^f
De Fahrenheit.	á centígrado	180	: 100	::	n^f	: x^c
	á Réaumur.....	180	: 80	::	n^f	: x^r

25. *El termómetro* de mercurio es el más preferible para las observaciones científicas y en la generalidad de los casos, porque según los resultados obtenidos de muchas y variadas comparaciones resulta, que las dilataciones de aquel líquido, y sus indicaciones en el termómetro, son más regulares que con ningún otro, y que se pueden considerar proporcionales á los aumentos de calor que las producen, al menos hasta los 200°; cuando con los demás líquidos no se tendrá acuerdo ó correspondencia sino

en los puntos fijos, pues en los demás casos el aumento de un grado no representa igual aumento de calor.

Sin embargo, aunque el termómetro de mercurio merezca la preferencia indicada, en algunas ocasiones la pierde, adquiriéndola en su lugar el de alcohol, porque congelándose aquél á los—36°, no sirve para ésta y demás temperaturas próximas ni mucho menos para las inferiores: en este caso se utiliza el del alcohol, que aun cuando no se dilata y contrae regularmente, no congelándose, sigue dando indicaciones.

Muchos son los usos de los termómetros de líquido y muy variadas sus formas, pero no es posible incluirlas en estas lecciones, sucediendo lo mismo respecto de los termómetros metálicos, termóscopos y pirómetros. Por esta razón sólo es dable la indicación de los termómetros de máxima y mínima; la de los termóscopos de Leslie y de Rumford, y la de los pirómetros.

26. *Termómetros* de máxima son los que sirven para señalar la mayor temperatura de las ocurridas en veinticuatro horas, sin necesidad de más de una observación.

27. *Termómetros* de mínima son los que sirven para señalar la menor de las temperaturas ocurridas en veinticuatro horas.

Estos termómetros están dispuestos, ya formando uno solo, que da á la vez la máxima y la mínima, llamado termometrógrafo, ya separado uno de otro y dispuestos de modo que se puedan colocar horizontalmente, llevando un índice verdadero ó suplido con cierta división en la columna que hace oficio de aquél, en cuyo caso se llaman á la Negretti: sus detalles se comprenden fácilmente á la vista de los modelos.

28. *Para usar* los termómetros de máxima y mínima se preparan con veinticuatro horas de anterioridad á la de la observación, haciendo que la columna se una, ó moviendo los índices hasta fijarlos sobre el extremo de la respectiva columna de mercurio en los de máxima, y sobre la de alcohol en los de mínima.

29. *El termóscopo* de Leslie ó termómetro diferencial, es un verdadero termóscopo, por estar construido de modo que su materia dilatable es el aire: su disposición es tal que sirve para apreciar la diferencia de las temperaturas entre dos cuerpos ó focos diferentes.

30. *El de Rumford* viene á ser lo mismo que el anterior ó igual su uso: se diferencia en que la rama horizontal es mayor que en el anterior; en que el líquido teñido queda en la parte media de dicha rama, y en que la numeración va colocada, no en

las ramas laterales, sino á una y otra parte del líquido en la expresada rama horizontal.

31. *Los pirómetros*, aunque existen bajo más de una forma, no tienen todavía una teoría fija y determinada, y por lo mismo no es fácil tratar de ellos. Los que se suelen dar á conocer en textos más extensos son: el de Wedgwood, denominado también pirómetro de arcilla, el de Brongniart, el eléctrico y el de aire; pero ninguno satisface completamente para su objeto.

LECCIÓN LI.

I. Calórico radiante.—Sus preliminares.—Rayo de calor y haz de rayos caloríficos.—Emisión del calórico, sus leyes y velocidad de propagación del mismo.—Equilibrio móvil de temperatura.—II. Calefacción.—Enfriamiento y su velocidad.—Poderes absorbentes y emisivos, y causas que en ellos influyen.—Intensidad del calórico, circunstancias que influyen en sus variaciones y leyes con que éstas se efectúan.

I.

1.ª *Se dió* el nombre de *calórico radiante* al calor que, por la sensación que se experimenta en presencia de los cuerpos de mayor temperatura que la exterior del cuerpo del observador, se comprende sale de ellos; pero como esto es uno solo de los diferentes aspectos bajo que se debe considerar, se define mejor diciendo: *calórico radiante* es el calórico en movimiento de unos cuerpos á otros no en contacto.

2.ª *Aunque* el nombre de calórico radiante se suele usar como para significar solamente la salida del calor de los cuerpos en forma de radios, *la emisión;* como los mismos, al llegar á la superficie de los cuerpos circunvecinos, penetran en ellos ó retroceden, ó modifican su dirección al atravesarlos, en realidad todo viene á ser en forma de radios, esto es, calórico radiante, si bien bajo diferentes aspectos; por cuya razón se califica á éstos con las distintas denominaciones siguientes: emisión ó radiación, y absorción; reflexión, trasmisión y refracción, y dispersión ó termoscrosis.

También se designa con el mismo nombre de calórico radiante, la parte de la Termología que lo estudia bajo todos sus aspectos.

3.ª *En la teoría* del calórico radiente, como en toda la Termo-

logía, se dió el nombre de rayo calorífico ó de calor á la recta en cuya dirección, según la hipótesis de la emisión, se consideraba que marchaba la molécula de calórico; pero, admitida la de las ondulaciones, al usar tal denominación, se debe entender, que es la recta según la cual se efectúa la comunicación del movimiento vibratorio de las moléculas de un cuerpo y su propagación por el éter hasta el otro á que vaya á parar. Se representa por la correspondiente recta.

4.ª *Haz de rayos caloríficos* es el conjunto de varios de ellos, que salen de un mismo punto ó de puntos muy próximos, ó que llegan reunidos á la superficie de aquél á que van dirigidos.

Pueden ser divergentes, paralelos ó convergentes y se representan por las rectas indicadoras de sus rayos componentes.

5.ª *En el estudio* del calórico se denomina *recinto* el espacio en que se halla colocado un cuerpo, sea aquél el vacio ó bien esté ocupado por otros.

6.ª *Emisión ó radiación* del calórico es el acto de salir éste de unos cuerpos dirigiéndose á los que le rodean.

7.ª *La radiación* se efectúa en todas las direciones, y en línea recta, siempre que sea en medios homogéneos ó de igual densidad, ó al través del vacío, esparciéndose como por los radios de una esfera, de la que fuese centro un punto interior del cuerpo ó foco calorífico. Esta forma es la que se suele denominar *irradiación*, que se efectúa con leyes fijas.

8.ª *La primera* ley de la irradiación es: que el calórico sale de un punto ó foco de calor, en todas direcciones y con igual intensidad; lo que se prueba colocando en el vacío un foco calorífico y termómetros iguales y á las mismas distancias, pues se ve que todos aumentan igual número de grados.

Si el experimento se hace en el aire y no en el vacio, no resulta lo mismo, sino que los termómetros colocados en la parte superior aumentan más grados que los otros; pero esto consiste en la corriente de aire que por ellos pasa, según la manera de calentarse los gases.

9.ª *La segunda* ley de la irradiación es: que los rayos de calor se propagan en línea recta, tanto en un solo medio ó por medios homogéneos ó de igual densidad; lo que se demuestra por el experimento siguiente. Se coloca un termómetro y dos pantallas

con el correspondiente orificio cada una, de modo que el punto céntrico del termómetro y los centros de los dos orificios resulten situados en una sola recta. En tal disposición, si se presenta un foco calorífico ante el orificio de la pantalla más distante del termómetro, se ve que en éste sube su columna líquida: prueba de la llegada del rayo calorífico por aquella dirección. Si después se interpone á las antedichas pantallas otra con un orificio, de modo que éste no resulte en la recta que determinan los de las dos primeras y se repite el experimento, la columna termométrica no varía; prueba de que no ha podido llegar calórico al termómetro y, por consiguiente, que sólo es posible por la recta que une al foco con el termómetro.

Esto mismo sucede en el vacío, pero si el rayo se propaga en un medio no homogéneo, esto es, de no igual densidad en toda su extensión, como sucede en las capas atmosféricas, entonces varía de dirección. Este fenómeno se llama *refracción*, y aunque se demuestra también experimentalmente, se comprenderá mejor al estudiar la de la luz y sus leyes.

Los haces del calor, al atravesar cuerpos de caras no paralelas, también se descomponen, cuyo hecho se denomina *termoscrosis*, que se comprenderá mejor al estudiar la dispersión de los rayos ó haces luminosos en la correspondiente lección de Fotología.

10. En la propagación del calórico se dice, que su velocidad es el espacio que corre en la unidad de tiempo, lo que estaba en armonía con la hipótesis de la emisión; pero admitida la de las ondulaciones, lo que se debe entender por velocidad del calórico es la distancia á que alcanza la propagación de la onda etérea en la unidad de tiempo, semejantemente que en la velocidad del sonido.

Su valor es inapreciable en las distancias terrestres, por ser muy pequeñas aun las mayores de que se pueda disponer en los experimentos. Por esta razón se considera la propagación instantánea, aunque realmente tiene una velocidad como la del lumínico; y si bien por su coexistencia con éste en los rayos solares y del fuego, se puede tomar ambas como iguales, hay algunas razones para considerar la del calórico algo menor que la del lumínico.

11. *Absorción del calórico* es el acto de recibir un cuerpo dentro de sí el que llega á la superficie del mismo, del dirigido hacia él desde el recinto ó cuerpos entre que se halla situado.

12. *La emisión* del calórico, lo mismo que la absorción, aunque, según la hipótesis del equilibrio móvil de temperatura, se producen simultánea é instantáneamente, se estudia en un caso la emisión, hecha abstracción de la absorción, y en otro la absorción, prescindiendo de la emisión.

13. *Se da el nombre* de equilibrio móvil de temperatura á la hipótesis debida á Prevost de Ginebra, según la cual se admite lo siguiente: que los cuerpos nunca dejan de emitir y absorber calor, aunque lleguen á adquirir y conservar todos igual temperatura; que el no variarla consiste, no en que cese el movimiento del calor en cada cuerpo, como pudiera creerse, sino en que llegados á una misma, continúa el movimiento del calórico de unos cuerpos á otros, de manera que cada cual recibe de los demás tanto como emite; de lo que resulta, que debiendo aumentar la temperatura de cada cuerpo por el calórico absorbido, tanto como le corresponde disminuir por el emitido, hay una compensación y aquélla continúa estacionaria, esto es, sin variar.

14. *La emisión* del calórico se considera cuando por estar un cuerpo á mayor temperatura que la del recinto, se ve que á de aquél disminuye, en cuyo caso se dice que el cuerpo se enfría.

15. *El enfriamiento* ó el enfriarse un cuerpo es el hecho de perder calor por emitir más que el que á la vez absorbe bajar su temperatura y disminuir el exceso de ella sobre la del recinto, tendiendo á igualarse ambas, hasta llegar á su equilibrio móvil.

16. *Velocidad* del enfriamiento de un cuerpo es la cantidad de calor que pierde en la unidad de tiempo; la que es tanto mayor cuanto mayor es la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la del recinto.

17. *Ley del enfriamiento* es la relación entre la cantidad de calor que pierde un cuerpo en la unidad de tiempo y el exceso de su temperatura sobre la del recinto, y según Newton, es proporcional á dicho exceso; cuya relación formulada en ley, se titula *Ley de Newton* y se enuncia en la forma siguiente: *la cantidad de calor que un cuerpo pierde en la unidad de tiempo es proporcional á el exceso de su temperatura sobre la del recinto.*

Ésta, hoy, no es exacta ó general en todos los casos y sólo es aplicable cuando el expresado exceso no resulta mayor que unos 20° á 30°,

pues á mayores excesos, según Dulong y Petit, la cantidad de calor que se pierde es mayor que la que se obtendría calculándola por dicha ley.

18. *La absorción* del calórico, se considera cuando al estar un cuerpo á menor temperatura que la del recinto, se ve que la de aquél aumenta, en cuyo caso se dice que el cuerpo se calienta.

II.

19. *La calefacción*, ó el calentarse un cuerpo, es el hecho de ganar calor por absorber más del que á la vez emite, elevar su temperatura y disminuir la diferencia entre ella y la del recinto, tendiendo á igualarse ambas hasta llegar á su equilibrio móvil.

20. *La absorción del calórico* se efectúa del modo siguiente: del calor que llega á la superficie del cuerpo que lo absorbe, una parte retrocede y otra penetra en su interior, constituyendo lo primero la reflexión y lo segundo la absorción. De este calor, si no se trasmite, una parte se convierte en calórico comunicado y otra en calórico transformado en trabajo mecánico.

21. *Velocidad* de la calefacción es la cantidad de calor que gana un cuerpo en la unidad de tiempo. Es tanto mayor cuanto mayor es la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la del recinto, y su ley la misma del enfriamiento.

22. *Poder emisivo absoluto* de un cuerpo es la propiedad de emitir más ó menos calor en igualdad de superficie y temperatura, y su *poder emisivo relativo* la relación de la cantidad del que emite con la cantidad emitida en igualdad de circunstancias por otro, como el negro de humo tomado por término de comparación.

23. *Poder absorbente absoluto* de un cuerpo es la propiedad de absorber más ó menos calor en igualdad de superficie y temperatura, y su *poder absorbente relativo* la relación de la cantidad del que absorbe con la absorbida en igualdad de circunstancias por otro, como el negro de humo tomado como término de comparación.

24. *Los poderes absorbentes y emisivos* de un mismo cuerpo se consideraron iguales en atención á que, según su naturaleza ó estructura, las mismas circunstancias influyentes en hacer posi-

ble la mayor ó menor salida del calor, debían influir también para hacer posible su entrada; pero hoy, según los experimentos de Kirchhoff, resulta, que los poderes emisivo y absorbente de un cuerpo no varían en la misma relación al variar la temperatura ó la naturaleza del foco calorífico.

25. *Los poderes absorbentes* y los emisivos de diferentes cuerpos son proporcionales, como se demuestra experimentalmente; pero los experimentos correspondientes, lo mismo que los que se refieren á las circunstancias influyentes en la emisión de un mismo cuerpo, no son propios de estas lecciones.

26. *De los experimentos* de Leslie, Melloni y otros, resulta que las mismas circunstancias influyentes en la absorción y calefacción de un cuerpo influyen igualmente en su emisión y enfriamiento, y viceversa.

27. *Las circunstancias* que influyen lo mismo en la emisión que en la absorción por un mismo cuerpo son varias; mas no siendo oportuno detenerse en tantos pormenores, baste tener presente que las principales son: el espesor del cuerpo, su estado físico, la inclinación de los rayos caloríficos respecto de la superficie que los emite ó absorbe, la temperatura y el estado de agregación molecular en la superficie: en la absorción influye además la naturaleza del calor recibido, esto es, del manantial de que aquél procede.

28. *Los metales* son los que poseen mayores poderes emisivos, al contrario de los gases en combustión, que esencialmente forman la llama, siempre que éstas no contengan moléculas sólidas, pues en tal caso su poder emisivo, lo mismo que el luminoso, es mayor; cuya explicación y experimentos demostrativos son fáciles de indicar.

29. *Intensidad* del calórico es la cantidad de éste que recibe la unidad de superficie en la unidad de tiempo. Varía por las circunstancias siguientes: por la distancia entre el cuerpo que emite y el que recibe los rayos caloríficos; por la oblicuidad de los mismos respecto de la superficie del cuerpo que los emite, y por la oblicuidad con que llegan á la superficie del que los recibe.

30. *La influencia* de las causas que modifican la intensidad del calor, se ejerce según las tres leyes siguientes:

Primera: la intensidad del calor varía en razón inversa de los cuadrados de las distancias entre el origen de calor y el cuerpo que lo recibe; si bien cuando los rayos son paralelos resulta igual á todas las distancias.

Segunda: varía proporcionalmente á los cosenos de los ángulos que forman los rayos incidentes sobre una superficie con la normal á ésta en el punto de incidencia, es decir, que cuanto mayores son dichos ángulos y, por consiguiente, menores los cosenos, tanto menores son las respectivas intensidades.

Tercera: varía proporcionalmente á los cosenos de los ángulos que forman los rayos emitidos con la normal en el punto de emergencia de la superficie del cuerpo de que emanan aquéllos, esto es, que cuanto mayores son dichos ángulos, y por consiguiente menores los cosenos, tanto menor es la intensidad.

La primera de estas leyes se demuestra como la relativa á las variaciones de intensidad del sonido por las distancias (XLVI.—19) y también experimentalmente con el aparato de Melloni.

La segunda se explica así: cuando los rayos caloríficos caen perpendicularmente sobre una superficie, en cuyo caso el ángulo que forman con la normal es cero, se reparten entre sus puntos y resulta la correspondiente intensidad; pero si caen oblícuamente, en cuyo caso el ángulo que forman es mayor, mayor es también el área sobre que se extienden y el número de puntos entre que se reparten, por cuya razón tocándoles menor número de rayos, la intensidad resulta menor: raciocinio que se puede hacer comprender, sin necesidad de cálculo trigonométrico, á la vista de la correspondiente figura, sencilla y fácil de construir.

La tercera, aunque se demuestra experimentalmente y por el cálculo, no resulta general.

Por estas leyes se explica fácilmente el por qué los rayos solares calientan más en el estío que en el invierno.

LECCIÓN LII.

Reflexión del calórico y sus leyes.—Reflexión aparente del frio.—Poderes reflectores y circunstancias que en ellos influyen.—Difusión del calórico y refracción.—Trasmisión y termoscrosis.

1.ª Reflexión del calórico es la modificación en cuya virtud los rayos caloríficos, al llegar á la superficie de los cuerpos, retroceden en mayor ó menor número por la misma dirección de su incidencia ó por otra diferente.

Los rayos caloríficos, al llegar á la superficie de los cuerpos, no retroceden ni penetran todos en su interior, sino que, según la naturaleza de los mismos, en unos penetra el mayor número, retrocediendo el menor, y en otros á la inversa; pero la reflexión de los que no penetran se ejecuta con leyes fijas como las que se observan en la de los cuerpos elásticos, de la cual se puede considerar aquélla como un caso particular; pues que, admítase la existencia de las moléculas caloríficas, ó la de las ondas del éter, siempre es el caso de un cuerpo sumamente elástico, como lo es también la onda sonora.

2.ª *Las leyes* de la reflexión del calor son dos, como las de la reflexión de los cuerpos elásticos y ondas sonoras: 1.ª, que el ángulo de reflexión es igual al de incidencia, y 2.ª, que ambos ángulos se hallan en el mismo plano normal á la superficie reflectante.

3.ª *Estas leyes* se pueden demostrar experimentalmente como las de la reflexión de la luz, con la sola diferencia de que en vez de tomar un rayo luminoso se toma uno de calor oscuro.

4.ª *La primera* se comprueba por medio del experimento de los espejos parabólicos ó apareados, el cual se ejecuta del modo siguiente: se colocan los dos espejos uno frente de otro, á cuatro ó cinco metros de distancia, de manera que sus ejes coincidan; en el foco del uno se coloca un cestillo de alambre de hierro lleno de ascuas y en el del otro un cuerpo inflamable, como la yesca; sostenidos uno y otra con sustentáculos á propósito, ligados á los respectivos de los espejos, y al poco tiempo se inflama la yesca: lo que sin aquéllos no se logra de ninguna manera á distancias mucho menores, ni con los espejos mismos cuando no se hallan situados de la manera indicada.

Este hecho no sólo comprueba que la marcha del calor es según la ley enunciada, sino que confirma la misma respecto de la luz, haciendo ver á la vez que los rayos de uno y otra marchan reunidos en una misma dirección.

Que este hecho comprueba la ley del ángulo de reflexión igual al de incidencia, se comprende fácilmente con la indicación de la propiedad geométrica de la parábola, y de los espejos parabólicos por consiguiente, de que el radio vector de un punto cualquiera de dicha curva forma un ángulo con la normal á aquél, igual al que con ésta forma la paralela al eje trazada por el mismo punto.

Según esta propiedad, se comprende que si el calor, lo mismo que la luz, se reune en el foco del segundo espejo, es porque siguiendo los ra-

yos aquella ley, salen del foco del primero, se dirigen á su superficie por los rayos vectores, retroceden al reflejarse por las correspondientes paralelas al eje hasta caer sobre la superficie del segundo espejo, para reflejarse en ella y dirigirse por los radios vectores á su foco: lo que no sucedería si no resultase la igualdad entre los ángulos de incidencia y reflexión, que coincidiesen con los formados por los radios vectores y las paralelas al eje.

5.ª *Se da el nombre* de reflexión aparente del frío al hecho experimental por el cual parece, á simple vista, que así como los cuerpos calientes emiten calor sobre los que se dice están fríos y los calientan, así tambien los fríos emiten como un flúido frigorífico, que enfría á los cuerpo inmediatos más calientes.

6.ª *Para presentar* la reflexión aparente del frío se hace un experimento con los espejos parabólicos, como el indicado para la comprobación de la ley de la reflexión del calor; con la diferencia de que en vez de la yesca se coloca un termómetro de modo que su depósito resulte en el foco de uno de los espejos, y en vez del cestillo con las ascuas, se pone hielo machacado, ó un vaso con una mezcla frigorífica, en cuyo caso la columna del termómetro desciende ó se pone más fría, como si recibiese frío del hielo ó mezcla frigorífica.

7.ª *Que esto es una apariencia,* se comprende por la teoría del equilibrio móvil de temperatura (LI—13) considerando que el termómetro es un cuerpo más caliente que el hielo ó mezcla frigorífica, y que emitiendo más calor que el que él recibe de uno ú otra, se enfría sin que pueda notarse elevación en la temperatura del hielo ó mezcla empleada, porque el calor que puede recibir del termómetro debe hacerse latente; de donde resulta que el enfriarse un cuerpo no es otra cosa sino perder siempre calor por recibir de los demás menos que el que emite sobre ellos.

8.ª Por la palabra frío se debe entender un estado relativo de temperatura, mas no un sér ó agente capaz de producir efectos semejantes á lo que sucede con el calor.

9.ª *Cuando se dice* que hace más ó menos frío, no se significa otra cosa sino el estado relativo de una temperatura á otra superior anterior, y el estar un cuerpo más frío que otro no es sino tener el primero una temperatura menor que la del segundo.

10. *Se da el nombre* de poder reflectante de los cuerpos á la

propiedad que poseen de reflejar el calor en mayor ó menor cantidad, según su diferente naturaleza, en igualdad de las demás circunstancias; ó bien la relación entre la cantidad de calor reflejado por una superficie y la recibida por la misma; llamándose poderes reflectores relativos de los cuerpos las relaciones entre sus poderes respectivos y el de un cuerpo que, como el latón, se toma por término de comparación.

11. *Los poderes* reflectores ó reflectantes relativos se han estudiado por experimentos comparativos, y tomando como tipo ó unidad el del latón.

Representado éste por 100, los de los demás cuerpos, como la plata, estaño, etc., resultan iguales respectivamente á 90, 80, etc., y el del negro de humo á cero; con lo que, y considerando que los poderes reflectantes vienen á ser proporcionales á las diferencias de temperatura indicadas por el termómetro diferencial en los correspondientes experimentos, se han deducido varias consecuencias, en igualdad de las demás circunstancias, relativamente á la influencia que en ellos ejerce el estado de las superficies de los cuerpos reflectores y la densidad y naturaleza de los mismos.

12. *Las consecuencias* deducidas del estudio de los poderes reflectantes, relativas á la influencia que en ellos ejerce el estado de las superficies de los cuerpos, son las siguientes: que en igualdad de las demás circunstancias, las superficies pulimentadas reflejan más que las que no lo están; las tersas más que las escabrosas; las brillantes más que las mates, y las blancas ó de color claro más que las negras.

13. *Respecto* á la influencia de la densidad superficial resulta: que las superficies en que la densidad se aumenta reflejan más, y que en general las diferentes circunstancias de las superficies, por las que éstas son más reflectantes, no son otra cosa que la consecuencia del estado de agregación de las moléculas en la superficie de los cuerpos y, por consiguiente, de los cambios de densidad que en ellas se efectúan.

14. *Relativamente* á la diferente naturaleza de los cuerpos se ha deducido: que cada cual, según la suya, tiene un poder reflector también diferente; pero que los metales son los que lo tienen mayor y que el negro de humo el que lo tiene menor que todos los cuerpos, pues es igual á cero.

15. *La reflexión* del calor que cae sobre los cuerpos, no sólo se efectúa sobre la superficie de éstos, sino que también en las capas inferiores hasta cierta profundidad, según los resultados de los experimentos practicados por Leslie, recubriendo sucesivamente su reflector con capas de barniz, que hacían variar el poder reflectante, hasta que al formar con las superpuestas un grueso de 0^{mm}, 25 ya siguió inalterable.

Los poderes reflectores de los cuerpos se hallan relacionados á los absorbentes, como éstos lo están á los emisivos, sólo que en orden inverso como es fácil concebir; así es que todo lo que favorece al absorbente perjudica al reflectante, y viceversa; de modo que cuanto mayor sea el poder absorbente, tanto menos calor del incidente se reflejará; luego lo que favorezca al primero perjudicará al segundo, y viceversa; por esta razón, así como en los poderes absorbentes influye la inclinación de los rayos incidentes y el origen de los focos caloríficos, así también influyen las mismas causas en el poder reflectante, pero en orden inverso.

Antes de los experimentos de Melloni, con su multiplicador, se admitía que los poderes absorbentes y reflectores eran suplementarios, esto es, que la suma del calor absorbido y el reflejado era igual al calor incidente; lo que no es exacto, toda vez que hay que tomar en cuenta la difusión del calor ó reflexión irregular del mismo.

16. *Difusión* calorífica es la reflexión y esparcimiento que experimenta una parte de los rayos caloríficos alrededor de los puntos de incidencia sobre los elementos de las superficies reflectantes, en todas direcciones además de las correspondientes por las leyes generales de la reflexión regular.

La difusión calorífica puede ser por reflexión y refracción. En las sustancias mates y escabrosas, lo mismo que en los metales sin pulimento, que apenas tienen poder reflectante, la difusión es muy considerable y mayor que en las tersas ó bruñidas, en las cuales, aun cuando nunca su poder difusivo sea nulo, casi todo el calor que reflejan marcha en la dirección determinada por la incidencia en virtud de las leyes de la reflexión.

La difusión calorífica se suele llamar reflexión irregular, y la reflexión de los rayos caloríficos, según las leyes expresadas (LII—2.ª), reflexión regular ó especular.

17. *Aunque* la difusión calorífica no sea un hecho fácil de percibir como la de la luz, sin embargo, se hace perceptible por los experimentos que se puede ejecutar con el aparato de Melloni.

18. *La calificación* de reflexión irregular, con que se suele sustituir lo que se llama difusión calorífica, no significa precisamente, como pudiera creerse, que los rayos difundidos estén reflejados con leyes diferentes de las que rigen en la reflexión especular, sino que se separan de la marcha de la mayoría de los rayos reflejados; pues en realidad todos observan la ley general de la reflexión, y el separarse unos de la marcha de los otros consiste en que los puntos de incidencia de todos los rayos no están en un verdadero plano matemático; en cuya consecuencia, aunque caigan todos siguiendo una misma marcha, son recibidos por los elementos superficiales, y hasta por las caras interiores de los poros, con incidencias muy distintas á las cuales corresponden variados ángulos de reflexión, sin dejar de ser cada cual de éstos igual al de incidencia.

Por esta razón, cuanto más tersas ó pulimentadas estén las superficies, habrá menos irregularidad en la colocación de los puntos de incidencia, menos difusión y mejor reflexión; y viceversa cuando las superficies sean mates, porosas ó deslustradas.

Bajo el nombre de reflectores del calórico se debe comprender á todos los cuerpos que, por su naturaleza y estado de sus superficies, difunden poco el calor y reflejan regular ó especularmente casi todo el que llega á ellas.

19. *Refracción* del calórico es la modificación de los rayos caloríficos, en cuya virtud cambian de dirección al pasar oblícuamente de un medio á otro de diferente densidad.

Sus pormenores y leyes son como las de la refracción del lumínico, en cuyo estudio se explica y comprende más fácilmente todo lo relativo á la del calórico.

II.

20. *Trasmisión* del calórico es el acto de pasar el mismo al través de los cuerpos. Se efectúa del modo siguiente: de los rayos caloríficos emitidos por un primer cuerpo, los que al llegar á la superficie de un segundo no son reflejados, penetran en el interior del mismo y lo atraviesan instantáneamente, sin producir efecto termométrico, esto es, sin detenerse ni elevar su temperatura, yendo á efectuarlo en los cuerpos que se hallan tras el segundo á más ó menos distancia.

21. *El hecho* más propio para hacer perceptible la trasmisión del calórico, es el fenómeno que nos presenta la atmósfera de recibir el calor del sol, dejándolo pasar, como á la luz, hasta la superficie de la tierra sin absorberlo ni detenerlo; como lo prueba el que si así no fuese, las capas superiores estarían más calientes, al contrario de lo que sucede, toda vez que, como se verá, las capas atmosféricas resultan más frías cuanto mayor es su altura.

El hecho de la trasmisión se puede hacer visible con el experimento de M. Prevost, disponiendo una caída de agua en forma de lámina, colocando de una parte un foco de calor, como la llama de una bujía, y de otra un termómetro bien sensible, como los termóscopos; pues el producir en éstos elevación de temperatura, prueba, según la disposición del experimento, que hay trasmisión; porque si así no fuese, el calor recibido por el agua, alejado con ésta por su gran velocidad, no podría influenciar al termómetro.

22. *Los cuerpos* más diáfanos para la luz, no son siempre los más á propósito para trasmitir el calor, como se creyó al ver que la atmósfera, el agua, vidrio y otros, á la vez que trasmiten la luz, trasmiten también el calor, lo cual no siempre sucede así.

23. *Que la trasmisión* no depende siempre de lo más ó menos diáfano de los cuerpos, está demostrado por los experimentos de Melloni, de los que basta citar el siguiente: sometiendo á su aparato una lámina de cuarzo ahumado, tan oscura que impedía leer con ella, prueba evidente de que no trasmitía luz, dió un resultado que indicaba una trasmisión de calor mayor que al emplear otra lámina de alumbre perfectamente diáfana y que, por consiguiente, trasmite bien la luz; de cuyos hechos resulta que la trasmisión del calor por dichas sustancias está en orden inverso que la de la luz.

Asimismo resulta que el vidrio negro detiene la luz y deja pasar calor, al contrario del agua pura y del vidrio teñido de verde por el óxido de cromo, que, aunque diáfanos para la luz, apenas dejan pasar calor.

Estos hechos indican que, aun cuando la luz y el calor que recibimos con ella vengan reunidos del sol, ó de cualquier foco, en realidad los rayos de una y otro no deben marchar confundidos, si bien los del calor que resulta descompuesto en la descomposición de la luz parece que van reunidos respectivamente á los rayos elementales de aquélla.

Esta cuestión, si bien creemos oportuno no pase desconocida, tampoco es propia de este lugar.

24. *El espesor* de los cuerpos, en igualdad de las demás circunstancias, no deja de influir en su trasmisión calorífica, aunque el decremento que aquél produce está muy distante de ser proporcional al grueso de las láminas. Esta influencia tiene cierto límite, pues que el calor que atraviesa ciertos espesores no es detenido en el resto del de las láminas, pudiendo atravesarlas en totalidad, sin experimentar ya más que pequeñas pérdidas sobre las ocasionadas en las primeras capas.

25. *La temperatura* del foco calorífico influye en la mayor ó menor trasmisión; pues aun cuando alguna vez suceda que á mayor temperatura del foco sea menor, sin embargo, por punto general la trasmisión aumenta á medida que lo ejecuta la temperatura.

Esta propiedad explica el por qué los rayos caloríficos que penetran en nuestras habitaciones al través de las vidrieras, no escapan tan fácilmente hacia fuera al través de las mismas; pues á la entrada es grande la trasmisión por el vidrio, porque vienen de un foco de muy elevada temperatura, y á la salida es poca por ser tan pequeña la de la habitación que hace de foco.

En la misma está fundada la invención de las máquinas solares, con cuyo perfeccionamiento se podrá llegar á obtener resultados maravillosos é incalculables.

26. *La naturaleza* del foco de calor que se emplea influye en la trasmisión, toda vez que las mismas sustancias, en igualdad de condiciones, trasmiten diferente cantidad de calor, según lo reciban de una clase de foco ó de otra.

Es de notar la especialidad de la sal gema, que tiene la propiedad de trasmitir siempre las 0,92 partes del calor incidente, cualesquiera que sean sus espesores, los orígenes del calor incidente y la temperatura de un mismo foco de calor.

27. *El termomultiplicador* de Melloni, difícil de describir y más todavía de comprender sin él á la vista, y sin tener los conocimientos posteriores de electricidad en que están fundados su uso y construcción, es un aparato que sirve como termómetro el más sensible y delicado, y cuyas partes esenciales son: la pila termo-eléctrica ligada por los hilos conductores á otro aparato, también de electricidad, llamado galvanómetro y de un foco calo-

rífico, que puede ser una lámpara, una espiral de platino enrojecida por la llama del alcohol, un cubo de agua caliente ú otros por el estilo: además le acompañan varios sustentáculos, que sostienen pantallas, mesetas para colocar los cristales ó pilas con los líquidos que se han de someter á los experimentos, y cuanto puede servir, no sólo para las experiencias de la trasmisión, sino que también para las de todo el calor radiante: por su medio se han obtenido los más minuciosos y ocultos pormenores.

28. *El uso* de este aparato es más delicado de lo que puede parecer, pero en lo esencial está reducido á hacer llegar á la pila termo-eléctrica el calor del foco, después de ser reflejado, refractado, descompuesto ó trasmitido por las sustancias interpuestas; pues desenvuelta en aquélla la corriente termo-eléctrica, ésta recorre el hilo conductor que rodea al bastidor del galvanómetro, la aguja de éste se desvía señalando arcos más ó menos grandes, que relacionan los resultados cual no es fácil especificar ni comprender en lecciones elementales.

29. *Melloni,* en vista de sus numerosos, variados é ingeniosos experimentos practicados con su aparato respecto del calórico radiante y trasmisión, ideó una teoría en que, semejante á lo que se estudia más detenidamente en Fotología, respecto de la luz, se supone que todo haz de calor se compone de varios rayos caloríficos simples ó elementales, ó con propiedades diferentes como sucede con los siete de aquélla, y que así como la luz se descompone y sus rayos elementales obran de distinta manera, el calor y sus rayos simples se encuentran en igual caso.

30. *Termoscrosis* en el calórico, como dispersión en el lumínico, es la teoría de la descomposición del calórico, semejante á la del lumínico. En ella se considera al calórico compuesto de diferentes especies de rayos, que, por los diversos números de vibraciones que las producen y la desigual longitud de sus respectivas ondas, tienen diferentes propiedades, las que constituyen un espectro calorífico semejante al luminoso.

31. *Según la teoría* de la termoscrosis, para significar el modo de portarse los cuerpos respecto del calórico relativamente á los usados en Fotología, se adoptó la nomenclatura siguiente: cuerpo diatérmano ó diatérmico en calor, equivalente á trasparente ó

diáfano en luz, es el que deja pasar el calor; adiatérmano en calor, como opaco en luz, es el que no deja paso al calor y lo detiene todo; termocroico en calor, como colorado en luz, es el que deja pasar una clase de rayos caloríficos y á otros no, deteniéndolos; atermocroico en calor, cual incoloro en luz, es el que no absorbe el calor, como el incoloro no absorbe la luz; leucotérmico en calor, lo mismo que blanco en luz, es el que refleja igualmente todos los rayos de calor, y melanotérmico en calor, cual negro en luz, es el que no refleja ningún rayo calorífico, absorbiéndolos todos.

LECCIÓN LIII.

Conductibilidad de los cuerpos para el calórico. — Cuerpos buenos y malos conductores.—Ley de la conductibilidad en los sólidos.— Mala conductibilidad en los líquidos y gases.— Idea de algunas aplicaciones.

1.ª *Conductibilidad* de los cuerpos para el calórico es la propiedad de los mismos, en virtud de la cual permiten el tránsito ó propagación de los rayos caloríficos, sucesiva y gradualmente, de unos á otros puntos de su masa, ó de unas capas á otras.

2.ª *La conductibilidad* se puede considerar efectuada por la irradiación del calor de cada molécula á sus inmediatas, ó por la emisión del de cada capa, que, absorbido inmediatamente en mayor ó menor parte por la siguiente, es emitido á su vez á la que le sigue.

3.ª *No se debe* confundir la idea de conductibilidad con la de trasmisión, pues la primera es la marcha y comunicación más ó menos lenta del calórico de capa en capa por el interior de los cuerpos, produciendo su elevación gradual de temperatura y su dilatación; cuando la segunda es el paso rápido del calor al través del cuerpo, sin absorción sensible de aquél y, por consiguiente, sin alteración de la temperatura de las capas del cuerpo.

4.ª *Para hacer* bien perceptible la diferencia entre conductibilidad y trasmisión, basta experimentar lo que sucede cuando se pone al fuego una barra metálica, por uno de sus extremos, y lo que pasa con el calor del sol para llegar á nosotros, atravesando

antes la atmósfera, ó al penetrar en las habitaciones al través de las vidrieras: lo primero es conductibilidad, y lo segundo trasmisión.

5.ª *Los cuerpos,* por razón de su conductibilidad, se dividen en buenos y malos conductores.

6.ª *Cuerpos* buenos conductores son los que permiten al calor propagarse ó extenderse fácilmente por todas sus capas.

7.ª *Cuerpos* malos conductores son los que no permiten la propagación sensible del calor por todas sus capas, no pasando aquél más allá de las inmediatas á las que reciben el aumento de temperatura por su proximidad ó contacto con el foco de calor.

8.ª *Se pueden* citar como buenos conductores los metales sobre todos, las piedras, los mármoles, los ladrillos y el carbón bien calcinado. El azufre, las resinas, el vidrio, maderas, carbón sin calcinar y las materias testiles, los líquidos y los gases son malos conductores: en general, los cuerpos conducen el calórico tanto mejor cuanto mayor es su densidad, y tanto peor cuanto más porosos ó fibrosos son.

9.ª *La conductibilidad* de los cuerpos para el calórico es muy diferente, según sus estados; pues los sólidos son más conductores que los flúidos.

El mercurio, como líquido, aunque debía ser mal conductor, conduce bien lo mismo que los metales por ser uno de ellos.

El hidrógeno, según los experimentos de Magnus, conduce mejor que los demás gases, y tanto mejor cuanto más condensado se halla; lo que está en consonancia con la opinión de algunos químicos, de que dicho cuerpo es un metal en estado gaseoso.

10. *Los sólidos,* aunque conducen mejor que los flúidos, unos lo hacen mejor que otros; y aun los que mejor conducen, como son los metales, tienen también diferente conductibilidad, así como varía en un mismo cuerpo, según su estado molecular.

11. *Que los sólidos* tienen diferente conductibilidad lo prueba el que si se coloca al fuego, por uno de sus extremos, una barrita de hierro y otra de vidrio ó madera, se ve que al poco tiempo no se puede tocar la primera por su otro extremo por lo muy caliente, cuando las otras se pueden tomar con la mano sin daño ni sensación alguna; pudiendo hacer ver experimentalmente la diferen-

cia de conductibilidad de unos á otros con el aparato correspondiente.

12. *La diferente* conductibilidad de unos sólidos á otros se demuestra experimentalmente con la caja de Ingenhousz.

13. *La caja* de Ingenhousz es un paralelipípedo recto rectangular de latón, de cuyas paredes laterales, de igual altura, dos opuestas son rectángulos mucho mayores que los de las otras dos, y con la disposición convenientemente para observar á la vez la conductibilidad de varios sólidos. Está dispuesta de modo que en una de las dos caras mayores lleva unmango d e madera, convenientemente colocado, para poder cogerla sin quemarse cuando está llena del líquido caliente de que se hace uso para el experimento, y en la cara opuesta, en la línea media paralela á su base, van implantadas una serie de barritas cilíndricas, de igual sección y altura, de diferentes metales, vidrio, mármol, madera, etc.

14. *El experimento* con la caja de Ingenhousz se practica del modo siguiente: se cubren sus barritas de una capa igual de cera líquida, dejando que se solidifique antes del experimento; se llena la caja de agua caliente, sobre 63° á que se funde la cera, y se ve que calentándose la caja, la capa de cera de las barritas se funde sucesivamente hasta cierta distancia de la base, diferente en cada una de aquéllas: lo que prueba la diferente conductibilidad de cada cual, é indica el orden ó grado relativo de conductibilidad entre las mismas.

15. *El resultado* de la conductibilidad de diferentes cuerpos sólidos de la misma sustancia, no es igual si no tienen iguales sus formas y dimensiones, é influyen en él la longitud, diámetro, sección ó espesor de los mismos.

16. *El espesor* de los sólidos de igual longitud influye de tal manera en el resultado de su conductibilidad, que éste es tanto mayor cuanto mayor es aquél; lo que se evidencia fácilmente tomando por uno de sus extremos barras de un mismo cuerpo é igual longitud, pero de diferente diámetro, y poniéndolas al mismo tiempo por el otro á un foco de calor; pues se advierte al poco tiempo que la mano que sostiene la barra más gruesa no puede resistir la impresión de aquél, mientras nada se percibe en la que tiene la más délgada, ó es muy poco el calor que recibe re-

lativamente al qne se siente en la otra mano. Si al contrario, son dos barras de igual diámetro y de diferente longitud, se advierte que la mano que sostiene la más corta no puede, al poco tiempo, resistir la sensación de calor, mientras nada se percibe en la que se tiene la más larga, ó es muy poco el que recibe relativamente al que se siente en la otra mano.

17. *La ley* de conductibilidad de los sólidos, relativamente á su longitud, según demostró primero Lambert, es la siguiente: las temperaturas que se comunican por conductibilidad á las diferentes secciones de un sólido, puesto á un foco de calor por uno de sus extremos, tomadas á distancias iguales, ó que con relación al foco se alejan en progresión aritmética creciente, resultan en progresión geométrica decreciente.

18. *La ley* de conductibilidad de los sólidos relativamente á su longitud, si bien resultó comprobada por Desprez con los experimentos que practicó valiéndose del aparato denominado barra de Desprez, sólo es exacta para los metales muy buenos conductores y sólo aproximada para los de poco poder conductor, por cuya razón no es aplicable á los cuerpos no metálicos.

Los físicos Wiedmann y Franz, por procedimientos más perfectos, obtuvieron valores más exactos que los hallados por Desprez para los poderes conductores de los metales contenidos en el siguiente cuadro.

Plata	100	Acero	11,6
Cobre	77, 6	Plomo	8,5
Oro	53, 2	Platino	8,4
Estaño	14, 5	Aleación de Ros.	2,8
Hierro	11,19	Bismuto	1,8

Las maderas, aunque conducen mal, su conductibilidad es mucho mayor en el sentido de las fibras que trasversalmente, y además conducen mejor cuanto mayor es su densidad.

19. *La diferente* conductibilidad de los sólidos es la causa de que al tocar á un mismo tiempo con las manos dos ó más de aquéllos, colocados en el mismo medio ó recinto y á igual temperatura, nos parezcan unos más fríos ó más calientes que los otros; pues conduciendo unos mejor que otros el calor que absorben de la mano, extraen de ésta más cantidad de aquél en igual tiempo y nos la enfrían más que los otros, como sucede al tocar á las vez un metal, el mármol, la madera y aun los diferentes metales.

20. *La diferente* conductibilidad de los sólidos conduce á numerosas é importantes aplicaciones industriales y científicas, de que podemos darnos fácil explicación y citar ejemplos vulgares, como son: el empleo de los mangos ó agarradores de los objetos metálicos que se han de calentar, los cuales se hacen de madera ó vidrio, ó también de metal dándoles bastante longitud y una disminución progresiva de diámetro ó sección.

El uso de las esteras, alfombras, tapices, tarimas y aun pavimentos de madera en las habitaciones, así como el de rodear ó envolver con paja, aserrín, etc. los cuerpos que se quiere no se calienten, en unos casos, ó que no se enfríen, en otros, son aplicaciones de la mala conductibilidad de los citados cuerpos.

21. *La mala* conductibilidad de los líquidos se prueba disponiendo una vasija á propósito, como lo es una probeta con pié y un orificio en su pared lateral, donde por medio de un tapón de corcho se coloca un pequeño termómetro, cuyo depósito entra al interior de la probeta; pues si se llena ésta de agua hasta cerca de los bordes, y en la última sección de la vasija se pone alcohol, que se sostiene encima, inflamando éste, se ve que en el termómetro apenas aumenta una pequeña fracción de grado la temperatura señalada al empezar el experimento; prueba de que el calor suministrado por la combustión del alcohol no pasa de capa á capa en el líquido inferior, porque si así fuese, las que rodean al termómetro se calentarían, y la columna termométrica se elevaría mucho más.

Si los líquidos se calientan fácilmente en toda su masa, cuando se colocan sobre un foco de calor las vasijas que los contienen, no es porque sean buenos conductores, como se pudiera creer, sino por la movilidad de sus moléculas, de las cuales, calentadas las inferiores más que otras superiores, las más calientes disminuyen su densidad y suben, las más densas bajan, y se establecen corrientes de líquido, ascendentes y descendentes, que supliendo la falta de conductibilidad, producen la calefacción del líquido.

22. *La forma* en que se establecen las corrientes de sus moléculas al calentar los líquidos, es la siguiente: calentado el fondo y paredes de las vasijas y, por consiguiente, la capa de las moléculas en contacto, éstas se hacen más ligeras que las restan-

tes y suben á colocarse sobre el nivel, siendo reemplazadas por otras más frías, que se calientan á su vez y suben como las anteriores; resultando así dos corrientes de moléculas, una de las más calientes y menos densas, que suben por junto á las paredes, y otra de las menos calientes y más densas, que descienden por el interior de la columna líquida.

23. *Calentados* una vez los líquidos, si se los separa del foco calorífico y coloca en un recinto de temperatura inferior á la suya, se enfrían más ó menos pronto por su irradiación, y como lo primero que se enfría son las paredes del vaso y las moléculas de la capa líquida con ellas en contacto, resulta que dicha capa aumenta su densidad y que, bajando á la parte inferior, es reemplazada por otra más caliente, que á su vez se enfría, se hace más densa y desciende; estableciéndose una corriente de moléculas líquidas más frías que las restantes, las cuales descienden por junto á las paredes, elevándose las más calientes por el interior; de este modo el enfriamiento de un líquido se efectúa mediante dos corrientes, como su calentamiento, si bien en orden inverso, una de moléculas frías que descienden por junto á las paredes de la vasija, y otra de moléculas calientes que suben por el interior de la columna líquida.

24. *En los gases* sucede como en los líquidos, que sin embargo de calentarse fácilmente, no lo efectúan por su conductibilidad, como se pudiera creer, sino por la gran movilidad de sus moléculas, en virtud de la cual se desenvuelven en su masa corrientes semejantes á las explicadas en el calentamiento de los líquidos. Aunque la facilidad con que se establecen estas corrientes hace difícil los experimentos, se puede evidenciar su mala conductibilidad, dividiendo una caja ó vasija llena de aire en diferentes compartimientos, por el intermedio de capas de algodón, ó cosa semejante, que dificulte la comunicación de aquellas corrientes á todo el depósito; pues en tal caso, calentando uno de los primeros compartimientos, se ve que los termómetros colocados en los demás no varían sensiblemente; prueba de la mala conductibilidad del aire ó gas; pues en caso contrario, el calor de las capas de un compartimiento pasaría á las del inmediato por la conductibilidad del contenido en el algodón, lana, plumas, etc., sin que fuese

obstáculo la mala conductibilidad de estos otros cuerpos. Aunque los flúidos son malos conductores, siempre se calientan algo, cualquiera que sea la parte de ellos por donde los penetra el calor, en virtud de la convección que en ellos resulta.

25. *Convección* es el nombre adoptado por los físicos ingleses para significar el trasporte interior de las moléculas de los gases, lo mismo que el de las de los líquidos, con su calor, desde los puntos más calientes á las regiones más frías: circunstancia que tanto influye en la formación de las corrientes atmosféricas y en las de las aguas de los mares.

26. *Los cuerpos* porosos, los reducidos á polvo y los procedentes de seres orgánicos son malos conductores, por la mala conductibilidad del aire, gases ó líquidos que encierran siempre en sus intersticios.

27. *Los cuerpos* que se calientan pronto, se enfrían con igual prontitud, por ser buenos conductores; porque así como su buena conductibilidad permite al calor propagarse fácilmente del exterior al interior, así también ofrece al mismo fácil salida del interior al exterior: por el contrario, los que tardan en calentarse, gastan también mucho tiempo en enfriarse, por ser malos conductores; porque así como su mala conductibilidad dificulta la entrada al calor del exterior, así también dificulta la salida del interior al exterior.

28. *La mala conductibilidad* explica el uso del baño de arena en ciertas operaciones químicas é industriales; el de las ropas de lana y algodón en las camas y en los vestidos; la extructura, disposición y materiales de los nidos de las aves; el empleo de dobles vidrieras, y el espesor de los muros exteriores de los edificios; pues en todo caso, entre la mala conductibilidad de las materias sólidas y la del aire interpuesto en ellas, ó su mayor trayecto, se impide la pérdida del calor que irradian los animales y el existente en el interior de las habitaciones, ó su paso al interior de éstas cuando así conviene.

LECCIÓN LIV.

Dilatación de los cuerpos por el calórico en general y la de los sólidos en particular.—Coeficiente de dilatación de los mismos.—Aplicaciones de la dilatación de los sólidos.

1.ª *Dilatación* de los cuerpos por el calórico es el aumento de volumen que experimentan al obrar aquél sobre ellos y aumentar su temperatura.

2.ª *La dilatación* de los cuerpos, como su conductibilidad, no es igual en todos, sino que difiere de unos estados á otros, variando también entre los cuerpos pertenecientes á uno mismo de aquéllos.

3.ª *El orden* de dilatación de los cuerpos respecto de sus estados es el siguiente: los gases se dilatan más que los líquidos, y éstos más que los sólidos, en orden inverso respecto de la conductibilidad.

4.ª *Los cuerpos* de un mismo estado no se dilatan igualmente, sino que lo verifican de distinta manera, especialmente los sólidos, que presentan diferencias bastante considerables en contraposición á lo que pasa con los gases, en los cuales, aun cuando se dilaten en distinta cantidad, las diferencias son tan pequeñas que, siendo insignificantes y despreciables en las aplicaciones, su dilatación se puede considerar igual en todos ellos.

5.ª *La dilatación* de los sólidos se demuestra experimentalmente con el anillo de S'Gravesande. Consiste en un anillo metálico, que á la temperatura ordinaria permite el paso á una esfera del mismo metal y de diámetro que difiere poco del de aquél, la que calentada suficientemente no puede pasar después por dicho anillo hasta que vuelve á enfriarse: prueba de la dilatación al calentarse y de la contracción que experimenta todo cuerpo por su enfriamiento.

6.ª *La dilatación* de los líquidos se observa bien á menudo con la elevación de la columna termométrica, pero se puede hacer ver fácilmente con un globito de vidrio, de no gran volumen, terminado en un tubo de poco diámetro; pues lleno de agua hasta el tercio inferior del cuello ó tubo, é introducido en agua caliente,

de pronto baja el nivel del agua, como contrayéndose, á causa de la inmediata dilatación del vidrio del globito por calentarse antes que el agua; pero dilatándose el agua más que el vidrio, por ser éste sólido, poco tiempo después se ve subir dicho nivel sobre el índice con que se tiene cuidado de señalar su primera posición antes del experimento; lo que prueba la dilatación del agua.

7.ª *Para demostrar* la dilatación de los gases puede servir el mismo globito empleado para demostrar la de los líquidos; pues lleno de aire ú otro gas, y colocando en el interior del tubo una gota de mercurio ú otro líquido, al introducir el aparato en agua caliente, ó con sólo aplicarle la mano, se ve subir la gota del líquido; lo que prueba la dilatación del gas.

8.ª *Medir la dilatación* de los cuerpos por el calórico, en los frecuentes casos que se hace necesario, sería problema pesado, difícil y hasta de imposible resolución; pero determinado una vez lo que aumenta una sola unidad de su longitud, superficie ó volumen, se puede calcular fácilmente, por las correspondientes fórmulas, la total dilatación de la longitud de cada cuerpo, la de toda una superficie ó la de un volumen grande ó pequeño. Por esta razón se han establecido los coeficientes de la dilatación.

9.ª *Coeficiente* de dilatación de los cuerpos es el aumento que experimenta la unidad de su volumen al elevar su temperatura un grado desde cero.

El coeficiente de dilatación se puede decir que es la unidad de medida de las dilataciones, y aunque en realidad éstas siempre son en volumen, á veces es necesario considerar solamente el aumento en la longitud del cuerpo ó el de alguna superficie, por cuya razón el coeficiente de dilatación se puede referir á diferentes casos.

10. *El coeficiente* de dilatación en los sólidos se puede considerar de tres modos: lineal, superficial y cúbico.

11. *Coeficiente* de dilatación lineal es el aumento de longitud que experimenta en la unidad de su medida una cualquiera de las dimensiones de un sólido al pasar su temperatura de 0° á 1°.

12. *Coeficiente* de dilatación superficial es el aumento que experimenta la unidad de superficie de un sólido al pasar su temperatura de 0° á 1°.

13. *Coeficiente* de dilatación cúbica es el aumento que experi-

menta la unidad de volumen de un sólido al pasar su temperatura desde 0° á 1°.

14. *El coeficiente* de dilatación lineal se puede determinar por el método de Roy y de Ramsden ó por el de Lavoisier y Laplace.

Este último procedimiento consta de tres partes: 1.ª La de graduar el aparato empleado por dichos físicos, fácil de comprender con él á la vista, ó con la correspondiente figura, con cuya operación preliminar hallaron: que corriendo sobre la mira las visuales dirigidas con el anteojo del aparato 744 líneas por el aumento de una sola de longitud en la de la barra con que se operó, cada una de dichas unidades venía á representar el aumento de 1|744 *de línea.* 2.ª La de poner después, en cada caso, una barra de la materia cuyo coeficiente se haya de determinar, con una longitud l y á 0°, de modo que el anteojo enfile con el cero de la escala de la mira; elevar seguidamente la temperatura de la misma barra desde 0° á $t°$, poniendo en la caja del aparato agua, aceite ó mercurio, que, calentados lo suficiente, calientan también á aquélla; en cuya disposición la barra se dilata, mueve al anteojo, y la visual dirigida por éste enfila con una división de la escala de la mira, cuyo número representado por n, como cada una de sus unidades equivale á 1|744 *de línea* de aumento, en la longitud de la barra indicará que la dilatación de ésta por los $t°$ de aumento en su temperatura es $\frac{1}{744}$ *de línea* $\times$ n $= \frac{n}{744}$ *de línea.* 3.ª La de hallar el valor de n en cada caso, operando con barras de las diferentes sustancias, cuyo coeficiente de dilatación se quiera hallar, y representado dicho coeficiente por K, se le determina con la fórmula $K = \frac{n}{744.l.t}$ *de línea.*

En efecto, siendo $\frac{n}{744}$ *de línea* la dilatación de la longitud l de la barra por $t°$, la correspondiente á una sola unidad por los mismos $t°$, será l veces menor, ó sea $\frac{n}{744}$ *de línea* : $l = \frac{n}{744.l}$ *de línea;* mas como esto es á $t°$, por uno solo será t veces menor, ó sea $\frac{n}{744.l}$ *de línea:* $t = \frac{n}{744.l.t}$ *de línea:* resultado que representando el aumento en la unidad de longitud por el aumento de un grado, viene á ser el valor del coeficiente de dilatación K.

15. *Hallado el coeficiente* de dilatación lineal de un sólido, no es necesario determinar directamente el superficial ni el cúbico, porque se demuestra que el superficial es doble del lineal y que el cúbico es triplo; esto es, que sus valores numéricos en abstracto, como corresponde usarlos en las fórmulas, se hallarán multipli-

cando por dos el coeficiente lineal para el superficial, y por tres para el cúbico.

En efecto, siendo el coeficiente de dilatación el aumento que experimenta la unidad superficial ó cúbica por la elevación de la temperatura de 0° á 1°, y considerando que el lado del cuadrado de la unidad superficial y la arista del cubo de la cúbica es 1, al aumentar en K, coeficiente de dilatación lineal, se convertirá en $(1+K)$, y por consiguiente, aumentando todos los lados del cuadrado y las aristas del cubo en la misma cantidad K, resultará un nuevo cuadrado y cubo, cuyos valores serán $(1+K)^2$ y $(1+K)^3$, que desenvueltos por las fórmulas del cuadrado y cubo de la suma de dos rectas, dan:

$$(1+K)^2 = 1^2 + 2 \times 1.\ K + K^2$$
$$(1+K)^3 = 1^3 + 3 \times 1^2.\ K + 3 \times 1.\ K^2 + K^3;$$

en cuyas igualdades siendo K una fracción muy pequeña, su cuadrado y cubo serán despreciables por su pequeñez, y los segundos miembros se podrán considerar reducidos á

$$1^2 + 2 \times 1.\ K = 1^2 + 1.\ K \times 2$$
$$1^3 + 3 \times 1^2.\ K = 1^3 + 1^2.\ K \times 3,$$

donde se ve, que siendo 1^2 el primer cuadrado y 1^3 el primer cubo, resultan aumentados en $1.\ K \times 2$ el primero y $1^2.\ K \times 3$ el segundo; de modo que el coeficiente superficial resulta $1.\ K \times 2$ y el cúbico por $1^2.\ K \times 3$. Ahora bien, como estos números han de jugar en abstracto en las fórmulas, considerando que $1 \times K = K$; $1^2 = 1$ y por consiguiente, que $1^2 \times K = 1 \times K = K$, resulta

$$1.\ K \times 2 = K \times 2 = 2K$$
$$1^2.\ K \times 3 = K \times 3 = 3K$$

y se dice que el coeficiente superficial es $K \times 2$ y el cúbico $K \times 3$, que son el doble y el triplo del lineal K.

Siendo el coeficiente superficial y lo mismo el cúbico el aumento de superficie ó volumen, y K el de longitud, al decir que aquéllos son el doble y triplo del lineal, se comete una inexactitud, que pudiera conducir á confusión; mas remontándonos al valor de dichos coeficientes $1.\ K \times 2$ y $1^2.\ K \times 3$, se ve que $1 \times K$ representa un rectángulo de igual base que el primer cuadrado y cuya altura es K, y $1^2 \times K$ representa un prisma de igual base que el primer cubo, cuya altura es K; y de aquí que $1.\ K \times 2$ y $1^2.\ K \times 3$ son respectivamente el duplo y triplo de dicho rectángulo y prisma, los cuales se pueden considerar reunidos respectivamente sobre el lado del cuadrado ó cara del cubo primitivo, como es fácil ver con las figuras geométricas correspondientes.

16. *El coeficiente* de dilatación es diferente para cada sólido, y por lo mismo se han formado tablas que los contienen expresados en números decimales, los cuales no corresponden á unidad alguna determinada, porque indicando que el aumento es de tantas centésimas, milésimas, etc. de unidad lineal, lo mismo se refieren á una dada que á otra cualquiera.

17. *El coeficiente* de dilatación de un mismo sólido no es el mismo á todas las temperaturas, resultando mayor á medida que el aumento de un grado se cuenta sobre temperaturas más elevadas; pero en las aplicaciones se puede considerar como constante el hallado por término medio entre las de 0° á 100° para el vidrio y los metales. El de éstos en igualdad de las demás circunstancias, es tanto mayor cuanto más fusibles son aquéllos, y en las sustancias heterogéneas, maderas y sustancias cristalizadas es diferente, según se toma en el sentido de una ú otra dimensión. Para el hueco de los cuerpos se toma el de su materia y se calcula como si fuera un cuerpo macizo.

Los coeficientes que contiene el cuadro que sigue, según el modo con que se han hallado, vienen á ser un término medio de los correspondientes á las distintas temperaturas entre 0° y 100°.

Coeficientes medios de dilatación lineal entre 0° y 100° de algunos cuerpos de los que se suelen emplear en las artes más frecuentemente.

Hielo	0,000	052	800	Oro	0,000 015 500
Zinc	0,000	029	417	Oro refinado	0,000 014 660
Plomo	0,000	028	575	Acero templado	0,000 012 395
Vidrio ordinario de tubos	0,000	025	400	Hierro dulce forjado	0,000 012 204
Estaño	0,000	021	750	Hierro fundido	0,000 011 250
Aluminio	0,000	022	200	Carbón vegetal	0,000 011 000
Plata copelada	0,000	019	097	Acero sin templar	0,000 010 788
Plata	0,000	019	000	Mármol blanco	0,000 010 700
Latón	0,000	018	782	Piedra de edificar	0,000 009 000
Bronce	0,000	018	167	Platino	0,000 008 842
Cobre	0,000	017	182	Vidrio blanco	0,000 008 613

18. *La fuerza* de dilatación de un sólido por un aumento determinado de temperatura es igual al peso necesario para disminuir su volumen por la presión, tanto cuanto le corresponda aumentar al dilatarse por aquel aumento.

19. *El conocimiento* de la dilatación de los sólidos es muy interesante, porque es necesario tomarla en cuenta en muchos usos

ordinarios, en las construcciones industriales y en muchas de las científicas.

Á este efecto, con sencillos cálculos, se han establecido fórmulas por medio de las cuales, conocido el coeficiente de dilatación de cualquier sustancia, la longitud de las barras, ó el volumen de los cuerpos construídos con aquélla, así como sus variaciones de temperatura, se determinan fácilmente los aumentos que pueden resultar, y, en orden inverso, sus contracciones; y aunque los problemas que resuelven dichas fórmulas son muy interesantes, sólo conviene presentar el que se puede considerar como fundamental. Al verificarlo, es más conveniente concretarse á la cuestión de longitudes que no á la de los volúmenes.

20. *Conocida* la longitud de una barra á la temperatura de 0° y el coeficiente lineal K de su materia, se puede determinar la longitud l' que tendrá calentada á t°, esto es, al pasar de 0° á t°, por la siguiente fórmula $l'=l\ (1+K\ t)$, de donde, viceversa, $l=\frac{l'}{1+Kl}$.

En efecto, siendo K el aumento que experimenta cada unidad de la barra por el aumento de un grado, el de toda ella será $K\times l$; mas siendo esto por un sólo grado, por los t° será $K.\ l\times t.$ y la barra reunirá en su nueva longitud la anterior l, más el aumento total K. l. t; luego $l'=l+K\ l\ t$, y separando el factor común l, tendremos $l'=l\ (1+K\ t)$: si en esta igualdad se toma l por incógnita, despejándola, resultará $l=\frac{l'}{1+Kl}$: fórmula que sirve para determinar la longitud l á que se reduce una barra, que teniendo la de l' á t°, baja á 0°.

Con estas dos fórmulas se puede resolver el problema siguiente: dada la longitud de una barra á t^o determinar la que tendrá á t'^o, pues con la segunda se pasaría de la de t^o á 0° y con la primera de la de 0° á t'^o. Sin embargo, simplificando esta marcha, se halla una fórmula especial para este caso, que viene á ser el general. El binomio $1+Kt$ se llama binomio de dilatación.

21. *Por razonamientos* semejantes á los empleados en los problemas de las dilataciones lineales, se pueden deducir iguales fórmulas para iguales casos, ya se trate de superficies, ya de volúmenes, con sólo cambiar la letra l en S ó V y multiplicar el factor K por 2 para lo primero, y por 3 para lo segundo. Para las

superficies la $S'=S\ (1+2\,K\,t)$ y para los volúmenes la $V'=V\ (1+3\,K\,t)$.

22. *Las aplicaciones* del conocimiento de la dilatación de los sólidos por la elevación de su temperatura, y del de las enormes fuerzas que resultan, tanto al efectuarse la dilatación como al producirse la contracción por el enfriamiento, son tantas que no es fácil su enumeración. Sin embargo, basta indicar las siguientes:

1.ª El enchufado en las tuberías de hierro, ó de cualquier metal, es para evitar los efectos perjudiciales que en caso contrario podrían resultar por las dilataciones; pues en dicha disposición, al dilatarse ó al contraerse cada tubo, su extremo avanza ó retrocede en el interior del inmediato, lo que no podrían verificar soldados al tope; en cuyo caso, al dilatarse resultaría una longitud mayor que aquella sobre que les era dado insistir y tenderían á encorvarse, produciendo rupturas y desarreglos en su colocación.

2.ª Los rails ó barras de los ferrocarriles no están perfectamente unidas, para que tengan espacio en que dilatarse sin producir los desarreglos que resultarían en caso contrario.

3.ª Los hilos telegráficos tampoco se ponen tensos ó en línea recta, no sólo por la imposibilidad de anonadar su catenaria, sino porque conviene dejarlos con cierta laxitud para hacer posible la contracción sin que se quiebren.

4.ª La compensación de los relojes de péndola tiene por objeto establecer mecanismos tales, como los *péndulos compensadores*, que las dilaciones ó contracciones de unas partes del aparato compensen las de las otras, destruyéndose mutuamente sus efectos, sin que la longitud del péndulo varíe. Sin la compensación, dichos relojes se adelantarían con el frío, por acortarse su longitud, y se atrasarían con el calor, por aumentar aquélla; pues en un tiempo dado resultarían, en el primer caso, más oscilaciones, y menos en el segundo.

5.ª La colocación de las llantas ó aros de hierro en las ruedas, toneles y otros útiles que se ejecuta calentándolos de antemano hasta el rojo, pues al enfriarse y contraerse, quedan perfecta y fuertemente ajustados; siendo muy notable la aplicación que se hizo de la fuerza de contracción para hacer volver á su

aplomo á un muro que en el Conservatorio de Artes de París, amenazaba ruina. También se cita otra reparación semejante hecha en la cúpula de San Pedro, en Roma.

23. *Entre los efectos* perjudiciales de la dilatación podemos citar los deterioros que pueden causar en los muros las rejas de hierro y piezas de este metal empleadas en las construcciones, si no se disponen de manera que puedan dilatarse y contraerse con cierta libertad, y la ruptura de las vasijas de vidrio, ó de cualquier clase de barro, por calentarse y dilatarse más por unas partes que por otras cuando se colocan sobre el fuego.

LECCIÓN LV.

Dilatación de los líquidos.—Dilatación aparente y real de los mismos.—Coeficiente de la dilatación aparente.—Termómetro de peso.—Determinación de la dilatación aparente y de la real.—Máximum de la densidad del agua.—Dilatación de los gases.—Aplicaciones.

1.ª *La dilatación* de los líquidos, aunque siempre es en todos sentidos, dilatándose más que la materia de los vasos en que se los coloca, se hace necesario considerarla de dos modos, aparente y real.

2.ª *Dilatación aparente* de un líquido es el aumento que á simple vista se percibe en su volumen, sin tomar en consideración la parte del mismo empleada en llenar el aumento que á la vez experimenta en el suyo la capacidad del vaso que ocupaba. Es equivalente al exceso del aumento de volumen del líquido sobre el de la capacidad de la parte del vaso ocupada por aquél antes de dilatarse.

3.ª *Dilatación real*, absoluta ó verdadera de un líquido es el aumento total de volumen que en el suyo primitivo experimenta, y que se haría perceptible por completo, si la materia del vaso que lo contiene no fuese á la vez dilatable. Equivale á la suma de la aparente con la de la capacidad de la parte del vaso ocupada por el líquido antes de la dilatación.

4.ª *La dilatación* real de un líquido se hallará sumando la aparente con la de la capacidad ocupada por el líquido antes de la dilatación; datos que se pueden determinar calculando la dila-

tación aparente, y la de la primitiva capacidad ocupada por el líquido.

5.ª *Para hallar* los datos necesarios en la determinación de la dilatación real de los líquidos, se hizo necesario establecer también los correspondientes coeficientes de su dilatación real y de la aparente. El primero es el aumento de la unidad de volumen de un líquido al aumentar su temperatura de 0° á 1°. El segundo es el aparente aumento correspondiente á una sola unidad de volumen de un líquido al aumentar su temperatura de 0° á 1°.

Según lo que se necesita para determinar la dilatación real de un líquido, hoy basta saber el coeficiente de su dilatación aparente y el de la materia del vaso con que se opera; mas para probar que el aumento de la capacidad ocupada por un líquido antes de dilatarse, equivale á la de un volumen igual de la materia del recipiente, como si el hueco fuese maciso, se procuró hallar el coeficiente de dilatación real del mercurio con independencia de la dilatación del recipiente, como lo ejecutaron Dulong y Petit por un procedimiento ingenioso, fundado en el principio de Hidrostática, de que las alturas de los líquidos en vasos comunicantes resultan en razón inversa de sus densidades, en lo que no influyendo los diámetros de aquéllos, tampoco influye su dilatación.

Por este procedimiento se halló que el coeficiente medio de la dilatación real del mercurio entre 0° y 100° es $\frac{1}{5550}$; $\frac{1}{5425}$ entre 100° y 200°, y $\frac{1}{5300}$ entre 200° y 300°.

6.ª *Para determinar* la dilatación aparente de un volumen cualquiera de un líquido, sólo se necesita saber su coeficiente de dilatación aparente, para aplicarlo á la correspondiente fórmula de la dilatación cúbica.

7.ª *El coeficiente* de dilatación aparente de los líquidos se halla con el termómetro de peso, que es un tubo cilíndrico de vidrio, no capilar, de longitud conveniente, cerrado por una de sus bases en forma redondeada y unido por la otra á un tubo de pequeño diámetro afilado y encorvado por su terminación, cuyo extremo queda abierto para recibir primero el líquido con que se quiera operar, y dar salida después al que resulta excedente por la dilatación.

8.ª *El modo de operar* con el termómetro de peso es el siguiente: se pesa el aparato vacío, se llena del líquido de que se

trate, puesto á cero grados, y se vuelve á pesar; y restando de este peso el del aparato vacío, se tendrá el peso P del líquido que llena el aparato á 0°: después se introduce en un baño de agua, mercurio ó aceite caliente á una temperatura dada, con lo que al pasar el vidrio y el líquido de 0° á otra temperatura mayor, sufren la dilatación que les corresponde y el exceso de la del líquido sobre la del aparatito sale de éste, constituyendo la dilatación aparente de aquél; cuya cantidad de líquido, recibida con cuidado en una cápsula, se pesa por último, y su peso p con el P y el t° resultantes de estas operaciones, sirven de datos para establecer la fórmula del coeficiente de dilatación aparente de cualquier líquido, que representado por K, resulta $K = \frac{p}{(P-p)\,t^\circ}$.

Esta fórmula se demuestra del modo siguiente: el líquido que sale y el que permanece dentro, estando á igual temperatura, tendrán también igual densidad, por lo que sus volúmenes estarán en razón de sus pesos; de donde llamando V al volumen del líquido restante dentro del aparato, cuyo peso es el P que tenia, menos el p del que se derrama, ó sea $P-p$, y v al del peso p del salido á la cápsula, tendremos $V : v :: P-p : p$, ó $\frac{v}{V} = \frac{p}{P-p}$: ahora bien, siendo v el volumen aumentado sobre el V, que tratándose de dilatación aparente se considera como el primitivo, haciendo como se hace abstracción de la dilatación de la vasija, $\frac{v}{V}$ viene á ser el aumento aparente de cada unidad de volumen por t° de aumento de temperatura: pero como $\frac{v}{V} = \frac{p}{P-p}$, dicha dilatación en función de los pesos obtenidos en el experimento, será $\frac{p}{P-p}$; luego el aumento de cada unidad por un grado será t veces menor y, por consiguiente, resultará $\frac{p}{P-p} : t^\circ = \frac{p}{(P-p)\,t^\circ}$, esto es, $K = \frac{p}{(P-p)\,t^\circ}$.

9.ª *El coeficiente* de dilatación aparente del mercurio de 0° á 100°, determinado por el termómetro de peso y la fórmula $K = \frac{p}{(P-p)\,t^\circ}$, es igual á $\frac{1}{6480} = 0{,}000154$.

10. *El termómetro de peso* se llama así, porque con él se puede determinar la temperatura de un líquido, procediendo del modo siguiente: se llena el aparato de mercurio á 0° y se halla el

peso del mismo contenido en aquél; se introduce en el líquido y se recibe en una capsulita el mercurio que resulta excedente por la dilatación debida á la temperatura del baño, que es la incógnita; se pesa el líquido recibido en la cápsula, con lo que se tiene P y p, y sustituyendo estos datos y el valor de $K=\frac{1}{6480}=$ 0,000154 en la fórmula $t°=\frac{p}{(P-p)\,K}$ que se obtiene despejando el t° en la $K=\frac{p}{(P-p)\,t°}$, resulta el número de grados á que está el líquido en que se opera.

11. *El termómetro de peso* tiene una ventaja sobre los ordinarios, que sólo dan las temperaturas de las capas que rodean su depósito; cuya ventaja consiste en que con el primero, dándole la longitud que convenga é introduciéndolo verticalmente en un líquido, se viene á obtener la temperatura media de las diferentes de todas las capas, que la tienen desigual por la forma en que se calientan los líquidos.

12. *Conocido el coeficiente* de dilatación real del mercurio $\frac{1}{5550}$ y el aparente del mismo $\frac{1}{6480}$ se halló su diferencia, que viene á ser 0,000025. Ahora bien, como esta diferencia de volúmenes es la que llena el aumento de capacidad ó de hueco en el tubo al dilatarse, siendo el triplo del 0,000086 coeficiente de dilatación lineal del vidrio en macizo, qne viene á ser su dilatación cúbica, quedó demostrado que el aumento de la capacidad del tubo en hueco es el mismo que el de un volumen igual del vidrio macizo.

Según esto, aplicando el coeficiente *K* de dilatación aparente de un líquido á la correspondiente fórmula de la dilatación cúbica, se tendrá la aparente del líquido, primer dato necesario en la determinación de la dilatación real, y calculando el aumento de capacidad del tubo como si fuera de vidrio macizo, aplicando el coeficiente de dilatación cúbica del mismo 0,000086, triplo de lineal 0,000025, se obtendrá el aumento de la capacidad ocupada por el líquido antes de dilatarse, que es el segundo dato necesario en la antedicha determinación de la dilatación real; de modo que sumados ambos datos, el resultado será la dilatación real del líquido.

13. *De la comparación* de los coeficientes de dilatación de los líquidos á diferentes temperaturas resulta, que entre ciertos límites sus variaciones son mayores á medida que aumentan sus temperaturas y viceversa. Además, la irregularidad que en ellas se observa es tanto mayor cuanto más se aproximan dichas temperaturas á las de la ebullición y congelación del líquido.

De esta circunstancia resulta que no entrando el mercurio en ebullición sino á los 360°, y no congelándose hasta los cuarenta bajo cero, esto es,—40°, las mayores irregularidades en sus dilataciones serán entre los 340° ó 350° á los 360°, y en el enfriamiento entre los—20° y—40°. Según esto, dichas irregularidades serán menores y casi despreciables en las sucesivas temperaturas comprendidas entre menos 20° y 340° y se pueden considerar como regulares; por cuya razón, para llenar los tubos termométricos se ha dado al mercurio la preferencia sobre los demás líquidos.

Por la misma razón, en las aplicaciones ordinarias entre las temperaturas 0° y 100°, se emplea como constante el coeficiente de dilatación real del mercurio $\frac{1}{5550}$; entre 100° y 200° el $\frac{1}{5425}$, y entre 200° y 300° el $\frac{1}{5300}$.

14. *Aunque los cuerpos* se dilatan, generalmente, cuando aumentan sus temperaturas, y se contraen cuando bajan las mismas, disminuyendo su densidad en el primer caso y aumentando en el segundo; el agua, y aun sus disoluciones, presenta una excepción, pues se observa que lo mismo se dilata cuando aumenta su temperatura sobre cuatro grados centígrados, que descendiendo desde la misma hasta 0°, y por consiguiente, que su densidad disminuye al elevar su temperatura sobre 4° lo mismo que al descender á 0°; de donde resulta que el agua tiene un máximum de densidad.

Se puede hacer perceptible este fenómeno, denominado del máximum de densidad del agua, tomando dos termómetros, uno con agua y otro con mercurio; pues al enfriarlos, introduciéndolos en agua á cero grados próximamente, ambos bajan á la vez hasta llegar á 4o: mas continuando su enfriamiento, el termómetro de mercurio sigue bajando, disminuyendo por consiguiente de volumen y aumentando de densidad, cuando en el agua la columna se detiene también á los mismos 4°, pero vuelve á subir y por consiguiente á aumentar de volumen y disminuir de densidad.

15. *Máximum de densidad* del agua es la mayor que ésta adquiere á los 4° del centígrado, en virtud de la propiedad que tiene de dilatarse, tanto al elevar su temperatura sobre aquel número de grados, como al descender bajo el mismo.

16. *El agua adquiere su máximum* de densidad á la temperatura de 4° del centígrado; pues aunque M. Hallstrom halló ser á los 4,1 de grado, se admite ser á los 4°, según los experimentos de M. Despretz.

De esta propiedad del agua resulta que una cantidad dada de la misma se reduce al menor volumen posible cuando se halla á la temperatura de 4° centígrados, y que á partir de dicha temperatura de 4° el volumen crece siempre sobre el mínimo, tanto al aumentar aquélla como al disminuír; si bien según Despretz los aumentos de volumen al bajar la temperatura desde 4° á 0° son algo mayores que cuando aumenta sobre los mismos.

También se observa que cuando se retarda la congelación por los medios que hay para ello, al enfriarse más y continuar descendiendo su temperatura bajo 0°, si el hielo que resulta pasa por estas mismas temperaturas inferiores á cero, entonces en vez de dilatarse se contrae.

17. *El máximum de densidad del agua*, observado ya en 1670 por los académicos de Florencia, se puede demostrar por el citado experimento con que se puede dar á conocer este fenómeno ó con el aparato llamado de corona; bien por el procedimiento empleado por Rumfort, ya en fin por el de M. Hallstrom.

Este último consiste en pesar una esfera en el agua destilada á diferentes temperaturas, y hallar la pérdida de su peso en cada una de ellas; pues reducidas todas á un volumen, teniendo en cuenta las dilataciones, resulta que la mayor pérdida de peso se verifica á los 4°: ahora bien, como las pérdidas representan el peso del volumen desalojado por el igual de la esfera á cada temperatura, se sigue que siendo el peso del mismo volumen de agua mayor á la de 4° que en todas las demás, su densidad será también siempre la mayor, y de aquí su máximum á dicha temperatura.

18. *De las aplicaciones* del conocimiento de la dilatación de los líquidos conviene citar, aunque someramente, las dos siguientes: la corrección barométrica y la de los pesos específicos por razón de la temperatura.

19. *La corrección barométrica* es necesaria, porque dilatándose y contrayéndose el mercurio del barómetro por las variacio-

nes de temperatura, si no se calculasen y descontasen los aumentos ó disminuciones en la columna barométrica por razón de aquéllas, resultarían mayores ó menores las indicaciones relativas á la presión atmosférica y no serían comparables.

Se consigue que lo sean, reduciendo todas las alturas de la columna mercurial á lo que serían á la misma temperatura de cero, que es la más general, y para lo cual hay las correspondientes fórmulas.

20. *La corrección de las densidades* por razón de las temperaturas se hace necesaria, porque variando los volúmenes de los cuerpos, de considerarlos en una temperatura á considerarlos en otra, varían también sus densidades, y, al determinar los pesos específicos de un mismo cuerpo ó de cuerpos diferentes á temperaturas distintas, los resultados no serían comparables.

Se consigue que lo sean, reduciendo los hallados en las diferentes temperaturas á lo que serían á una misma ó igual para todos: generalmente se reducen á la de 0°, para lo cual hay también las correspondientes fórmulas como para la corrección barométrica.

21. *La dilatación del aire* como tipo de la de los gases se estudió y midió llenando convenientemente de dicho gas seco un termómetro, cuyo tubo estaba dividido en partes alicuotas del volumen del depósito, y calentándolo por medio de un baño dispuesto al efecto con termómetros que apreciaban la temperatura; con lo que hallado el aumento de volúmen del aire empleado y la temperatura del baño, se calculó el coeficiente de dilatación del aire.

Por este método se pudieron hallar los coeficientes de dilatación de los demás gases y establecer comparaciones con el aire.

22. *Gay-Lussac*, el primero que se ocupó de la cuestión de las dilataciones de los gases, halló por su método, que el aire á la presión de $0^{m}.76$, al pasar de 0° á 100°, se dilataba 0,375 de su volumen y, por consiguiente, que su dilatación por un grado era 0,00374.

23. *En un principio* se creyó que el coeficiente de dilatación de todos los gases debía ser el mismo que el del aire, admitiendo que todos se comprimían, según la misma ley de Marriotte y formulando Gay-Lussac esta opinión en ley, así como la de que el coeficiente de todos los gases era el mismo, cualquiera que fuese

la presión del gas al hallar el valor de dicho coeficiente. Sin embargo, según los nuevos procedimientos y resultados obtenidos por M. Regnault, en realidad cada gas tiene un coeficiente de dilatación diferente, variando cada cual no sólo con su naturaleza, sino que también con la presión á que se halla sometido.

24. *El coeficiente* de dilatación de todos los gases permanentes se puede considerar generalmente como igual al del aire, porque aun cuando los valores hallados por Regnault den diferencias apreciables, sin embargo, son tan pequeñas, que siendo su influencia nula ó casi nula en la generalidad de los casos, aquéllas se hacen despreciables.

25. *El coeficiente* de dilatación del aire hallado por Regnault con la mayor escrupulosidad es 0,003665, del cual se diferencian solamente los demás en alguna millonésima ó cienmilésima.

26. *Aunque el coeficiente* de dilatación de los gases que se denominaron permanentes se pueda considerar igual al del aire, por ser sus diferencias despreciables respecto del de éste, no sucede lo mismo con los gases liquefactibles: pues sus coeficientes difieren ya unos de otros en cantidades que se deben tomar en consideración.

LECCIÓN LVI.

Calorimetría.—Capacidades caloríficas.— Calores específicos, caloría y determinación de aquéllos, especialmente por el método de las mezclas.

1.ª *Calorimetría* es la parte de la Termología que estudia las capacidades caloríficas de los cuerpos, y enseña á determinar sus calores específicos y el calor necesario ó que se consume en los cambios de estado, fusión ó vaporización.

2.ª *Capacidad calorífica* de los cuerpos es la cantidad de calor que cada cual necesita para elevar la unidad de su masa un grado de temperatura á partir desde cero, esto es, desde cero á un grado.

Así como con igual aumento de temperatura no se dilatan igualmente todos los cuerpos, como lo prueban los diferentes valores de sus

coeficientes de dilatación, así mismo tampoco por iguales aumentos de calor se calientan igualmente, esto es, no aumentan sus temperaturas igual número de grados; de modo que el que con igual cantidad de calor aumenta más grados, es porque para cada uno necesitan menos parte del mismo que para cada uno de los del otro cuerpo.

3.ª *La existencia* de las capacidades caloríficas se puede dar á conocer por los resultados de los dos experimentos siguientes: el primero consiste en mezclar dos cantidades iguales de agua, de mercurio, etc., 1 kilógramo de agua á t° y otro de mercurio á t'°, con las precauciones conducentes á evitar y corregir toda pérdida de calor y á que la temperatura quede uniforme. Llegado este caso, resulta que la adquirida por la mezcla es igual $^1/_2$ (t×t'), término medio de las dos primeras, esto es, que si t=10° y t'=50°, la temperatura de la mezcla es $\frac{60°}{2}$=30°; lo que prueba que el calor empleado en la segunda cantidad de agua para la producción de los 20°, desde 30 á 50 que tenía, sirve igualmente para elevar los mismos 20° en la primera, desde los 10 á que estaba hasta los 30 á que resulta; luego la cantidad de calor cedido por la una y absorbido por la otra eleva la temperatura en ambas el mismo número de grados y, por consiguiente, la misma cantidad que produce un grado en la una, produce un grado también en la otra.

El segundo experimento consiste en mezclar del mismo modo cantidades iguales de dos líquidos diferentes, con temperaturas desiguales, por ejemplo un kilogramo de agua líquida á 0° con otro de mercurio á 100°, y se ve que la temperatura de la mezcla no resulta de 50°, término medio entre 0° y 100°, sino de 3°; lo que prueba que el calor que sirvió en el mercurio para la elevación de 97°, diferencia desde los 3° que le quedan hasta 100° que tenía, no sirve, al ser absorbido por el agua, para elevar en ésta el mismo número de grados, toda vez que sólo aumenta sobre los 0° á que estaba los 3° con que resulta.

Estos experimentos hacen ver claramente que el calor capaz de elevar igual temperatura en igual cantidad de la misma materia, no puede efectuarlo igualmente en cantidad igual de materias distintas; luego el aumento de un grado de temperatura en la

unidad de masa de cada cuerpo exige una cantidad diferente de calor.

También se demuestra la existencia de las capacidades caloríficas por el experimento de Tynndall, con el disco de cera amarilla y esferas de diferentes metales de igual peso, puestas á la temperatura 180°, según es fácil ejecutar y explicar con el aparato á la vista.

4.ª *Las capacidades caloríficas* no se pueden determinar de un modo absoluto, sino de un modo semejante á lo verificado en la apreciación de las densidades, estableciendo los calores específicos, que vienen á ser respecto de las capacidades caloríficas lo que los pesos específicos respecto de las densidades.

5.ª *Calor específico* de un cuerpo es la relación entre su capacidad calorífica y la de otro determinado tomada por término de comparación.

6.ª *Se toma por unidad* para la comparación de las capacidades caloríficas y determinación de los calores específicos la capacidad calorífica del agua, á la que se denomina caloría.

7.ª *Caloría es la cantidad* de calor que necesita la unidad de masa de agua, un kilogramo, para elevar un grado su temperatura de 0° á 1°, por cuya razón se puede decir, que el calor empleado en calentar la unidad de masa de agua 1, 2, 3... n grados, equivale á 1, 2, 3... n calorías.

8.ª *Los métodos* que se pueden emplear para hallar las capacidades y calores específicos de los sólidos y líquidos, son tres: el de las mezclas, el del calorímetro de Lavoisier y Laplace, ó de la fusión del hielo, y el del enfriamiento.

9.° *El método de las mezclas* se reduce á lo siguiente: se mezclan masas desiguales de dos cuerpos diferentes, con temperaturas también desiguales y las precauciones convenientes á evitar y tomar en cuenta las pérdidas de calor que puedan resultar durante el experimento; se toma la temperatura de la mezcla, y se hallan sus diferencias respecto de las que poseían los cuerpos empleados.

Con estos datos se deduce, que las capacidades caloríficas de dos cuerpos con diferente masa, esto es, con diferente peso, y á diferente temperatura, resultan en razón inversa de los productos de sus respectivas masas por las diferencias entre sus primitivas temperaturas y la de la resultante en la mezcla.

En efecto, si se representan respectivamente por

$$\left.\begin{array}{ll} c & \text{la capacidad de un 1.er cuerpo} \\ m & \text{su masa} \\ t & \text{su temperatura} \end{array}\right\} \text{por} \left\{\begin{array}{ll} c' & \text{la capacidad de un 2.° cuerpo} \\ m' & \text{su masa} \\ t' & \text{su temperatura} \end{array}\right.$$

y por t'' la temperatura de la mezcla, suponiendo que $t' > t$, se tendría que

$$\left.\begin{array}{l} t'' > t \\ t'' < t' \end{array}\right\} \text{y} \left\{\begin{array}{ll} t''-t & \text{será el número de grados ganados por el primer cuerpo que se representará por } n \\ t'-t'' & \text{el de los perdidos por el 2.° cuerpo que se representará por } n', \end{array}\right.$$

esto es, $\left.\begin{array}{l} t''-t = n \\ t'-t'' = n' \end{array}\right\}$

Según esto, ganando m y, por consiguiente, cada una de sus unidades n grados, y necesitándose c calor para cada uno, cada unidad de m habrá ganado $c \times n$ de calor y las m unidades $c.n \times m = c\,n\,m$. Por iguales razones la masa m' habrá perdido $c'\,n'\,m'$ de calor, y como la cantidad ganada por m no puede proceder sino de la $c'\,n'\,m'$ cedida por m', se sigue que $c\,n\,m = c'n'\,m'$, de donde se deduce que $c' : c :: n\,m : n'\,m'$ (a).

10. *Las capacidades caloríficas* c y c' de dos cuerpos de igual masa y diferentes temperaturas t y t', halladas por el método de las mezclas, resultan en razón inversa de las diferencias de aquéllas respecto de la de la mezcla t'', esto es, que representadas dichas diferencias por n y n', se tendrá que $c' : c :: n : n'$.

En efecto, si en la proporción (a) de (LVI—9.ª) $c' : c :: m\,n : m'\,n'$, se supone $m' = m$, resulta que $c' : c :: n : n'$ (b).

Si se aplican á esta proporción los datos y resultado del segundo experimento (LVI—3.ª), llamando c á la capacidad del agua y c' á la del mercurio, como con

$$\left.\begin{array}{l} 1^{klg.} \text{ de agua á } 0° \\ \text{y} \\ 1^{klg.} \text{ de mercurio á } 100° \end{array}\right\} \text{temperatura de la mezcla } 3°, \left\{\begin{array}{l} n = 3°-0° = 3° \\ n' = 100°-3° = 97° \end{array}\right.$$

resulta que $c' : c :: 3 : 97 :: \frac{3}{3} : \frac{97}{3} :: 1 : \frac{1}{32\frac{1}{3}}$, esto es, que la capacidad del mercurio respecto de la del agua es, prescindiendo del $\frac{1}{3}$, 32 veces menor próximamete.

11. *El calor específico* de un cuerpo con relación al del agua por el método de las mezclas se hallará con la fórmula $x=\frac{mn}{m'n'}$.

En efecto, mezclando una masa m de agua líquida á t° con la m' de otro cuerpo á t' y representadas sus repectivas capacidades con c y c', se tendrá la proporción (a) c':c::mn:m'n' (LVI—9.°) y por consiguiente $\frac{c'}{c}=\frac{mn}{m'n'}$ Según esto, si se toma por unidad de los calores específicos la capacidad c del agua, la caloría, esto es, se hace c=1, $\frac{c'}{c}=\frac{c'}{1}$, y como de esta igualdad y la anterior $\frac{c'}{c}=\frac{mn}{m'n'}$ resulta que $\frac{c'}{1}=\frac{mn}{m'n'}$, llamando x á la relación $\frac{c'}{1}$ que es el calor específico del cuerpo, se obtiene $x=\frac{mn}{m'n'}$ y si m=m', $x=\frac{n}{n'}$.

Si á esta fórmula se aplican los datos y resultados correspondientes del citado 2.° ejemplo (LVI—3.°), n=3 y n'=97, se tendrá que el calor específico del mercurio $x=\frac{3}{97}=\frac{1}{32\frac{1}{3}}$, ó mejor prescindiendo de $\frac{1}{3}$ para mayor sencillez, $x=\frac{1}{32}$; de modo que siendo 1 el calor específico del agua, la caloría, el del mercurio es $\frac{1}{32}=0{,}03092...$ esto es, que siendo el calor específico del agua 1, el del mercurio es 0,03092...

12. *No conociendo* en absoluto el calor de la caloría 1, pudiera parecer que de nada servía saber que el calor necesario para elevar 1° el kilogramo de mercurio sólo es $\frac{1}{32}$ ó 0,03092... de caloría; sin embargo, determinada por experimentos convenientes la cantidad de combustible necesario para elevar 1° la temperatura de un kilogramo de agua, se tendrá que para elevar también 1° la temperatura de un kilogramo de mercurio, sólo se necesita $\frac{1}{32}$ ó 0,03092... de dicha cantidad de combustible y, por consiguiente, que si aquella cantidad fuese 32 gramos, por ejemplo, para el mercurio bastaría un gramo.

De este modo habiéndose hallado que al quemar un kilogramo de hulla, se producen 7,500 calorías, y por consiguiente que para una de éstas se necesita próximamente 0^{grms}, 133 de hulla, se viene en conocimiento de que para calentar un kilogramo de mercurio 1°, sólo se necesita $\frac{1}{32}$ de los 0^{grms}, 133 de hulla, y semejantemente respecto de cualquier otro cuerpo, cuyo calor específico se conozca, que es lo interesante en las aplicaciones científicas é industriales.

13. *El calor específico* hallado de la manera expuesta no sería exacto, no tomando en cuenta, por experimentos auxiliares, la influencia de los calores específicos de los vasos empleados, y las de otras cualesquiera causas de error.

14. *Los calores* específicos de sólidos y líquidos se pueden hallar también análogamente al método de las mezclas por el procedimiento de Lavoisier y Laplace, denominado del calorímetro ó de la fusión del hielo, ó por el del enfriamiento; pero sus pormenores y cuanto se refiere á los calores específicos de los cuerpos gaseosos, por la índole de estas lecciones son impropios de las mismas.

Con los indicados métodos y los trabajos que nunca serán tan apreciados como merecen, se han hallado los calores específicos de considerable número de sustancias inorgánicas y de muchas orgánicas, que colocados en cuadros más ó menos extensos y ordenados según sus estados físicos, se hallan en las obras latas de Física y Química y tratados de sus aplicaciones.

15. *El calor específico*, así como no es el mismo en los cuerpos de diferente estado, tampoco es constante en un mismo cuerpo al pasar de un estado á otro, ni aun dentro de uno mismo á las diferentes temperaturas.

La capacidad calorífica se puede considerar constante en todos los cuerpos hasta unos 100°, aunque crece con la temperatura; notándose más las variaciones cerca de su punto de fusión en los sólidos, y en los líquidos á medida que su temperatura dista más de su congelación ó solidificación: el cuerpo de mayor capacidad calorífica, exceptuando el hidrógeno, es el agua.

16. *Los calores específicos* están relacionados con las densidades de los cuerpos á que pertenecen, en tal forma que se puede decir resultan en orden inverso de dichas densidades.

Esta circunstancia está en armonía con lo expuesto (XLIX—11)

acerca del modo con que se explica, según la teoría termodinámica, la trasformación del calor que se comunica á un cuerpo. En efecto, la capacidad de los gases debe ser mayor, porque siendo los que más se dilatan, del calor recibido se trasforma poco en trabajo interno á causa de la poca resistencia que ofrecen sus moléculas á la separación, pero en cambio consumen gran cantidad en trabajo externo para vencer resistencias exteriores en mayor cantidad, quedando pequeña la correspondiente para calor comunicado ó aumento de vibración molecular, esto es, para aumentar la temperatura, por lo que el aumento de ésta es pequeño y para llegar á una determinada, se necesita que el calor recibido sea en mayor cantidad que respecto de los líquidos, y mucho mayor que relativamente á los sólidos. Así se explica bien el enfriamiento de los gases, por su expansión y la gran elevación de temperatura que en los mismos resulta al comprimirlos, bien sea por compresión, ó por la percusión ó rozamiento.

LECCIÓN LVII.

Cambios de estado de los cuerpos en general.—Fusión y disolución en particular.—Calórico de la fusión.—Mezclas frigoríficas.

I.

1.ª *Cambio de estado* de los cuerpos es el acto de pasar éstos de uno de los tres estados físicos sólido, líquido y gaseoso, en que se pueden hallar, á otro de los mismos.

2.ª *Los cambios* de estado de los cuerpos son cuatro: 1.° De sólido á líquido; 2.° De líquido á sólido; 3.° De líquido al estado gaseoso, y 4.° Del estado gaseoso al líquido.

3.ª *El primer cambio* de estado se denomina *fusión* en unos casos y *disolución* en otros, por efectuarse en diferentes circunstancias; el segundo, por igual razón, se designa con los dos diferentes nombres de *solidificación* y *congelación;* el tercero *gasificación* ó *vaporización*, que también se apellida con distintos nombres por las diferentes circunstancias con que se ejecuta, y el cuarto *liquefacción*, que igualmente convendría distinguir con nombres diferentes.

4.ª *Fusión* es la conversión de un sólido en líquido por la influencia del calor solamente, esto es, por aumento más ó menos considerable de temperatura, al llegar ésta á determinado grado llamado *punto de fusión.*

5.ª *Disolución* es el hecho de pasar los sólidos á líquidos por la acción de alguno de éstos, para mezclarse ó combinarse con él, y formar un nuevo líquido, que no es una simple mezcla ni una perfecta combinación.

6.ª *La diferencia* entre fusión y disolución consiste en que la primera se verifica á expensas del aumento de temperatura, sea por la influencia atmosférica, la del sol ó la del fuego, y la disolución se efectúa por cierta acción atractiva del líquido en contacto. Ejemplo de fusión es la conversión de la nieve ó hielo en agua, por la influencia del calor de la atmósfera ó del fuego, y el de la cera, plomo ó hierro, etc. á líquido: de disolución, el hecho de separarse y ocultarse las moléculas de sal común, azúcar, etc. entre las del agua ú otro líquido, reduciéndose á este estado.

La disolución se puede efectuar por simple disolución del sólido ó por la del cuerpo ó cuerpos resultantes en virtud de reacciones químicas entre los sólidos y líquidos con que se opere: el líquido en que se verifica la disolución se llama *disolvente*, antiguamente *menstruo*.

7.ª *Solidificación* es la conversión en sólido de un líquido procedente de la fusión, al descender su temperatura y llegar á un grado determinado llamado *punto de solidificación*.

8.º *Congelación* es el acto en cuya virtud los cuerpos que permanecen líquidos á las temperaturas ordinarias de la atmósfera se trasforman en sólidos al descender la suya á determinado grado, llamado *punto de congelación*, aunque en algunos casos se retarda, esto es, que no se efectúa sino á más baja temperatura.

9.ª *La congelación* se diferencia de la solidificación en que ésta se efectúa en líquidos que se hallan en tal estado, por haber alcanzado los sólidos de que proceden su punto de fusión; cuando la congelación se efectúa por el descenso de temperatura de los cuerpos que á la ordinaria permanecen líquidos. Ejemplo de solidificación es el paso de líquido á sólido, que se efectúa en el azufre, cera, plomo, etc. fundidos, cuando se enfrían; y de congelación, el mismo tránsito verificado en el agua, aceite de oliva y otros cuerpos, que están líquidos á la temperatura media ú ordinaria.

No se debe confundir la coagulación con la congelación; pues si bien la primera es la conversión de ciertos líquidos en sólidos, no es como la

segunda por baja de temperatura, sino, al contrario, por aumento de ésta, ó por la acción química de otro cuerpo, como por ejemplo: la albúmina se coagula al calentarla convenientemente; la sangre al contacto del aire, y la leche por la acción del cuajo, ó del jugo de alguna sustancia orgánica vegetal.

La solidificación y la congelación se pueden efectuar con cristalización ó sin ella; en el primer caso los sólidos resultantes se denominan *cristales* y en el segundo *cuerpos amorfos*.

La cristalización y cuanto á ella se refiere se estudia en la ciencia físico-matemática denominada Cristalografía, cuyos conocimientos son indispensables en el estudio de la Química y de la Mineralogía.

10. *Gasificación* ó vaporización es el acto de pasar los líquidos al estado gaseoso.

11. *Liquidación, licuación* ó *liquefacción* es la conversión de los cuerpos gaseosos en líquidos.

12. *La fusión*, lo mismo que la disolución, no se verifica de una manera arbitraria, sino con leyes y circunstancias que conviene conocer.

13. *Dos son las leyes* de la fusión: 1.ª Cada cuerpo tiene su punto de fusión, esto es, que siempre pasa á líquido cuando aumentando su temperatura llega á cierto grado, que es diferente para cada cuerpo. El punto de fusión del agua pura es 0°, el de la cera 63°, el del plomo 325°, el del mercurio congelado —40° y así de otros que se hallan en las correspondientes tablas. 2.ª Durante la fusión de un sólido, la temperatura permanece estacionaria, esto es, invariable, resultando lo que se denominó calórico latente, hoy *calórico de fusión* ó sea *calórico transformado en trabajo mecánico*.

Los sólidos al pasar á líquidos, por lo general, aumentan su volumen; pero en algunos casos lo disminuyen, como el hielo al fundirse, por la circunstancia excepcional de aumentarlo al pasar de líquido á sólido, como sucede con el agua y algún otro cuerpo.

14. *Calórico latente ó de la fusión* es el que absorben los cuerpos y ocultan entre sus moléculas durante este cambio, sin producir efecto sensible de calefacción ó termométrico por trasformarse en trabajo mecánico de separación de aquéllas.

Se demuestra y mide el de la fusión del hielo por el experimento siguiente: se mezcla un kilogramo de nieve ó hielo fundente con otro de agua á 79°, con lo que el hielo se funde todo, resultando una mezcla

de dos kilogramos de agua líquida á 0° en vez de 39 y 1[2, término medio de 0° +79°) á que debía obtenerse, toda vez que es un mismo cuerpo; de donde se deduce que el calor de los 79° ó sea de 79 calorías, cedido por el agua caliente ha producido el efecto de fundir el kilogramo de hielo, pero sin aumentar en nada la temperatura del agua líquida, que resulta á cero grados como si aquél se hubiera perdido ú ocultado: ahora bien, como en el cambio de líquido á sólido reaparece la misma cantidad de calor, según se verá en el lugar correspondiente, de aquí el que dicho calor no se pierde, sino que trasformado todo en el trabajo interno y externo correspondiente, las moléculas no reciben aumento de fuerza viva y siguen vibrando con igual energía y, por lo mismo, subsiste la misma temperatura.

El experimento citado nos da la medida del calor latente del hielo, pues hace ver que un kilogramo del mismo necesita para fundirse el capaz de elevar la temperatura de uno de agua líquida desde 0° á 79°: este número se llama calor latente del agua ó de la fusión del hielo.

Siguiendo un método semejante se podría hallar el calor latente de otros cuerpos, aun empleando masas cualesquiera á cualquier temperatura; pues se establecen fórmulas semejantes á las de los calores específicos.

El método que antecede no se puede emplear sino para aquellos sólidos cuyo punto de fusión es inferior al de la ebullición del agua, del aceite de trementina ó del mercurio, según los casos en que se usen; pues si el punto de fusión del sólido fuese superior al de la ebullición de los expresados líquidos, no pudiendo éstos pasar de la temperatura de su ebullición, como se verá al tratar de ésta, sería imposible que el referido sólido se calentase hasta llegar á su punto de fusión.

Para hallar el calor que hacen latente al fundirse los sólidos, cuyo punto de fusión es superior al de la ebullición de los líquidos que pudieran emplearse, según el método anterior, se procede por otro inverso que se puede llamar de la solidificación: consiste en echar fundido el cuerpo, cuyo calor latente se quiera hallar, en un líquido poco volátil y á una temperatura bien inferior, á fin de que enfriándose aquél, llegue á su punto de solidificación, para que verificándose ésta, se desprenda y haga perceptible el calor latente de la fusión, como se ve por los resultados; pues debiendo aumentar la temperatura del líquido solamente en razón del enfriamiento del cuerpo que se solidifica, se obtiene una elevación mucho mayor, la cual pone de manifiesto que el calor absorbido por el líquido es mayor que el cedido por la baja de temperatura del cuerpo solidificado y, por consiguiente, que la diferencia proviene del calor latente desprendido en la solidificación y hecho sensible. Por este procedimiento y con las fórmulas correspondientes se calculan los calores latentes de la fusión de los cuerpos á quienes no se les puede hallar por el método primero.

15. *Los sólidos* no se funden todos bien, ni en igualdad de circunstancias, por lo que se les suele llamar fusibles é infusibles.

16. *Cuerpos infusibles*, en el sentido estricto de la palabra, son los que no pueden ser fundidos por ningún medio, en contraposición á los cuerpos fusibles, que son todos aquellos en los cuales la fusión es posible, sea con facilidad ó con dificultad; mas hoy que se funden hasta las sustancias que se llamaron *refractarias*, aquellas denominaciones se deben emplear relativamente á los medios de fusión, diciendo que tal ó cual sustancia es fusible ó infusible á la llama del soplete, al fuego de forja, al de la luz eléctrica, etc.

17. *Se da el nombre* de *cuerpos refractarios*, á los sólidos cuya fusión es muy difícil por las circunstancias y altas temperaturas que exigen.

Antiguamente se daba el nombre de sustancias ó cuerpos refractarios á los absolutamente infusibles; pero con los medios que hoy existen de producir altas temperaturas, muchos que se los consideraba infusibles se funden con más ó menos dificultad, ya con la temperatura de la luz eléctrica, ya con la de la llama del soplete de Newman, como sucede con el platino, la sílice, barita, alúmina, etc.: ejemplos que inducen á creer que todos los sólidos deben ser fusibles, si no á una temperatura á otra; pues si algunos procedentes del reino orgánico y ciertas sales se descomponen al llegar á cierto número de grados, y de aquí la imposibilidad de fundirlos por los medios comunes, en algunos de los mismos, como el carbonato de cal encerrado en un tubo y puesto en ciertas condiciones, se evita la descomposición y se llega á ver señales de fusión, así como por el calor de la luz eléctrica, llegó Deprestz á lograr el restablecimiento del carbón, indicio de un principio de fusión.

18. *Los cuerpos* al fundirse, si bien presentan siempre la ley del punto de fusión y la de hacerse estacionaria la temperatura durante el cambio, no lo hacen con las mismas circunstancias; pues en los buenos conductores, al llegar al punto de fusión, toda su masa se convierte instantáneamente en líquido, casi de una vez, cuando si son malos conductores, la fusión se efectúa lentamente, y como por capas, á consecuencia de la dificultad con que conducen el calor de las exteriores á las interiores, por cuya razón no se puede fijar exactamente su punto de fusión.

19. *Fusión vítrea* es la que se verifica lentamente reblandeciéndose ó poniéndose antes pastosa toda la masa del cuerpo, como

sucede con el vidrio y otros que, al presentar esta propiedad, se dice experimentan dicha fusión.

II.

20. Los cuerpos no todos se pueden disolver, por lo que unos se llaman solubles y otros insolubles; solubles los que se pueden disolver con más ó menos facilidad, según las circunstancias, é insolubles los que no se pueden disolver en ningún líquido.

21. *Los cuerpos* pueden ser solubles en unos líquidos y en otros no, así como un mismo cuerpo puede no disolverse en un líquido á cierta temperatura, mas sí á otra mayor; de donde resulta el decir que un cuerpo es ó no soluble en frío ó en caliente: lo es en frío cuando se disuelve en un líquido á la temperatura ordinaria, y en caliente cuando es necesario que dicho líquido esté á mayor temperatura.

22. *En la disolución*, lo mismo que en la fusión, se hace latente una cantidad más ó menos considerable de calórico, por cuya razón se produce, generalmente, un descenso de temperatura en el líquido resultante. En algunos casos, al disolverse ciertos sólidos en algunos líquidos entre los que se producen reacciones químicas, en vez de bajar la temperatura, se eleva; lo que sucede al producirse á la vez dos efectos contrarios, pues por la simple disolución del sólido resulta baja, y por su combinación con el líquido disolvente sobreviene elevación, como en todas las combinaciones químicas; de modo que si predomina el descenso á la elevación, resulta la baja de temperatura en la masa líquida, y si por el contrario, su elevación, no alterándose si aquellos efectos resultan iguales y se compensan; por ejemplo: con un peso de cuatro de nieve y uno de ácido sulfúrico, la temperatura baja á —29°; mas por el contrario, con uno de nieve y cuatro de dicho ácido se eleva á 100°.

23. *Mezclas frigoríficas* son las que se hacen poniendo en contacto cuerpos sólidos con líquidos ó con la nieve, y aun unos líquidos con otros en relaciones de peso á propósito para producir bajas de temperatura determinada.

Esta baja resulta de que al disolverse el sólido ó sólidos y pasar á líquidos, absorben y hacen latente el calor necesario, tomándolo de su

calor sensible y del existente en el líquido ó líquidos que al perderlo disminuyen sus temperaturas; por cuya razón, la de la mezcla se obtiene no intermedia á las iniciales de los cuerpos, sino inferior á la menor de ellas.

24. *Para que una mezcla frigorífica* produzca la misma baja de temperatura, es necesario formarla siempre tomando las sustancias en cantidades de peso de igual relación. Si ésta se altera, la variación de temperatura puede resultar de tal suerte que la misma mezcla que con una relación produce baja de aquélla, con otra puede llegar á producir elevación, como sucede en la mezcla de hielo y ácido sulfúrico (LVII.—22).—Se pueden formar multitud de mezclas frigoríficas, según las tablas que se hallan en muchos tratados de Física, como el de M. Daguin, del Sr. Rodríguez, Ganot y otros, donde se dan los números en cuya relación se deben poner las diferentes sustancias que entran en cada una de dichas mezclas, y los que expresan las bajas de temperatura que resultan: su uso es importantísimo, tanto en Física como en Química y artes industriales.

25. *La solidificación* y congelación se efectúan con las leyes siguientes: 1.ª Todo líquido se convierte en sólido al llegar á su punto de solidificación ó congelación, que es el mismo de la fusión del sólido de que proceden, excepto en los casos en que la congelación se retarda; 2.ª Al llegar el líquido á su punto de solidificación ó congelación, la temperatura permanece estacionaria como durante la fusión, á consecuencia de que el calórico que en ésta se hace latente reaparece.

La solidificación puede efectuarse más ó menos lentamente, tomando diferentes estados pastosos como al fundirse los sólidos malos conductores y experimentar la fusión vítrea.

26. *La solidificación* lleva consigo la disminución de volumen; pero en algunos cuerpos, como por excepción, se nota un aumento en el mismo, como sucede al congelarse el agua y al solidificarse el bismuto, el antimonio y algún otro.

27. *El agua* al aumentar de volumen cuando se congela, despliega una fuerza espansiva capaz de hacer estallar las vasijas, si éstas están completamente llenas y cerradas. Por esta fuerza espansiva se explican los malos efectos de la helada en las plantas,

pues el resultar como quemadas consiste en que el agua contenida en sus vasos y celdillas, al solidificarse y aumentar de volumen, rompe sus paredes, la planta desorganizada permite el acceso y contacto del aire en su interior, entra en descomposición y de aquí el parecer que se ha quemado.

28. *Aunque,* en igualdad de circunstancias, la congelación del agua se efectúa siempre á 0°, variando aquéllas es posible hacer variar también su punto de congelación, esto es, retardarla, cuyo fenómeno se denomina *sobrefusion;* así es que se puede hacer bajar su temperatura hasta—11°, permaneciendo líquida sin congelarse, si se la mantiene en un perfecto reposo, pero en cuanto sale de éste por el más pequeño movimiento, se solidifica instantáneamente con la particularidad de subir á 0°.

Sobrefusión es el fenómeno de no solidificarse los líquidos al llegar á su punto de congelación, permaneciendo en el mismo estado de liquidez hasta una temperatura mucho más baja que la de dicho punto.

Las causas en cuya virtud se produce dicho fenómeno, son: el tener disueltas algunas sustancias; la carencia de aire ú otro gas en disolución con dicho líquido, la completa inmovilidad ó una gran agitación en el mismo, ó el exceso de presión.

29. *La congelación* del agua en los estanques se efectúa solamente por la parte superior, á no ser que la profundidad del líquido sea muy pequeña, en cuyo caso se congela toda.

Se hiela ó congela el agua de la parte superior y no la de la inferior de los estanques, porque empezando el enfriamiento del agua por las capas superiores, que se hallan al descubierto y en contacto del aire, éstas se hacen más densas y se precipitan hacia el fondo en un primer tiempo; en el siguiente sucede lo mismo con la capa superior, continuando así hasta que toda se pone á 4°: en este caso, llegada toda el agua á su máximum de densidad, la superior, al enfriarse más no se hace más pesada, sino más ligera, no puede precipitarse y se sostiene en la misma situación, con lo que el agua de hacia el fondo queda inmóvil con la temperatura de 4°, y la superior inmóvil también, pero disminuyendo más cada vez su temperatura hasta llegar á 0° y congelarse.

Regelación del hielo es el fenómeno de soldarse uno con otro

dos trozos de hielo al ponerlos en contacto, aun cuando floten en agua muy caliente.

30. *El hielo* es más ligero que el agua, porque el aumento de volumen que ésta experimenta en el acto de pasar á sólido, le disminuye su densidad, y por lo mismo se sostiene más ó menos flotante.

31. *Cuando nieva* se templa más ó menos la atmósfera, porque la gran cantidad de agua que se solidifica en el acto de nevar, abandonando su calor latente, el cual absorbido por la atmósfera se hace sensible en ella, le eleva su temperatura y la calienta: si al poco tiempo se nota frío, es porque la nieve se empieza á fundir de nuevo, vuelve á tomar inmediatamente de la atmósfera el calor latente que necesita y se produce un enfriamiento más considerable que el indicado calentamiento.

32. *Es difícil* que cuando hay mucha agua en un estanque ó depósito se congele toda, porque en este caso siendo también mucho el calor latente desprendido de las primeras capas que se congelan, las restantes son calentadas, compensan su enfriamiento y, no llegando éste á cero, no se congelan ó no se hielan como vulgarmente se suele decir.

El no helarse toda el agua de los depósitos es más frecuente cuando es grande la profundidad de aquéllos, porque heladas las capas superiores, cuanto más grueso es el espesor del hielo superior tanto más difícil se hace la continuación del enfriamiento en la parte inferior.

33. *El frío* que se advierte á la proximidad de la nieve, máxime en el tiempo del deshielo, consiste en que haciendo latente la nieve una cantidad de calor para fundirse, la absorbe de la atmósfera y desciende la temperatura de ésta; haciéndose tanto más notable esta baja á medida que es mayor la fusión ó el deshielo, por ser tanto mayor el calor que es necesario se haga latente.

LECCIÓN LVIII.

Vaporización en general.—Tensión de los vapores y propiedades de los mismos.

1.ª *La vaporización* (LVII—10) se puede efectuar por evaporación, volatilización y ebullición.

2.ª *Evaporación* es el acto en cuya virtud muchos líquidos, y aun algunos sólidos como el hielo, alcanfor y sustancias odoríficas, emiten vapores, que se forman espontáneamente en la superficie de nivel á todas las temperaturas inferiores á la de su punto de ebullición, sin necesidad de más calor que el de la atmósfera ó, cuando más, de algún foco artificial poco enérgico para activarla.

3.ª *Volatilización* es un caso particular de evaporación cuando ésta se efectúa rápidamente á bajas temperaturas.

4.ª *Líquidos volátiles* son los que se evaporan rápidamente y no es posible conservarlos sino en vasijas cerradas.

5.ª *Líquidos fijos* son los que no producen vapores á ninguna temperatura, como los aceites grasos.

En algunos líquidos se observa un cierto límite de temperatura para su evaporación, esto es, que á temperaturas inferiores á determinado grado, no dan ya vapores, como por ejemplo el ácido sulfúrico, que á temperaturas inferiores á 30° no se evapora ni aun en el vacío; en otros como el alcohol y el éter, no tiene límite su evaporación y volatilización.

6.ª *En la evaporación* de un líquido, rapidez con que se produce, tensión y cantidad de vapor resultante influyen varias circunstancias que se estudian en su lugar correspondiente.

7.ª *Ebullición* es el acto de pasar á vapor un líquido, rápidamente y en toda su masa, al llegar á una temperatura determinada y diferente para cada líquido, llamada punto de ebullición.

Aunque la evaporación y ebullición sean esencialmente el mismo hecho de pasar un líquido á vapor, no se deben confundir, pues la evaporación se verifica á cualquier temperatura, pero sólo por la superfi-

cie de nivel, y en la ebullición los vapores se forman en toda su masa con rapidez y abundancia, aunque solamente cuando el líquido llega á su punto de ebullición, que siempre es el mismo á la presión atmosférica de 0^m, 760, si bien varía con ésta.

La ebullición, según Mr. Boutan, fundado en las experiencias de Mr. Louis Tufour, no es otra cosa sino el resultado de la simple evaporación de las moléculas interiores del líquido en las pequeñas atmósferas del aire interpuesto entre ellas, sin cuya presencia es posible elevar altamente, sobre la de su ebullición, la temperatura del agua y otros líquidos sin que hiervan: lo que se consigue suspendiéndolos ingeniosamente en el interior de otra masa líquida diferente; pero cuyos pormenores de ejecución serían impropios de esta clase de lecciones.

8.ª *La ebullición* se efectúa con leyes, circunstancias influyentes y fenómenos que la acompañan; todo lo que se estudiará también reunido y mediante el conocimiento previo de las tensiones de los vapores con que éstos se desprenden de los líquidos en toda vaporización.

9.ª *Tensión de un vapor* es la mayor ó menor fuerza espansiva que posee en un instante dado, en virtud de la cual comprime las superficies de los cuerpos ó de los vasos en que se halla encerrado y que se oponen á su espansión.

10. *La tensión* de los vapores procedentes de diferentes líquidos, no es la misma en todos, ni aun respecto de uno mismo considerado en condiciones diferentes, tanto en el vacío como en el interior de otros gases ó vapores, por cuya razón para estudiar su formación, tensiones y propiedades se hace necesario encerrarlos en vasos ó cavidades en que se puedan limitar sus volúmenes y temperaturas, á fin de poder observar todo lo que pasa en su formación, y practicar las medidas y comparaciones convenientes, sobre todo en el vacío.

La tensión de los vapores se demuestra del modo siguiente: Se llena de mercurio hasta su mitad un tubo de vidrio encorvado en forma de sifón; después se hace pasar una gota de éter á la rama más corta que está cerrada, y se introduce el tubo en un baño de agua á la temperatura de 45° próximamente. Entonces baja lentamente el mercurio en la rama menor, y el espacio que resulta vacío se llena de un gas cuya fuerza elástica equilibra evidentemente la columna de mercurio, mas la presión atmosférica que se ejerce sobre ella: este gas es seguramente el vapor de éter. Si se enfría el agua de la vasija, ó lo que es igual, se retira

el tubo del baño, obsérvase que va desapareciendo rápidamente el vapor que llenaba el espacio vacío de la rama corta, volviéndose á formar la gota de éter. Si por el contrario, se calienta más el agua del baño, el nivel del mercurio desciende más aún, lo cual indica un aumento de tensión.

11. *Se da el nombre de recinto,* en el estudio de los vapores, al espacio de la cámara barométrica ó de cualquier tubo en que se contiene el vapor que se estudia.

12. *Para estudiar* las propiedades y circunstancias de su producción se usa el aparato que impropiamente llaman algunos barómetro de vapor, y otros lo denominan de cubeta profunda. Está dispuesto del modo siguiente: una virola metálica lleva fijado con mastic á una de sus bases un vaso ó pequeña campana sin fondo; en la otra base de la virola va fijado con el mismo mastic un tubo cilíndrico de paredes gruesas, cerrado por la extremidad libre y formando así una cubeta de profundidad conveniente, en la que se introduce luego el tubo de Torricelli con que se opera: el todo se suspende con el correspondiente trípode.

13. *Con el barómetro* de vapor se demuestra: 1.° Que en el vacío los líquidos se vaporizan y adquieren su máximum de tensión y de saturación instantáneamente; 2.° Que el máximum de tensión en cada liquido depende de la temperatura, mas no de la extensión del recinto, mientras en éste queda líquido que pueda continuar emitiendo todo el vapor necesario para la completa saturación; 3.° Que, en igualdad de temperatura, cada líquido en su máximum de saturación posee diferente máximum de tensión.

14. *Se dice que un vapor* ó que el recinto que lo contiene se halla saturado, ó que está en su máximum de saturación, cuando aquél llega á un estado de densidad y tensión que no permite la entrada de mayor cantidad en el espacio ocupado, ni entre las moléculas del vapor ya existente, é impide toda vaporización en el líquido restante, si lo hay; llamándose máximum de tensión la adquirida en el máximum de saturación.

15. *Para hacer* ver con el barómetro de cubeta profunda la producción instantánea del vapor en el vacío y su máximum de saturación y tensión, se echa mercurio en la cubeta hasta la mitad del vaso ó campana en que termina; se llena con el mismo líquido un tubo barométrico, menos una pequeña parte que se

ocupa con el líquido cuyo vapor se quiera estudiar; se tapa con el dedo el extremo abierto, como en el experimento de Torricelli, para que no penetre el aire al invertir el tubo, y se sumerge éste en el mercurio de la cubeta hasta que el extremo abierto quede bajo el nivel de aquél y el líquido en la parte superior del mercurio, á la cual se eleva por su menor densidad: en esta disposición se quita el dedo, baja el mercurio, como en el experimento antes citado, si bien quedando siempre la columna mercurial á menor altura á consecuencia de la presión que ejerce el vapor producido por el líquido en el mismo instante de quitar el dedo y bajar el mercurio en el tubo; todo lo que, unido á la disminución que se observa á la vez en la cantidad de líquido empleado, demuestra que la vaporización se verifica instantáneamente.

16. *Para apreciar* la tensión del vapor resultante no hay que hacer más que medir la altura de la columna mercurial en el tubo con el vapor y en el de Torricelli, convenientemente colocado junto al primero, ó sea la altura del barómetro; pues la diferencia de ambas columnas será el valor de aquella tensión.

Para el experimento anterior, como para otros de los demás que se practican con el mismo aparato, debe ponerse una cantidad de líquido suficiente á dar el vapor necesario para la saturación del recinto y á que resulte un resto sobre la columna mercurial.

17. *Mientras quede* líquido por evaporarse, y suponiendo invariable la temperatura, la tensión no variará aunque aumente ó disminuya la extensión del recinto; lo que se demuestra también con el barómetro de vapor del modo siguiente: se introduce en la cubeta el tubo barométrico con que se opera, de modo que su extremo abierto descienda una cantidad considerable, y se verá que la altura de la columna mercurial no aumenta ni disminuye y, por consiguiente, que la tensión del vapor no varía. Lo mismo sucede si, en vez de profundizar el tubo en la cubeta y disminuir el recinto, se opera al contrario.

18. *La densidad* del vapor tampoco varía al efectuarlo la extensión del recinto.

El no variar la tensión ni la densidad del vapor saturado y contenido en un recinto al variar la extensión de éste, suponiendo

el debido exceso de líquido por vaporizar, consiste en que si aumenta el vapor, no se dilata para llenar el nuevo espacio, sino que el líquido existente sobre el mercurio vuelve á emitir más vapor, hasta llenar aquel espacio en la misma disposición y saturación con que el primer recinto fué saturado por el primer vapor; lo que se hace visible con la disminución que se nota en el líquido. Si por el contrario se disminuye la extensión del recinto, la parte del vapor que ocupaba el espacio disminuído se convierte en líquido, como lo prueba el aumento del mismo que se observa, con lo que el vapor restante queda en el nuevo recinto como cuando se hallaba ocupando la misma parte en el anterior; de donde resulta que siguiéndose al aumento y disminución de la extensión del recinto el aumento y disminución de vapor, la compensación es tal que no varía la densidad ni su tensión: por esta razón los vapores saturados no siguen la ley de Mariotte relativa á la compresibilidad de los gases.

19. *La cantidad* necesaria para saturar un recinto dado, lo mismo que su tensión, depende de la temperatura del líquido.

Esto se demuestra fácilmente variando la temperatura del líquido, pues cuanto mayor es aquélla, mayores resultan la cantidad de vapor y su tensión, como lo prueba la disminución del líquido y descenso de la columna mercurial, que se observa con sólo acercar la llama de la lámpara del alcohol, un ascua ó la mano solamente á la parte del tubo en que se halla el líquido del experimento.

20. *La naturaleza* del líquido que se usa en los experimentos es la causa que influye por sí sola en que las cantidades de vapor y saturación de éste, en igualdad de recinto y temperatura, sean muy diferentes de unos líquidos á otros.

Se demuestra la diferente saturación y tensión del vapor de cada líquido, disponiendo no uno, sino varios tubos preparados cada cual con diferente líquido para operar con uno tras otro en la cubeta profunda, ó introduciéndolos todos en una cubeta de mucha anchura y poca profundidad; pues comparando las alturas de la columna mercurial en cada uno con la del de Torricelli, ó la de un buen barómetro, se ve como cada líquido produce, con la igual temperatura de que todos se hallan rodeados á la vez,

muy diferente cantidad de vapor, y éste con diferente tensión; por ejemplo, empleando agua en uno, en otro alcohol y éter en otro, y estando los tres tubos á la misma temperatura del aire que los rodea, se ve que el agua da menos vapor y con menor tensión que el alcohol, y éste menos que el éter.

21. *Cuando la cantidad* de líquido que se pone en la cámara barométrica, para los experimentos de los vapores en el vacío, es igual ó menor que la necesaria para la saturación, y al verificarse ésta, ó antes, no queda líquido, si se aumenta el recinto, disminuirá la tensión; y viceversa, si se disminuye aquél, aumentará ésta mientras el vapor no adquiera un estado de presión y densidad que le haga llegar á la saturación.

22. *El carácter distintivo* entre vapores y gases, que resulta de los experimentos dados á conocer, es el siguiente: que los gases que se denominaron permanentes, aumentan su densidad y tensión á medida que se les comprime ó disminuye su volumen; que los liquefactibles, lo mismo que los vapores no saturados, siguen aquellas mismas leyes mientras no se hallan próximos á su liquefacción ó llegan á la saturación, y que los vapores saturados no siguen en nada la antedicha ley de Mariotte, pues que se liquida el vapor que ocupaba el volumen disminuído, ó se ocupa el aumento de capacidad del recinto con nueva emisión de vapor.

23. *El valor* de las diferentes tensiones que adquiere un mismo vapor, ó el de un mismo líquido, á medida que varía su temperatura, se determina siempre hallando la diferencia, en milímetros, entre la columna del mercurio en el tubo del experimento y la del tubo de Torricelli ó de un barómetro á igual temperatura.

LECCIÓN LIX.

Medida de la tensión de los vapores en general y de la del vapor de agua en particular.—Mezclas de los vapores con los gases ó con otros vapores.—Determinación del peso específico de los vapores.

1.ª *La medida* de las tensiones de un mismo vapor á diferentes temperaturas, no se puede ejecutar por el mismo procedimiento en los diferentes casos que es necesario considerar, y son los siguientes: 1.° Tensiones de los vapores á temperaturas com-

prendidas entre 0 y 100°; 2.° Cuando sus temperaturas son inferiores á 0°, y 3.° cuando superiores á 100°.

Las tensiones de los vapores que primera y principalmente se estudiaron, fueron las del vapor de agua por su mayor uso é importancia; cuyos procedimientos dan también idea de cómo se pueden hallar semejantemente las de los vapores de otros líquidos.

2.ª *La tensión del vapor* de agua entre 0° y 100° se midió por Daltón, físico inglés, del modo siguiente: sobre una cubeta de hierro, con mercurio, colocó un tubo de Torricelli, como barómetro ordinario, y á su lado otro igual que se acaba de llenar con agua para servir de barómetro de vapor al invertirlo, sostenidos ambos verticalmente por un sustentáculo y escala común; los rodeó con un cilindro de vidrio, algo más alto que aquéllos, abierto por ambas bases, sumergido por la inferior en el mercurio de la cubeta, como los dos barómetros, y sostenido por el correspondiente sustentáculo: llenó el cilindro de agua, introduciendo en ésta un termómetro suspendido de otro sustentáculo, y, puesto el aparato sobre un hornillo, calentó la cubeta, con ésta el mercurio que contenía, y en su consecuencia, el agua del cilindro; con lo que se calentó á su vez el agua y vapor del barómetro de este nombre, y la columna mercurial del mismo fué descendiendo á medida que fueron aumentando las tensiones del vapor formado en su cámara á las diferentes temperaturas. De este modo, anotando las temperaturas indicadas por el termómetro introducido en el agua del cilindro, y las presiones del vapor en cada una de ellas, dadas por las diferencias resultantes entre las columnas mercuriales del barómetro ordinario y del de vapor, se formó la primera tabla de las tensiones del de agua desde 0° á 100°.

3.ª *La medida* de las tensiones del vapor de agua á temperaturas inferiores á 0° se funda en el principio siguiente: cuando dos vasijas ó recintos que comunican entre sí, contienen vapores del mismo líquido, á diferente temperatura en cada uno de ellos y sobre un exceso de dicho líquido en ambos, su tensión resulta igual con la correspondiente á la temperatura del recinto que tiene la menor.

4.ª *Para medir* la tensión del vapor de agua á temperaturas inferiores á 0°, se dispone en una misma cubeta dos barómetros,

el ordinario y el de vapor, con la diferencia de que el segundo se halla encorvado hacia el extremo superior, de modo que una parte de la cámara barométrica se puede sumergir en mezclas frigoríficas que se colocan en un vaso á propósito, sostenido por un sustentáculo vertical de altura conveniente, y en cuyo vaso se introduce un termómetro, que indica la temperatura de la mezcla y con ella la más baja del vapor contenido en la parte de la cámara sumergida en aquélla. De esta manera, y en virtud del principio fundamental de este método, las diferencias de altura de las columnas mercuriales dan la tensión del vapor á la temperatura de cada mezcla y, por consiguiente, á las inferiores á cero. Por este medio halló Gay-Lussac que el hielo produce también vapor, y que su tensión es igual á la del emitido por el agua líquida á igual temperatura que aquél.

5.ª *Las tensiones* de los vapores á temperaturas superiores á 100° se midieron ya en 1830 por Dulong y Arago y posteriormente por Regnault. Con estos trabajos, cuyos pormenores no pueden tener cabida en estas lecciones, se obtuvieron resultados con que están formadas la tablas de tensiones del vapor de agua correspondiente á las temperaturas comprendidas entre — 10° y 230°, 9.

Además de las tensiones del vapor de agua, se han hallado también las de los vapores de varios líquidos y formado la correspondiente tabla.

6.ª *Las tensiones* del vapor de agua, si bien crecen con las temperaturas, no lo verifican proporcionalmente á las mismas, sino mucho más rápidamente.

7.ª *Para hacer* ver que las tensiones del vapor de agua crecen con más rapidez que las temperaturas, basta observar las correspondientes en algunas de ellas, como las de 0°, 50°, 100° y 200°.

8.ª *Las tensiones* del vapor de agua, en milímetros de mercurio desde 0° á 100°, y en atmósferas desde 100° en adelante, son las siguientes:

Temperaturas.	0°	50°	100°	200°	224°,20
Tensiones.	$4^{mm},6$.	$91^{mm},982$.	760^{mm}.	$15^{atm.s}$.	$24^{atm.s}$,

habiéndose calculado que á los 263°,89 viene á ser ya de 50 atmósferas.

9.ª *La tensión* del vapor de todo líquido en su punto de ebullición, en un mismo punto ó local de la superficie de la tierra, es la misma para todos é igual á la presión atmosférica del punto é instante en que se efectúa dicha ebullición.

10. *Las tensiones* de los vapores de diferentes líquidos, aunque iguales en su punto de ebullición, no por esto son iguales en temperaturas equidistantes de aquella, como admitió Daltón; pues si los de agua, alcohol y éter tienen todos la tensión de la atmósfera en su punto de ebullición, que se efectúa á los 100° en el primero, á los 78° en el segundo y á los 73° en el tercero, los mismos á 100—10=90°, 78—10=68° y 37—10=27° la tiene ya diferente.

11. *La tensión* del vapor de agua ó de cualquier otro líquido, si tienen en disolución alguna sal, algún ácido ó cualquier sustancia á igual temperatura, resulta menor que la del vapor del líquido puro; siendo tanto menor cuanto más concentrada sea la disolución.

Cuando la sustancia disuelta en un líquido es volátil, la mezcla que se forma con los vapores del líquido y de dicha sustancia resulta con una tensión menor que la suma de las tensiones de ambos vapores medidas á igual temperatura.

12. *La mezcla* de los vapores con los gases, ó con otros vapores, no altera la vaporización ni las tensiones de los que entran en la mezcla; no habiendo más diferencia respecto de cuando se verifica en el vacío, sino en la marcha ó forma con que se ejecuta.

13. *La formación* de los vapores en un recinto ocupado por un vapor ó un gas, no se viene á diferenciar de cuando se efectúa en el vacío, sino en la rapidez ó lentitud con que se ejecuta: en los gases y vapores se verifica con lentitud, y en el vacío instantáneamente.

14. *Las tensiones* de los gases y vapores sin acción química entre sí, se han estudiado en su mezcla usando el aparato dispuesto por Gay-Lussac al efecto.

15. *Con los experimentos* de Gay-Lussac se han confirmado las leyes llamadas de Daltón. Estas son: 1.ª, que la tensión y la cantidad de vapor que satura un espacio dado son las mismas, en igualdad de temperatura, tanto cuando dicho espacio contiene de

antemano un gas ú otro vapor, como cuando está vacío. 2.ª que la fuerza elástica de la mezcla es igual á la suma de las fuerzas elásticas del gas y del vapor mezclados, refiriendo siempre el gas á su volumen primitivo.

Como consecuencia de estas leyes, resulta que la cantidad de vapor emitida, respectivamente, por cada uno de los diferentes líquidos contenidos en un mismo recinto, es independiente de la de los demás, y que la presión total ejercida por su mezcla es igual á la suma de las tensiones que cada cual tendría aisladamente en el vacío á la temperatura de la mezcla.

Según Regnault, que se ha ocupado también de esta teoría, parece que el vapor de agua adquiere una tensión algo menor en el aire y en el ázoe que en el vacío, pero las diferencias son tan pequeñas que se pueden considerar insignificantes y que no alteran las antedichas leyes.

16. *Á causa* de las propiedades de los vapores, para hallar su peso específico con relación al del aire, se necesita determinar los pesos de un mismo volumen de vapor y de aire, tomando el segundo á igual presión y temperatura que el primero; pues hallados, no se necesita más que dividir el uno por el otro.

De esta manera, hallado el peso específico del vapor con relación al del aire á su misma presión y temperatura, como es fácil hallar ó referir el peso específico del aire considerado á una presión y temperatura cualquiera, al correspondiente á las de 0^m, 760 y 0°, dicho peso específico del vapor se podrá referir ó comparar con el del aire á los 0°, y 0^m, 760.

17. *Al hallar el peso* específico de los vapores no se sigue el mismo método que para los gases, porque si bien el aire y los gases permanentes se pueden someter á cualquier presión y temperatura, no sucede lo mismo con los vapores, los cuales se pueden liquidar en mayor ó menor parte al tratar de hacer bajar su temperatura ó de aumentar su presión: por esta razón, si no se sometiese el aire á la misma presión y temperatura que la del vapor, y se quisiese sujetar éste á las condiciones de aquél, podría suceder que, al operar con el vapor, se liquidase en más ó menos cantidad, en cuyo caso el resultado hallado no sería el verdadero, pues se habría venido á operar no con el vapor, sino con éste y con el líquido producido por el mismo.

18. *Para hallar* el volumen de un peso dado de vapor y tener por la inversa el peso de un volumen determinado del mismo, que

á una temperatura, también determinada, que es uno de los datos necesarios para hallar su peso específico, se opera, según el método de Gay-Lussac, del modo siguiente: se dispone un aparato semejante al empleado por Daltón para medir las tensiones del vapor de agua de 0° á 100°, con la diferencia de que sólo se coloca dentro del cilindro que contiene el agua una campana graduada, que se mantiene llena de mercurio por tener menos de los 0^m, 760 de altura, y de que en dicho cilindro se pone aceite en vez de agua cuando se necesitan temperaturas superiores á 100°; se pesa una ampollita de vidrio vacío de aire; después se llena del líquido á cuyo vapor se quiera hallar el peso específico; se cierra á la lámpara y se vuelve á pesar, con lo que restando de este peso el de la ampollita, se tendrá el del líquido contenido en la misma. Se introduce la ampollita por la parte inferior de la campana graduada, y por su menor densidad respecto de la del mercurio sube al través de éste y se coloca en la parte superior; se calienta el mercurio de la cubeta, con él el de la campana y el agua ó aceite del cilindro, y, en su consecuencia, la ampollita y líquido en ella contenido. Con esto al dilatarse el líquido hace estallar á la referida ampollita y aquél se reduce todo á vapor: á este efecto se procura que la ampollita sea pequeña, para que sólo pueda contener el líquido indispensable. De esta manera, como el vapor llena parte de la campana graduada, vendremos á tener con las partes ocupadas el volumen del vapor producido por el líquido, y con el peso de éste, ya conocido, el de dicho volumen de vapor: la diferencia entre la columna mercurial de la campana y la del barómetro dará la tensión del vapor á la temperatura del mismo, indicada por el termómetro del baño.

19. *Con este dato*, para determinar el peso específico del vapor no habrá que hacer otra cosa sino dividir el peso de su volumen por el de otro igual de aire tomado á igual presión y temperatura que la del vapor.

No siendo aplicable este método sino para temperaturas á lo más de 160°, Mr. Dumas ideó otro procedimiento que puede servir hasta la de unos 360° en que ya se ablanda el vidrio; pero no siendo este ni otros pormenores, relativos á los pesos específicos de gases y vapores, necesarios ni propios de unos simples elementos, basta limitarse á lo expuesto.

20. *El peso específico* del vapor de agua con relación al del aire es 0,62.

21. *El peso* específico del vapor de agua á 100° respecto del agua á los 4° centígrados es de 1700 veces menor, por cuya razón un volumen de agua á 4°, reducida á vapor con 100° de temperatura, da un volumen de dicho vapor 1700 veces mayor que el de aquélla.

LECCIÓN LX.

I. Fenómenos y circunstancias de la evaporación y causas que la favorecen ó perjudican.—Fenómenos y circunstancias de la ebullición y sus leyes. — II. Fenómenos precursores y subsiguientes al acto de romper el hervor.—Causas influyentes en el punto de ebullición.—Medios de acelerarla y retardarla.

I.

1.ª *La evaporación* (LVIII—2.ª) se efectúa tranquilamente sin ruido ni movimiento en la masa líquida, ni aun en la superficie de nivel donde se forma el vapor, el cual se desprende generalmente de un modo invisible, á no ser que su temperatura sea superior á la del aire; pues en este caso, condensándose, pierde su trasparencia y se hace perceptible.

2.ª *La evaporación* se puede verificar espontáneamente á todas las temperaturas del aire ambiente, como se efectúa en las aguas que corren y se hallan sobre la superficie de la tierra, ó bien activándola por medio de focos caloríficos convenientes.

3.ª *La evaporación* resulta mayor y más rápida en unas ocasiones que en otras; siendo las condiciones ó causas que la favorecen el aumento de temperatura, el de la extensión superficial del líquido, las corrientes de viento, etc.

4.ª *El aumento* de temperatura, en igualdad de las demás circunstancias, favorece la evaporación, porque con él resulta mayor la tensión del vapor, éste se mezcla más fácilmente con el aire y, en igual tiempo, entra en el mismo mayor cantidad de aquél.

5.ª *La evaporación* en una masa líquida es tanto mayor, en igualdad de las demás circunstancias, á medida que, por su colocación en las vasijas ó depósitos, resulta mayor la extensión de su capa superior ó superficie de nivel; pues formándose igual cantidad de vapor sobre cada unidad superficial, claro es que el

desprendido en un tiempo de dos, tres ó más de aquellas unidades será doble, triplo, etc. del que en el mismo se desprendería de una sola.

6.ª *La evaporación* durante los vientos es mayor que estando el aire en calma, pues en este caso á medida que se saturan las capas en contacto del líquido, se dificulta la entrada de nuevas cantidades de vapor; cuando si corren vientos, las capas que se cargan de él lo arrastran en su curso, y reemplazadas por otras nuevas, éstas hacen lo mismo, resultando trasportada en poco tiempo mucha cantidad de aquél.

7.ª *La evaporación* es mayor en el aire seco que en otro cargado de vapor, en razón de que en el primer caso se ejecuta casi como en el vacío, por lo que será rápida y abundante; y en el segundo, ocupado el aire con el vapor ya saturado ó próximo á la saturación, no puede recibir más que pequeñas cantidades del mismo y muy lentamente.

8.ª *La evaporación* depende muy principalmente de la naturaleza de los líquidos, pues según sea la cohesión de sus moléculas, más ó menos fácil será se desunan y separen para su trasformación en vapor.

9.ª *La evaporación* se retarda ó es tanto menor, cuanto mayor es la densidad y cohesión del líquido, menor su temperatura, mayor la calma del aire, y cuando éste se halla más cargado de vapor. La razón de ser menor la evaporación á medida que disminuye la temperatura, es la inversa de cuando aumenta la una por crecer la otra.

10. *La razón de disminuir* la evaporación en el aire cuando se halla en calma y cargado ya de vapor, está envuelta en la del porqué aumenta en los casos contrarios.

11. *La naturaleza* de las vasijas en que se hallen colocados los líquidos y la altura de éstos no influyen nada en la evaporación, al contrario de lo que sucede en la ebullición, por efectuarse solamente en la cara superior, cuyo contacto y adherencia con las paredes se puede considerar despreciable.

12. *La ebullición* de los líquidos (LVIII—7.ª) se verifica trasformándose en vapor sus moléculas, no sólo en la superficie, sino que también en el interior de toda la masa líquida, que es atra-

vesada por aquél de una manera más ó menos tumultuosa y estrepitosa, produciéndose fenómenos precursores y subsiguientes, como son: las corrientes ascendentes de burbujas de vapor en el interior del líquido, su explosión en la superficie de nivel y el ruido que precede y sigue al acto de romper el hervor, sujeto á leyes fijas.

13. *Las leyes de la ebullición* en vasijas abiertas y de igual sustancia son las siguientes: 1.ª Todo líquido á la presión de $0^m,760$ hierve á una temperatura fija, esto es, tiene su punto de ebullición; 2.ª La temperatura del punto de ebullición de cada líquido permanece estacionaria todo el tiempo que dura aquélla, esto es, que ni aumenta ni disminuye mientras queda líquido en la vasija, y 3.ª Que el volumen del vapor resultante es siempre considerablemente mayor que el del líquido vaporizado.

Aunque la diferencia entre ebullidión y evaporación más bien se reduce á la forma que á su esencia, la ebullición en vasijas abiertas consiste en que aumentando con la temperatura la tensión de todo vapor, en igualdad de las demás circunstancias, al llegar aquélla en cada líquido á la necesaria para que la tensión de su vapor resulte igual á la presión atmosférica, la contraría por completo; en cuyo caso, todo el calor que después continúa entrando en el líquido se trasforma en trabajo mecánico, que al no ser necesario ninguno, ó casi ninguno externo por estar ya contrarrestada la presión atmosférica, resulta que se emplea enteramente en producir la separación, alejamiento y velocidad del vapor; razón por la cual la vaporización llega á su máximum de rapidez y abundancia, y no aumenta el calórico que se llamó sensible, originándose la ocultación del recibido.

14. *Las leyes de la ebullición* son consecuencia de lo observado experimentalmente al hacer hervir los líquidos, como sucede en la ebullición del agua pura en vasija abierta; pues se ve que en un mismo paraje y á igual presión, siempre necesita para llegar á hervir la misma temperatura, y que durante dicho acto, por grande que sea la cantidad de calor que reciba del foco, la temperatura del líquido, lo mismo que la del vapor se hace estacionaria, según indican los termómetros convenientemente colocados dentro del agua y en la masa del vapor que se desprende: prueba de que el calor prestado por el foco, que no ha podido dejar de penetrar en el líquido y no se hace perceptible en el agua ni en el vapor, debe quedar envuelto entre sus moléculas

para hacerles tomar las posiciones que constituyen el nuevo estado, como lo confirma la reaparición de calor en el cambio inverso de liquidarse el mismo.

15. *Calórico latente* de vaporización ó de elasticidad es el que absorbe todo líquido durante su ebullición ó evaporación sin aumentar su temperatura ni la del vapor, que resulta igual á la de aquél.

II.

16. *Se conoce* que el agua puesta sobre el fuego, en la correspondiente vasija, se halla próxima á hervir, en que la columna gaseosa que forma el vapor producido en la superficie de nivel por simple evaporación, aumenta según se va elevando la temperatura del agua, y en que el ruido que se empieza á oir desde que el agua se calienta lo bastante, aumenta notablemente y parece que se oye cada vez más próximo ó con mayor intensidad, hasta que al muy poco tiempo se ven llegar las burbujas á la superficie, donde estallan y producen su ruido, cesando éste en el interior.

17. *El ruido* que precede y anuncia la ebullición, y continúa durante la misma, se explica del modo siguiente: el silbido ténue y suave que se suele percibir cuando el agua se va calentando, es debido al aire envuelto entre las moléculas líquidas, que se dilatan por la elevación de temperatura, conmueve á aquélla separándose del líquido y escapa en parte á la atmósfera; el ruido que después se empieza á oir como á larga distancia, y que va aumentando cual si partiese cada vez de más cerca, consiste en que por la forma de calentamiento del líquido, elevada más la temperatura de las capas en contacto con el fondo, se produce en ellas, antes que en las demás, burbujas de vapor que tienden á elevarse á la atmósfera; las cuales, por su menor densidad suben á las capas líquidas inmediatas, y encontrándolas menos calientes, se condensan y liquidan en ella; se producen en dichas capas conmociones, choques y, por consiguiente, vibraciones, que engendran un primer ruido en aquella profundidad, por lo que se oye como distante. De la liquefacción de las burbujas de vapor resulta desprendimiento de calor latente, que eleva más y sucesiva y gradualmente la temperatura de las capas superiores, y como consecuencia de esto, las nuevas burbu-

jas de vapor, formadas sobre el fondo, pueden elevarse á capas de mayor altura sin liquidarse; por cuya razón al verificarlo cada vez en capas más próximas al nivel, y producirse en ellas su liquefacción y vibraciones consiguientes, el ruido engendrado se oye mayor y más próximo; continuando así hasta que calentada suficientemente toda la masa líquida, las burbujas de vapor pueden llegar sin liquidarse á la superficie del nivel, sobre la cual estallan, y al verificarse los estallidos ó borbotones, se produce sobre ella esa conmoción y ruido próximo, en cuyo caso se dice rompe el hervor y, continuando sucesiva y uniformemente, que el líquido hierve ó que está en plena ebullición.

18. *Las causas influyentes*, á igualdad de las demás circunstancias, en acelerar ó retardar la ebullición, esto es, en que se efectúe á menor ó mayor grado de temperatura que el de su punto de ebullición, son las siguientes: la presión sobre el nivel del líquido; la altura de su columna, la densidad y cohesión del mismo; la naturaleza de la vasija, y las sustancias que pueda tener el líquido en disolución.

19. *Influye la presión* en el punto de ebullición, porque consistiendo ésta en adquirir el vapor una tensión igual á la presión sobre su nivel, según sea aquélla mayor ó menor, mayor ó menor habrá de ser la tensión y, por consiguiente, la temperatura necesaria: razón por la cual el punto de ebullición del agua, aunque al nivel del mar es de 100°, es menor en lo alto de las montañas y mayor en lo profundo de las minas.

20. *La altura de las columnas* del líquido, su densidad y cohesión influyen muy eficazmente en el punto de ebullición de un líquido, porque aumentar ó disminuir su altura, densidad ó cohesión, vale tanto como aumentar ó disminuir la presión sobre las capas inferiores, donde empieza la ebullición, y equivale á cambiar aquélla tan notablemente como puede efectuarlo la presión atmosférica desde el nivel del mar á lo alto de las montañas ó á lo profundo de las minas; pues dependiendo la fuerza elástica del vapor, que ha de vencer tales presiones, de la temperatura, cuanto mayores aquéllas sean, tanto mayor tendrá que ser dicha fuerza y, por consiguiente, la temperatura ó punto de ebullición, y viceversa.

21. *Influye también* en el punto de ebullición de un líquido la naturaleza de las vasijas por la diferente adherencia entre sus paredes y las moléculas de dicho líquido, porque siendo una fuerza más que necesita vencer la tensión del vapor, además de la presión, necesario es que aquélla aumente, para lo cual necesario es también mayor temperatura.

22. *Variando el punto de ebullición* de los líquidos según lo efectúan las causas que en él influyen, al decir que el agua hierve á 100°, el alcohol á 78°, el éter á 37°, etc., se debe entender que es por término medio al nivel del mar, ó presión de 0^m, 760, y en vasija abierta; pero á menor presión, pueden hervir con menos temperatura, como sucede con el agua pura, que, según Saussure, lo efectúa á los 88°,2 en la cima del monte Blanco.

En Granada á 98°, 05 del centígrado.

23. *Las causas* que influyen en el punto de ebullición, si bien disminuyendo pueden anticipar aquélla, aumentando la pueden retardar algunos grados, como sucede cuando el agua contiene sustancias en disolución, al concentrarse más y más á medida que se vaporiza el líquido, porque esto aumenta la densidad, sucediendo lo mismo si la columna líquida fuese de gran altura; sin embargo, por sólo estas causas, en vasijas abiertas el aumento de temperatura hasta el nuevo punto de ebullición no puede ser mucho, y llegado á él no es posible que el líquido se caliente más, por hacerse estacionaria la temperatura según la segunda ley de la ebullición.

Por esta razón no es posible calentar el agua sino hasta 100° y algunos más en vasijas abiertas, por trasformarse las nuevas cantidades de calor suministrado por el foco en el llamado calor latente; mas en vasijas cerradas en que se impide la salida del vapor, éste no se lleva latente el calor que el líquido continúa recibiendo, la temperatura aumenta más y más y con ella la tensión, sin más límite que la resistencia de las vasijas, como sucede con la marmita inventada por Dionisio Papín en 1681 y en las calderas ó generadores de vapor.

24. *La marmita de Papín* es un vaso metálico, cilíndrico, de paredes muy gruesas, con una tapadera de igual espesor que aquéllas, la cual, sujeta por medio de un tornillo, cierra perfectamente el vaso é impide la salida del vapor, mientras su tensión no excede de cierto límite; pues llegado á éste, escapa por una vál-

vula que hay convenientemente dispuesta al efecto en la misma tapadera.

Se aplica generalmente para retardar el punto de ebullición del agua y lograr la elevación de su temperatura sobre aquella con que pueda hervir según las alturas, ó cuando se necesite sea más elevada que la de 100°, como sucede cuando se trata de cocer ciertas sustancias, ó reblandecer ó fundir algunos cuerpos que exigen mayor temperatura que la de 100°.

LECCIÓN LXI.

I. Liquefacción.—Medida del calor de la vaporización. — Indicación de por qué se toma los puntos fijos para la graduación del termómetro en la nieve ó hielo fundente y en el vapor del agua hirviendo. — Medida de alturas con el termómetro. — II. Estado esferoidal. = Orígenes del calórico y del frío.—Equivalente mecánico del calórico.

I.

1.ª *Según la definición* de gases y vapores (V—8.ª y 9.ª) se comprende que la liquefacción de los segundos es fácil y natural; pero que la de los primeros es difícil y artificial, por cuya razón se clasificaron los gases dividiéndolos en permanentes y liquefactibles; pero hoy se puede decir que tal clasificación es innecesaria y considerar que los gases no son otra cosa sino vapores muy dilatados, susceptibles de liquidación como los vapores.

Se efectúa con la sola diferencia de que los vapores como el del agua se liquidan con las bajas de temperatura de la atmósfera, sin grandes aumentos de presión y aun por la acción química con los cuerpos inmediatos, cuyo hecho origina la deslicuescencia de las sales; cuando para liquidar los gases ha sido necesario ir discurriendo medios y aparatos en que poder producir las grandes presiones y descensos de temperatura con que en 1877, casi simultáneamente, se llegó á liquidar el oxígeno, el hidrógeno, el ázoe ó nitrógeno, el bióxido de carbono y el proto-carburo de hidrógeno por el Sr. Cailletet, en Châtillón del Sena, y por el Sr. Raoult Pictet en Ginebra.

Los pormenores de sus procedimientos como los de la liquefacción y solidificación del ácido carbónico y otros, si bien notables é interesantes, son impropios de estas lecciones; pero que se encuentran ya en obras, aunque elementales, de mayor extensión, como la de Ganot y otras.

2.ª *Los líquidos* al vaporizarse por simple evaporación hacen

también latente, si no todo como en la ebullición, parte del calor que reciben de la atmósfera, ó de los cuerpos ó focos caloríficos inmediatos, en cantidad tanto mayor cuanto más se aproxima su temperatura al punto de ebullición; calor que reaparece al efectuarse la liquefacción.

3.ª *Los hechos* que confirman el fenómeno del calor latente de vaporización ó de elasticidad, como su reaparición al liquidarse los vapores, son: por el primer concepto, el fresco que se siente al mojarse la mano, al salir de un baño, y en los sitios donde se vierte agua ó hay depósitos de ella; el enfriamiento del aire al llover, y los experimentos de congelar el agua en el vacío de la campana de la máquina neumática ó con el crióforo, etc.; y por el segundo, el hecho de templarse el aire cuando llueve ó nieva, como el desprendimiento de calor en la compresión de los gases y líquidos, rozamiento, etc.

4.ª *La cantidad* de calor que se hace latente en la evaporación de los líquidos, siendo variable según la temperatura, no es fácil determinarla; pero el de la ebullición se puede apreciar por el que reaparece en la liquefacción, como se ha hecho con el calor latente de la ebullición del agua, y semejantemente respecto de otros líquidos con procedimientos convenientes, en cuyos pormenores sería inoportuno extenderse.

5.ª *De la medida* del calor de elasticidad del vapor de agua á 100°, por Regnault, resulta que es 537, esto es, una cantidad capaz de elevar de 0° á 1° la temperatura de una masa de agua de 537 kilogramos.

De esto se deduce que para calentar un kilogramo de agua pura desde 0° á 100° y convertirla en vapor á 100° también, se necesitan 637 calorías, esto es, el calor que elevaría la temperatura de un kilogramo de agua de 0° á 637°, ó la de 637 kilogramos de agua de 0° á 1°. Ahora bien, como al enfriarse el vapor y convertirse en líquido, reaparece el calor hecho latente, resulta que un kilogramo de agua en vapor á 100° al liquidarse, producirá un desprendimiento de calor sensible ó de calefacción de 537 calorías. En este hecho y en el de que cada kilogramo de agua al enfriarse cederá una caloría por grado, se funda la importante aplicación de la calefacción al vapor, y el gran invento del condensador en las máquinas de aquel nombre.

6.ª *Conocido* el fenómeno del calórico trasformado en trabajo

mecánico, tanto en la fusión como en la ebullición, y la reaparición del mismo en los cambios inversos, llamados regresivos, se puede dar á conocer y comprender fácilmente multitud de hechos y aplicaciones científicas é industriales, cuya enumeración sería muy difusa.

Sin embargo, será oportuno explicar lo que no se pudo al tratar de los termómetros, esto es, el por qué de tomar para puntos fijos, en la graduación de aquéllos, el de hielo fundente y de agua hirviendo; la medición de alturas por el termómetro, el estado esferoidal, el equivalente mecánico del calórico y la aplicación del de elasticidad del vapor de agua como motor. Esta aplicación, máquinas de vapor, corresponde á la Mecánica aplicada más que á la Física, pero siendo tan admirable su invención, importante y general su uso, necesario es, según costumbre de los autores de Física, dar una noción de ellas, aunque siempre muy incompleta.

7.ª *Se toma* por primer punto fijo en la graduación del termómetro (L— 14) la línea con que se marca la altura á que llega la extremidad de la columna mercurial en el tubo termométrico cuando puesto en hielo fundente se hace estacionaria, y no el que pudiera resultar en el acto de congelarse el agua, porque lo primero sucede siempre á la misma temperatura, cuando lo segundo puede efectuarse á distinta y resultar error, por el fenómeno de la sobrefusión.

8.ª Se toma por segundo punto fijo, en la graduación del termómetro, la línea con que se marca la altura á que llega la extremidad de la columna mercurial en el tubo termométrico, y se hace estacionaria cuando aquél se le sostiene en el vapor que se desprende del agua hirviendo, porque efectuándose la ebullición del agua pura y bajo la presión de $0,^{m}760$ á una temperatura fija, según la segunda ley de la ebullición, no puede resultar error como si se introdujera el expresado tubo en el interior del líquido, cuyas capas tienen mayor temperatura á medida que son más profundas.

9.ª *Así como* por la diferencia de altura entre dos puntos las presiones de la atmósfera son diferentes y por la diferencia de estas presiones se puede medir la elevación del uno sobre el otro (XL—21), de la misma manera se ha llegado á resolver el mismo problema por la diferencia de las temperaturas de la ebulli-

ción del agua en dos puntos de diferente elevación, toda vez que la ebullición depende de la tensión necesaria para vencer la presión atmosférica y la tensión resulta de la temperatura.

10. *La medida* de alturas reemplazando el barómetro por el termómetro, se ejecuta con el hipsómetro. Este es un aparato inventado por Regnault con aquel objeto.

11. *La disposición* del hipsómetro es la siguiente: en el interior de un tubo metálico y cilíndrico hay dispuesta una pequeña caldera de cobre con su correspondiente lámpara de alcohol para hervir agua y producir una corriente de vapor á la temperatura de la ebullición de aquélla en cada altura: sobre dicho primer tubo se sostienen otros tres enlazados y que se pueden plegar como los de los anteojos terrestres; estos tubos desplegados sostienen un termómetro, cuyo tubo atraviesa un tapón de corcho que ajusta en la base superior del último de aquéllos, el cual tiene un orificio por donde escapa el vapor después de haber bañado al termómetro: el primero, donde se halla la lámpara, tiene también dos orificios hacia la base inferior, que permiten la entrada del aire necesario para alimentar la llama de dicha lámpara. Se usa haciendo hervir el agua en los puntos cuya altura ó diferencia de nivel se quiera apreciar, y tomando la temperatura que señala el termómetro cuando, bañado por el vapor del agua hirviendo, se hace estacionaria la columna mercurial en cada uno de aquéllos.

Con dichas temperaturas y las tablas construídas por el mismo Regnaul se determina la presión del aire en cada punto y con ella la altura, como pudiera hacerse con el barómetro por la fórmula de Laplace; pero mediante ciertas simplificaciones se ha llegado á obtener la empírica $h = 295\,t$, en que t representa la diferencia de las dos expresadas temperaturas, esto es, que halladas con el hipsómetro la temperatura de ebullición en dos puntos de diferente elevación, su distancia, desnivel ó altura intermedia es igual, en metros, al producto que resulta multiplicando el número constante 295 por la diferencia de ambas temperaturas.

12. *Se da el nombre* de estado esferoidal al fenómeno que se observa cuando se proyecta un líquido, dividido en gotas, sobre una superficie metálica pulimentada y bien caliente, el cual consiste en que dichas gotas no se extienden sobre aquélla ni la mojan, sino que se sostienen sobre la superficie metálica sin tocarla

ni extenderse sobre ella y sin mojarla; adquiriendo la forma globular ó de pequeñas esferas, agitándose con un rápido movimiento giratorio sin entrar en ebullición, y evaporándose con una lentitud tal, que la velocidad de la vaporización resulta cincuenta veces menor que al hervir.

13. *El estado esferoidal* se puede presentar, para su conocimiento, del modo siguiente: se toma una placa ó cápsula de metal bien limpia y pulimentada; se calienta fuertemente sobre la llama de la lámpara de alcohol ú otro foco á propósito; en tal estado, se proyecta por medio de una pipeta, gota á gota, el agua ó líquido de que se quiera hacer uso, y se ve que las gotas del líquido, en vez de tocar la placa y extenderse sobre ella, toman la disposición indicada en la definición.

14. *La temperatura* de los líquidos en el estado esferoidal es siempre inferior á la de su ebullición, pues en el agua es de 96°, en el alcohol de 75° y en ácido sulfuroso de—20°.

Si la temperatura de la placa no permanece constante por separarse del foco calórico, ó por otra causa cualquiera, al disminuir, aumenta la evaporación de los glóbulos del líquido y llega un momento en que, no pudiendo éste sostenerse en aquel estado ó forma especial, moja la superficie metálica, se extiende sobre ella y se produce una violenta ebullición.

El fenómeno del estado esferoidal parece fué observado ya en 1746 por Eler; diez años después se empezó á estudiar formalmente por Leindesfrost y, continuado este estudio por varios físicos, ha sido desenvuelto por M. Boutigni, disponiendo un aparato á propósito con el que efectuó una serie de experiencias ingeniosas, cuyos pormenores y teoría tampoco son propios de estas lecciones.

15. *El origen del calor,* según la hipótesis de las ondulaciones etéreas ó teoría termodinámica (XLIX—10), en realidad es uno solo; pero por las diferentes fases en que el hecho, aunque único, se presenta, se suele dar el nombre de orígenes de calor á los cuerpos y fenómenos en que por los cambios de posición de las moléculas y las consiguientes modificaciones de sus movimientos, y de las del éter, resulta desprendimiento de calórico.

16. *Los orígenes* ó manantiales del calórico, unos son permanentes y otros accidentales. Los primeros son los que engendran ó suministran calórico incesantemente, como es el sol, el globo

terrestre y los espacios celestes, y los segundos los que lo producen solamente en algunas ocasiones, según las circunstancias en que se hallan ó se les coloca.

17. *Los orígenes* accidentales del calórico se suelen dividir en mecánicos, físicos, químicos y fisiológicos.

18. *Los orígenes mecánicos del calórico* son: el rozamiento, el choque ó percusión y la compresión. Su demostración experimental resulta con el correspondiente aparato de Tyndall; por las operaciones de limar, golpear y como se observa al usar el piezómetro, el eslabón neumático y el pistón impelente en la fuente de compresión, y en multitud de operaciones científicas é industriales.

19. *Los orígenes* físicos del calórico más principales son: los cambios de estado inversos ó regresivos, solidificación, congelación y liquefacción, y la electricidad.

20. *Los orígenes* químicos del calórico son: las reacciones químicas y la combustión.

21. *Los orígenes* fisiológicos son: la digestión, respiración y circulación, que en realidad pudieran considerárseles incluidos en los químicos.

22. *Se suele dar,* aunque impropiamente, el nombre de orígenes del frío á los cuerpos y fenómenos en que, por los cambios de posición, separación de sus moléculas, y las consiguientes modificaciones de sus movimientos y de los del éter, resulta enfriamiento por la absorción de calórico latente necesario, ó conversión del calórico sensible ó de calefacción en trabajo mecánico.

23. *Los orígenes* principales del frío son: la fusión, disolución, mezclas frigoríficas, vaporización y dilatación de gases; la radiación nocturna en general, y cualquier otra particular.

Cuantos ejemplos de aplicación resultan indicados relativamente á los orígenes del calor y frío, conocidos por el estudio de los cambios de estado, etc. pueden ser reducidos al hecho general y constante de que en todos los fenómenos resulta aproximación de moléculas ó separación de las mismas, y por consiguiente trasformación del trabajo en calor, que reaparece y se hace sensible, ó inversamente trasformación de calor en trabajo mecánico, de cuya reciprocidad vino á resultar el denominado *equivalente mecánico del calor.*

24. *Equivalente mecánico del calor* es la constante relación de

equivalencia entre el calórico y el trabajo mecánico que produce, é inversamente entre todo trabajo mecánico y el calor que por él se desarrolla, esto es, que cualquier cantidad de calor produce un trabajo tal que ejecutado por cualquier otro medio diferente desarrolla aquella misma cantidad de calor, y, por consiguiente, que todo gasto ó desaparición de calor se convierte en trabajo y, viceversa, todo trabajo en calor.

Este principio, que en la actualidad nos lo evidencian tantos hechos experimentales, aunque vislumbrado ya de antiguo como lo indica el proverbio latino *motus est causa caloris*, no llegó á establecerse hasta 1842, en que el médico Doctor Mayer calculó con bastante aproximación, aunque por consideraciones puramente teóricas, el valor del referido equivalente.

Seguidamente el Sr. Foule, en 1843, llegó á una determinación más exacta mediante el experimento de hacer girar dentro de un depósito de agua un árbol vertical, provisto de paletas que revolvían el líquido y se desarrollaba calor.

La historia del equivalente mecánico del calor, como la de todos los grandes descubrimientos, aunque sumamente curiosa, importante é instructiva, no es para expuesta en estrechos límites.

25. *El valor* obtenido mediante el promedio de los resultados hallados en la determinación del equivalente mecánico del calor se dice es 425 kilográmetros, esto es, que produciendo el calor que eleva la temperatura de un kilogramo de agua desde 0° á 1°, la caloría, el trabajo de 425 kilográmetro, recíprocamente un trabajo de 425 kilográmetros produce la cantidad necesaria para elevar un kilogramo de agua desde 0° á 1°; prescindiendo en uno y otro caso de las pérdidas que puedan resultar según las circunstancias, cuyos pormenores son propios de la Mecánica aplicada, sobre todo en lo relativo á las máquinas de vapor.

LECCIÓN LXII.

I. Máquinas de vapor. — Su invención y progresos. — Clasificaciones de las mismas. — Partes de que se compone la máquina de Watt. — II. Indicaciones relativas á los buques de vapor, locomotoras y generadores de aquél.

1.ª *Máquinas de vapor* son aparatos que sirven para utilizar la tensión ó fuerza elástica del vapor de agua como fuerza motriz. Se reducen esencialmente á un sistema de bombas en que el vapor de agua, producido en la correspondiente vasija cerrada, *calderas* ó *generadores de vapor*, obra sobre los émbolos de aquéllas y les comunica un movimiento alternativo rectílineo, que seguido por los respectivos vástagos y trasformado de una de lasmaneras ingeniosas posibles, se trasmite á cualquier mecanismo.

El origen de esta invención y la historia de su desenvolvimiento no se pierde en la oscuridad de los tiempos, como el de otros inventos, pues siendo de época no lejana y existiendo ya la imprenta, hay datos bastante fidedignos para poder juzgar acerea de sus inventores y lugares donde se fueron realizando sus progresos. Sin embargo, al tratar de esto, no se han dejado de suscitar controversías, pero analizando bien los hechos y la fechas, se puede admitir que la cuna del invento fué Inglaterra, y su iniciador verdadero Jaime Watt, porque cuanto se suele decir de los aparatos y experimentos de Hieron de Alejandría, 120 años antes de Jesucristo, y otros, cuando no se conocía el aumento que puede alcanzar la tensión del vapor producido en vasijas cerradas, sobre que no pasaron de experimentos curiosos, nada produjeron.

Lo mismo se puede decir de los experimentos de Blasco de Garay, en el puerto de Barcelona, en tiempo del emperador Carlos V de Alemania, I de España, año 1543, pues que nada resulta de positivo; y aunque el capitan Savery, en Inglaterra, obtuvo en 1698 privilegio de invención por el aparato ó sistema de bombas, por cuyo medio se utilizaba la fuerza elástica de vapor para la elevación de aguas, esto estaba muy distante del fin que hoy realizan las verdaderas máquinas de vapor.

Haciendo, pues, abstracción de estos hechos por agenos á la invención, se puede decir que el verdadero germen de ella fué el genio de Dionisio Papín, nacido en 1645 é inventor de la marmita en 1681, que aunque francés, lo trasportó con su personalidad á Inglaterra, donde vivía por su emigración como protestante, año 1685, y en virtud de la revocación del edicto de Nantes: su muerte parece fué en 1714. Y como según las ideas de Papín los obreros Newcomen y Cawley, asociados á

Savery, llegaron á establecer el agotamiento de las aguas en las minas de carbón de piedra en Inglaterra, año 1705, con bombas que recibían el movimiento de otra movida por la presión atmosférica y el auxilio del vapor, en virtud de cuya circunstancia se denominó tal aparato *máquina atmosférica*; y por la reparación que en un modelo de ella tuvo que hacer Watt, éste inventó en 1750 el condensador del vapor y la máquina de simple efecto, y después, en 1766, el doble, que es como la fuerza clástica del vapor llegó á quedar constituída en motor mecánico, resulta el poder admitir lo siguiente.

1.° Que la invención de las máquinas de vapor es debida á las ideas y proyectos de Papín, que según resulta comprobado, en 1707 navegó con un pequeño barco construído según su idea, que fué el gérmen de la máquina atmosférica.

2.° Que en virtud de las ideas importadas á Inglaterra por Papín, Newcomen y Cawley fueron los que realizaron la construcción y establecimiento de aquélla en las minas.

3.° Que Watt en virtud de la existencia de la máquina afmosférica y la circunstancia de haber tenido que reparar un modelo de ella, perteneciente á la Universidad de Glasgow, fué el que llegó á verificar la invención de las verdaderas máquinas de vapor, en que éste se emplea como perfecto motor mecánico mediante los sucesivos perfeccionamientos como el de su regulador en 1782, y su paralelógramo en 1784: Wat nació en 1730 y murió el 1819.

Además de la participación en la gloria de la invención del vapor que respectivamente tuvieron Papin, Newcomen, Cawley y Savery y Watt, resulta la del jóven obrero ó más bien la del niño Humphry Potter encargado del simple trabajo de abrir y cerrar alternativamente las válvulas de entrada del vapor, primero, y del agua fría, después, para la condensación de aquél en el cuerpo de bomba de la máquina atmosférica. En efecto, se refiere que deseando dicho niño sustraerse á la contínua sujeción que le imponia su cargo, discurrió el ligar, por medio de las correspondientes cuerdas, las palancas con que debía mover las indicadas valvulas, á un extremo del balancín de la máquina, de suerte que al subir aquél se abría una de las válvulas y se cerraba la otra, y vice versa al bajar, con cuya invención, perfeccionada por el Ingeniero Brighton, se consiguió que las válvulas jugasen solas por el movimiento de la misma máquina, y que ésta alcanzase mayor perfección.

Las circunstancias del nacimiento y vicisitudes de la vida de Dionisio Papín y demas colaboradores en la invención de las máquinas de vapor, su perfeccionamiento y generalización hasta llegar á su estado actual, son tan curiosas y dignas de consideración, que ofrecen grande ejemplo del ingenio, moralidad y grandeza que se oculta en la modesta clase trabajadora, por cuya razón es tan recomendable la lectura de

obras que instruyen acerca de tal asunto; y aunque muchas son las ya publicadas sobre el particular, basta citar las siguientes. El resúmen histórico contenido en el capítulo correspondiente de la obra de Física de A. Daguín, como en otras; la exposición é historia de los principales descubrimientos modernos de Luis Figuier; los descubrimientos é invenciones modernas por Henry de Parvill; la historia de las máquinas de vapor de Mr. Hachette, la del ingeniero inglés Tredgold, traducida al español por D. Jerónimo de la Escosura, y muchas otras que sería largo enumerar.

2.ª *La primera máquina* de vapor á que pudiera aplicarse tal nombre, fué la establecida por Newcomen y Cawley, llamada *máquina atmosférica* en virtud de que se utilizaba en ella la presión de la atmósfera.

Lo esencial del invento era, como en tantas otras cosas, la ansiedad con que se ocupaban los sabios de aplicar el descubrimiento y medida de la presión atmosférica según los experimentos de Torricelli en 1643; paro como el sistema ideado por Papin para que el descenso de un pistón en un cuerpo de bomba vertical, se efectuase, una y otra vez, por aquella presión al obrar sobre la cara superior del pistón, consistía en que alternativamente obrase el vapor en la cara inferior para elevarlo, de aquí el que se pueda considerar como la primera máquina de aquel nombre; su disposición y modo de funcionar es fácil de explicar verbalmente con la correspondiente y sencilla figura.

3.ª *La disposición* de la máquina atmosférica y la de simple efecto de Watt sólo era utilizable en las minas de carbón de piedra de Inglaterra, pero establecidas las del doble juego del vapor, fué posible aplicarlas á todos los usos de la industria y en todas partes, no sólo en las fábricas y talleres, sino que también en los barcos para su impulsión y en los carruajes para su arrastre, con lo que su uso se hizo universal.

En efecto, aplicando la máquina de doble efecto de Watt, Roberto Fulton, nacido en 1764 y muerto en 1815, logró, después de una larga serie de trabajos y contrariedades, establecer definitivamente, en 1805, la navegación al vapor, extendida y perfeccionada más y más cada día, lo mismo que las locomotoras, en cuyo ramo tantos hombres trabajaron hasta su establecimiento. La historia de éste empezó en los primeros tiempos del empleo del vapor, pero los resultados no fueron efectivos, hasta que, en 1827, M. Seguin inventó las calderas tubuladas, aplicadas ya en 1829 por M. Stehpenson, que fué el primero que construyó la verdadera locomotora, aunque sin la perfección añadida por Crampton con su modificación en las ruedas motrices.

Según el estudio publicado por el Doctor Engel, director de las oficinas de estadistica de Berlín, acerca de las máquinas de vapor que funcionaban en todo el mundo, resulta que la fuerza motriz de ellas ascendía en 1881 á unos 46 millones de Caballos, equivalente en trabajo al de mil millones de obreros, lo que se calcula viene á triplicar la fuerza útil y productiva de la sociedad.

4.ª *Las máquinas* de vapor se clasifican de varias maneras, según sus circunstancias y diferentes usos.

5.ª Las máquinas de vapor se dividen, por el modo de obrar aquél sobre los émbolos, en máquinas de simple y de doble efecto. Las primeras son las en que el vapor obra sólo sobre una de las bases del émbolo, como en la primera máquina de Watt, y las segundas en que el movimiento contínuo alternativo del émbolo se efectúa, obrando alternativamente el vapor sobre una y otra base de las del mismo émbolo.

6.ª *Las más importantes* de las máquinas de vapor son las de doble efecto, por ser de esta clase todas las que existen hoy, fuera de alguna de las de simple efecto de Watt, que aún continúan usándose en el agotamiento de las aguas de las minas de carbón de piedra en Inglaterra, como sucede en el condado de Cornouailles, si bien perfeccionadas al extremo, sobre todo con la espansión.

7.ª La máquina atmosférica presentó desde luego el inconveniente del mucho tiempo y calor que se malgastaba en condensar el vapor empleado en cada ascenso del pistón, y por consiguiente el del gran gasto de combustible que se hacía necesario; pero las dificultades que se le ofrecieron á Watt al componer un modelo de la máquina de Newcomen, perteneciente al gabinete de Física de la Universidad de Glasgow, le sugirieron el modo de remediarla.

8.ª Watt remedió el gran inconveniente de la máquina de Newcomen, con su invención del condensador aislado y su primera máquina de simple efecto; con lo que y vista la facilidad de manejar el juego del vapor, avanzó en su perfeccionamiento, consiguiendo conquistar su completo dominio, inventando el doble efecto y con él la posibilidad de manejar tan potente elemento, sin más límites que los de su voluntad.

9.ª El condensador aislado de las máquinas de vapor es una capacidad convenientemente dispuesta, á donde, por el correspon-

diente tubo de comunicación, se hace salir del cuerpo de bomba el vapor, después de haber producido su efecto sobre el émbolo, á fin de que se ponga en contacto con agua fría y se liquide.

El condensador puede ser un vaso abierto en condiciones especiales, que tenga siempre agua fría y al interior de cuya masa penetre el vapor; pero en la generalidad de los casos es un vaso cerrado y rodeado de agua fría, la cual se introduce en el interior del mismo por el orificio correspondiente, penetrando en forma de lluvia con la que se mezcla contínuamente el vapor y se liquida, precipitándose el líquido resultante con aquella hacia el fondo del vaso.

El agua en que éste se deposita, eleva su temperatura con el calor latente que le cede el vapor al liquidarse, por cuya razón es menester extraerla y lo mismo el aire que entra mezclado con ella. Esto se ejecuta con una bomba llamada bomba de aire, la que se denomina así, porque además de extraer el agua caliente para mandarla á un depósito más ó menos próximo al generador del vapor, extrae también el aire introducido con el agua fría.

El agua caliente sacada del condensador se puede aprovechar para el gasto de la caldera; pues entrando ya caliente no enfría la contenida en él, y se produce ahorro de combustible. Dicha agua se hace pasar de su depósito al generador ó caldera por otra bomba, que por lo mismo se llama alimenticia. Ésta se reemplaza hoy, generalmente, con el inyector Giffart, apellido del inventor, por cuyo medio, abriendo uno de los tubos que está en comunicación con la caldera, se produce por el desalojo del aire, en un segundo tubo, un vacío y una elevación del agua, con la que este segundo comunica, la cual marchando por otro tercero y abriendo una válvula, entra en la caldera.

Además de las bombas de aire y de la alimenticia suele haber otra tercera, que se denomina bomba de pozo, porque sirve para sacar de uno de éstos, ó de cualquier depósito, el agua necesaria para el condensador. En la máquina de Watt, que se puede tomar como tipo de las demás, todas las indicadas bombas, válvula del repartidor, etc. eran movidas por la misma máquina.

10. *La invención* del condensador valió á Watt y á su asociado Boulton, mediante el correspondiente privilegio obtenido por el primero, una considerable renta anual, consistente en la tercera parte del importe del combustible que se economizaba por dicha invención en las nuevas máquinas: ahorro que sólo en tres de ellas ascendía á 180.000 francos por año y, por consiguiente, producía 60.000 para Watt y Boulton, esto es, 120.000 reales á cada uno.

11. *La entrada* alternativa sobre las bases del émbolo en las máquinas de vapor de doble efecto se ejecuta mediante el juego de la válvula llamada en D, de cajón ó de corredera en la caja ó repartidor del vapor.

12. *La válvula* en D, de cajón ó corredera, llamada así por su forma y disposición, es una pieza que situada dentro de la caja de vapor y puesta en movimiento rectilíneo alternativo por la misma máquina á que pertenece, abre y cierra alternativamente dos orificios del cuerpo de bomba, situados respectivamente cerca de las bases del mismo, á fin de permitir la entrada del vapor alternativa y sucesivamente por cada uno de ellos y producir su doble efecto sobre el pistón. Dicha pieza resulta siempre en disposición de recibir, en una oquedad que tiene dentro de sí, el vapor expulsado del cuerpo de bomba, para salir desde allí al condensador ó á la atmósfera, según sea la máquina de condensador ó sin él.

13. *La caja de vapor* es una capacidad cilíndrica ó prismática, sobrepuesta lateralmente al cuerpo de bomba de la máquina, en cuya capacidad hay cuatro orificios; de éstos, dos comunican con el referido cuerpo de bomba, otro sirve para recibir de la caldera el vapor que ha de obrar sobre el émbolo, y el cuarto para la salida del vapor al condensador ó á la atmósfera después de haber producido su efecto.

La disposición del repartidor del vapor y juego de su válvula, se comprende fácilmente con el sencillo modelo cuya vista explica más que toda descripción.

14. *El excéntrico* es un elemento sumamente importante en la mayor parte de los mecanismos, especialmente en las máquinas de vapor, y que sirve en general para la trasformación de movimientos. Se puede disponer bajo diferentes formas que sólo es posible describir en cada caso particular á la vista del modelo ó figura correspondiente.

15. *Las máquinas de vapor* de doble efecto, por razón del modo de producirse éste sobre el émbolo, pueden ser con detención ó con expansión.

16. Máquinas con detención son aquellas en que, por un artificio especial del repartidor, sólo puede entrar el vapor en el

cuerpo de bomba mientras el émbolo recorre una parte de su curso, continuando éste por la velocidad adquirida y expansión de la cantidad de aquél introducida antes de interceptar su paso y suspender la entrada al cerrarse el orificio.

17. *Máquinas de vapor* con expansión son las en que aquél obra sobre el émbolo de un primer cuerpo de bomba, y que en vez de salir después al condensador ó á la atmósfera, se dirige á un segundo cuerpo de bomba de mucho mayor diámetro, sobre cuyo émbolo continúa obrando por expansión en virtud de la tensión suficiente que aun conserva, y que, en vez de perderse, se aprovecha con economía de combustible. Las que no tienen la antedicha disposición, y sí un cuerpo de bomba, se llaman máquinas de vapor sin expansión: unas y otras pueden ser con detención ó sin ella.

18. *Las máquinas* de vapor, relativamente á la tensión con que se usa aquél, se dividen en tres clases, que son: 1.ª de baja presión; 2.ª de media presión, y 3.ª de alta presión: son de baja presion cuando la tensión de aquél, siendo mayor que la de la atmósfera, está entre una y media y dos veces la de ésta; son de media presión aquellas en que el vapor obra con una fuerza de dos á cuatro atmósferas, y de alta presión cuando lo efectúa con fuerzas superiores á tres de aquéllas, desde tres á ocho y hasta diez.

19. *Las máquinas de vapor* no todas necesitan el condensador, y de aquí el tenerlo unas, y otras no; llamándose máquinas de vapor de condensador las en que el vapor utilizado pasa á liquidarse en aquél después de haber producido su efecto sobre el émbolo, y sin condensador, aquellas que carecen de éste y en las que el vapor utilizado sale y va á perderse en la atmósfera, después de haber producido su efecto sobre el émbolo.

20. *Las máquinas* de baja presión tienen siempre condensador, porque excediendo poco á la presión de la atmósfera la tensión que resta del vapor, después de haber producido su efecto sobre el émbolo, no sería fácil su salida del cuerpo de bomba, ni tan veloz como existiendo aquél: las de media y alta pueden llevarlo ó no, pues que no es absolutamente preciso.

21. *Las máquinas de vapor* que generalmente no llevan condensador son las de alta presión, si bien las de media pueden

también carecer de él; razon por la cual estas clasificaciones son poco determinativas y nada importantes.

22. *No es fácil determinar* de un modo absoluto los casos en que se usa de unas ú otras de las máquinas de vapor, según sean de baja ó alta presión; pero exigiendo las primeras condensador, y éste gran peso de agua, bombas, etc., claro es que la baja presión sólo es conveniente en las fijas y en las de los buques, aunque unas y otras pueden ser también de media y hasta de alta presión: por el contrario, las móviles y locomóviles, en que el uso del condensador, si bien posible, sería embarazoso, generalmente son de alta presión para simplificar su empleo con la eliminación de aquél y alguna otra ventaja que ofrecen.

23. *Para regularizar* la entrada del vapor en los cuerpos de bomba y el movimiento del émbolo por tanto, se hace uso de mecanismos que se mueven por la mano del maquinista, como en las locomotoras, ó bien del regulador de Watt, como en las máquinas fijas de este nombre.

24. *El regulador* de Watt ó de fuerza centrífuga, denominado péndulo cónico, está formado por dos varillas metálicas, que, terminando por uno de sus extremos en una esfera del mismo ú otro metal, se hallan unidas y articuladas con el extremo de un eje vertical: dichas varillas se articulan también por su parte media con los extremos de otras dos más cortas, que á su vez lo están por sus otros extremos con un anillo cilíndrico ensartado en dicho eje y en disposición de poder deslizarse á lo largo del mismo.

El eje se fija y apoya de modo que se puede poner en movimiento por medio de un engranaje ó de una cuerda sin fin, que le comunica el del eje ó arbol del volante, cuya velocidad depende de la del pistón, y por consiguiente de la del vapor á su entrada en el repartidor. El anillo se halla en comunicación con un sistema de palancas ó bridas destinadas á abrir y cerrar gradualmente la válvula de entrada del vapor en el repartidor, lo que se efectúa del modo siguiente: si la entrada del vapor es tal que el émbolo y, por consiguiente, el arbol ó eje á que trasmite su movimiento giran con mucha velocidad, aumenta la del eje del péndulo cónico y lo mismo la de las esferas con el movimiento circular que adquieren; consiguiente á esto aumenta la fuerza centrífuga de aquéllas, que tratando de alejarlas más y más de su centro de rotación, produce mayor abertura en el ángulo de las varillas que las sostienen, cual lo ejecutan al abrirse las de un paraguas, se eleva el

anillo, se mueve el sistema de palancas ó bridas ligadas á la válvula, y ésta al girar cierra más ó menos y hasta por completo el tubo que conduce el vapor. De esta manera entra menos y hasta ninguna cantidad de aquel, la velocidad del pistón decrece, con ella la del eje, la del regulador, las de las esferas y la fuerza centrífuga de éstas; con lo que el ángulo de las varillas disminuye, desciende el anillo que antes se elevó, é invertido el juego de las palancas ó bridas, vuelve á girar la válvula y se abre de nuevo la entrada del vapor. En este caso entra más cantidad de dicho vapor, se acelera de nuevo el movimiento del pistón y, según lo explicado, vuelve á girar la válvula; de este modo continuando esta alternativa, los aumentos y disminuciones en la entrada del vapor al cuerpo de bomba y en la velocidad del émbolo son tan pequeños y se compensan de tal manera, que aquélla resulta reducida como á su término medio, obteniendo así la uniformidad conveniente en la marcha del referido émbolo.

25. *Aunque las partes* esenciales en toda clase de máquinas de vapor son la caldera ó generador del mismo, su repartidor y la bomba, cuyo émbolo, recibiendo el esfuerzo del vapor, engendra el movimiento alternativo de su vástago, se necesitan además algunos otros elementos para la trasformación de dicho movimiento en el contínuo circular y trasmisión de éste al mecanismo que se haya de mover. Los indicados elementos son: las bielas, manivelas, volantes, etc., de que no es posible dar explicación completa y exacta, sino en cursos y tratados especiales, pero que se pueden dar á conocer fácilmente con las existentes en los modelos de la máquina de Watt, así como su paralelógramo articulado, el balancín y el volante.

26. *El balancín*, en las máquinas que lo tienen, es una palanca de primer género en forma conveniente, que sostenida por su punto medio en disposición de poder girar sobre el mismo, recibe el movimiento rectilíneo del émbolo trasformado en circular alternativo, que, comunicado en orden inverso al otro extremo, se trasmite al eje de rotación ó arbol del volante, convirtiéndose en circular contínuo.

27. *El movimiento* rectilíneo alternativo del vástago del pistón, en la primitiva máquina de Watt, se trasforma en el curvilíneo alternativo del extremo del balancín por medio del paralelógramo articulado denominado también de Watt.

28. *El paralelógramo* articulado de Watt es un mecanismo

ingenioso para que el movimiento alternativo del vástago del pistón se comunique al extremo inmediato del balacín, trasformándose en circular alternativo sin los balances que el primero experimentaría si estuviese inmediatamente articulado con el segundo.

29. *El movimiento* circular alternativo del segundo extremo del balancín se comunica al árbol volante, trasformado en circular continuo ó de rotación, del modo siguiente: dicho extremo se articula al de una biela, que por el opuesto lo está con el de una manivela fija perpendicularmente al árbol del volante ó eje de rotación.

30. *Se da el nombre de biela* ó barra de conexión, á cualquier barra prismática ó cilíndrica, que articulada por sus extremos con elementos diferentes de las máquinas, los relaciona entre sí en disposición de trasmitirse mútuamente sus movimientos.

31. *Manivela* es una pequeña barra, que articulada por un extremo á uno de los de una biela, se fija perpendicularmente á un eje por su otro extremo, con objeto de producir el movimiento rotatorio de aquél, como se efectúa con un manubrio, de quien sólo se diferencia en que éste no se liga á ningún otro elemento, sino que recibe la acción de la mano aplicando ésta á un mango fijo perpendicularmente al extremo libre.

32. *El árbol* del volante ó de la rueda es el cilindro ó torno que sirve para comunicar su movimiento rotatorio á los mecanismos á que, en cualquier industria, se quiera aplicar el vapor ó motor cualquiera de que se haga uso como potencia ó fuerza motriz.

33. *Para regularizar* la marcha del árbol y por consiguiente la de los mecanismos puestos por él en movimiento, se hace uso generalmente del volante.

34. *El volante* es una rueda expresa ó suplida, que girando con el árbol de rotación de las máquinas en que se emplea y en virtud de la conservación de la velocidad adquirida, sirve como para almacenar los excesos de fuerza que aquél pueda recibir sobre la necesaria ó normal, y suplir con ellos los defectos de la misma que puedan ocurrir, á fin de compensar unos con otros y que el movimiento del árbol no se acelere ni retarde, como sucedería sin la existencia de dicha pieza, sino en cantidades tan

pequeñas, que sean casi nulas, viniendo á resultar aquél como verdaderamente uniforme. Los volantes se disponen fijando perpendicularmente al árbol ruedas de gran diámetro y mucho peso, relativamente á la magnitud de aquél, ó atravesándolo con una, dos ó más palancas terminadas en masas pesadas de forma esférica, cónica, cilíndrica ú otra cualquiera que pueda convenir.

Los volantes no aumentan la fuerza de la máquina, como pudiera creerse, sino que por el contrario, por su inercia, resistencia contra el aire, etc. consumen una parte de la fuerza del motor; mas esta pérdida no puede calificarse de inútil, porque evita los inconvenientes de la irregularidad del movimiento y sirve además para el paso de la biela y manivela de los llamados puntos muertos, de cuyas posiciones no podrían salir sin el volante, que continuando su movimiento por la velocidad adquirida, se lo comunica al árbol y éste á la manivela y biela, para volver á recibirlo de éstas en las demás posiciones.

35. *Las bombas* que funcionan al servicio de las máquinas de vapor lo verifican comunicándoseles el movimiento de la misma máquina, ligando generalmente sus vástagos al balancín.

36. *Los excéntricos*, paralelógramos articulados, bielas, manivelas y demás órganos de las máquinas de vapor no tienen siempre, ni en todas ellas, la misma forma y colocación, pues que varían de una manera admirable; debiendo entenderse que las indicaciones de esta lección se refieren principalmente á la máquina fija de Watt, como tipo.

37. *La denominación* de máquinas de tantos caballos significa, que el trabajo que pueden producir respectivamente en un segundo, equivale á un múltiplo del caballo de vapor, expresado por el número que se designe, esto es, el esfuerzo capaz de elevar á un metro 75 kilogramos en un segundo, que es el valor del caballo de vapor, multiplicado por el número de caballos que se diga.

La fuerza de las máquinas en caballos de vapor se determina con la tensión de éste, la superficie de la cara del émbolo y la velocidad del mismo.

II.

38. *Las máquinas de vapor*, atendiendo al uso que de ellas se hace, se clasifican dividiéndolas en fijas y móviles.

39. *Máquinas de vapor fijas* son aquellas que se sitúan en un local determinado, como en las fábricas y talleres, para permanecer siempre en el mismo lugar, comunicando su movimiento á los aparatos ó máquinas de las respectivas industrias: su tipo es la de Watt.

40. *Las máquinas de vapor móviles* son las que producen y trasmiten sus movimientos, variando contínuamente de lugar.

41. *Las máquinas de vapor móviles* se dividen hoy en tres clases, que son: las locomóviles, las de los barcos de vapor y las locomotoras.

42. *Máquinas de vapor locomóviles* son aquellas que producen su trabajo siendo trasportadas de unos puntos á otros de una extensión determinada, cual la de una heredad, como sucede con muchas máquinas agrícolas.

43. *Las máquinas de vapor locomóviles* están montadas sobre una plataforma ó carruaje, que es trasportado por el tiro de alguna caballería y aun por la mano del hombre. Su forma y construcción es tan varia como los usos á que se destinan, por cuya razón es imposible dar una idea general de ellas.

44 *Barcos de vapor* son los que, llevando en su parte interior é inferior máquinas de vapor, resultan impulsados por la fuerza motriz de éste.

45. *Los barcos de vapor* se subdividen en otras dos clases, que son: de ruedas de paletas, y de hélice.

46. *Los primeros* son los que se mueven por medio de dos ruedas de paletas; y los segundos los que reciben su movimiento de una pieza equivalente á un gran tornilllo, cuya tuerca se forma él mismo en el agua al ejecutar su movimiento.

47. *Los barcos de vapor* de ruedas llevan dos de éstas, una á un costado y otra al otro, movidas respectivamente por la correspondiente máquina de vapor y cuyas paletas, chocando y apoyándose sucesivamente sobre la superficie de las aguas, cual grandes y poderosos remos, producen su rotación sobre aquéllas y el avance del buque. En los de hélice la colocación del tornillo es tal, que sumergido en el agua y penetrando su eje al interior del buque por la abertura convenientemente dispuesta al objeto, es puesto en rotación por la máquina de vapor correspon-

diente, de modo que, al girar, las espiras forman dentro del agua su correspondiente tuerca, y al tratar de avanzar cada cual de ellas en cada revolución del tornillo, lo efectúa el buque próximamente cuanto es la longitud del paso de la rosca.

48. *Locomotoras* son las máquinas de vapor de alta presión que se usan en los ferrocarriles, cuya enorme caldera tubulada, hogar y demás accesorios, montados sobre una plataforma, se trasladan con ésta.

Llevan en sus costados dos cuerpos de bomba horizontales, cuyos émbolos, movidos por el vapor, comunican el movimiento alternativo rectilíneo de sus vástagos, trasformado en circular continuo ó de rotación, á un par de las ruedas sobre que se apoya dicha plataforma; las cuales avanzando por causa del rozamiento sobre los rails ó carriles de hierro, impelen á un eje común y arrastran la especie de gran carruaje que forma el todo, el cual lleva tras sí otro que conduce el agua, combustible y útiles necesarios para el servicio de la máquina: á este segundo carruaje, denominado tender, se liga la serie de los que forman los convoyes de las diferentes clases que circulan en las vías férreas.

49. *Los elementos* más importantes de las locomotoras son: sus calderas tubuladas y las ruedas motrices; pues aunque todos interesan en esta clase de máquinas, como en las demás, sin embargo, la forma, tamaño, disposición y colocación de dichas ruedas han sido y son problemas que han ocupado muy sériamente á los mecánicos, y lo mismo el de los frenos.

50. *El movimiento* de las locomotoras depende del rozamiento de las ruedas motrices contra los rails ó carriles férreos de la vía, sin el cual aquéllas girarían al rededor del eje sobre sí mismas sin engendrar movimiento de traslación.

51. *Las ruedas* de las locomotoras no son iguales en número, radio ni colocación, por variar de unas á otras según los diferentes sistemas que hay de ellas, y nunca juegan de igual manera; por cuya razón, aunque todas contribuyan al movimiento, unas son las que realmente lo engendran, y por eso se las denomina motrices, y las demás no hacen otra cosa que ayudar y favorecer el movimiento de traslación del todo, trasformando el de arrastre, que resultaría sin ellas, en el de rotación conveniente.

52. *Las ruedas* motrices son las que en cada costado reciben

inmediatamente el movimiento del respectivo émbolo, trasformado en rotatorio por el intermedio de la correspondiente biela y de la manivela y excéntrico ligados á ella; pues, al avanzar, trasladan con ellas á su eje, que comunica su movimiento á todo el carruaje y á los de las otras ruedas, las cuales, rodando, facilitan el movimiento, tanto más, si el de las motrices se comunica directamente á las restantes, ligando convenientemente unas á otras con las bielas, manivelas y excéntricos necesarios.

53. *Las ruedas* que llevan las locomotoras además de las motrices, sirven, como las de todo carruaje, para facilitar el movimiento de arrastre, trasformando el gran rozamiento de primera especie en el correspondiente de segunda.

54. *Se da el nombre* de calderas ó generadores de vapor á las vasijas metálicas y cerradas, de paredes gruesas y de forma y tamaños variados según las clases de máquinas en que se hayan de usar: sirven para hacer hervir el agua á fin de producir el vapor, que salido de ellas y dirigido convenientemente á los respectivos repartidores, va á los cuerpos de bomba para mover sus émbolos.

55. *Los generadores de vapor*, lo mismo que los cilindros de los cuerpos de bomba, ofrecen formas y colocación tan diferentes, que no es posible ni siquiera indicarlas; pero debe saberse que no son lo mismo las calderas de una máquina fija que las de una locomotora, y que los cilindros de los cuerpos de bomba, sobre poder estar colocados verticalmente, en posición horizontal ó inclinada, pueden ser fijos, oscilantes y aun rotatorios.

56. *Se da el nombre* de hervidores de las calderas ó generadores de vapor al sistema de tubos que sirven para facilitar el calentamiento y ebullición del agua, ya porque conteniendo pequeñas cantidades de dicho líquido, éstas se calientan prontamente y con sus corrientes ascendentes trasportan el calor del foco al resto de la masa de agua con quien comunican, ya porque extendiéndose en las calderas de las locomotoras á lo largo de ellas, desde el hogar á la caja de humo, y dejando pasar éste por su interior, se forma una gran superficie metálica calentada y en contacto con el agua por muchos más puntos que los de las paredes, en cuya consecuencia se produce un calentamiento más pronto.

57. *Las calderas* llevan, como accesorios, manómetros, vál-

vulas de seguridad, indicadores de nivel, etc., que varían de unas máquinas á otras según su clase; tubos de toma de agua y de salida del vapor, y los silbatos.

58. *Los manómetros* que llevan las calderas de vapor pueden ser de aire libre, de aire comprimido ó de los de Bourdon, si bien son éstos los más usados: sirven para indicar continuamente el estado de tensión del vapor en el interior de las calderas.

59. Las válvulas de seguridad de los generadores de vapor pueden ser de peso, fusibles y de resorte; cuya disposición es fácil de conocer con el modelo ó figura correspondiente.

60. *Las máquinas* de vapor, donde el calor se trasforma en trabajo mecánico, y por cuya razón se suelen denominar también *máquinas térmicas*, aplicadas á la industria, á la navegación, á los ferrocarriles y á la agricultura, en poco más de dos siglos, desde Papín acá, han trasformado los usos y costumbres de la sociedad y estructura de las ciencias de tal suerte, que sin su aparición hubieran sido necesarios, en caso de ser posible, muchos siglos más para equivalentes resultados.

Su estudio, el del material, construcción, administración y dirección de los ferrocarriles, así como todo lo relativo á los generadores de vapor, conservación de los mismos, causas de sus explosiones, máquinas de aire caliente, motores de gas, sistemas de calefacción al vapor, etc. es un conjunto más que suficiente para constituir un ramo especial de ingenieros.

METEOROLOGÍA DEL CALÓRICO.

LECCIÓN LXIII.

Concepto de la Meteorología y de los metéoros.—Clasificación de los mismos en general.—Metéoros calóricos.—División de su estudio.—Variaciones de temperatura en las capas del aire insistentes sobre la superficie terrestre.

1.ª *Meteorología* es la ciencia, aplicación de la Física, que estudia los metéoros, enseñando á observarlos y á comparar los resultados que se obtienen por su observación, á fin de hallar, hasta donde sea dable, las leyes con que se verifican y las consecuen-

cias á que éstas puedan conducir respecto de los climas físicos y predicción del tiempo.

2.ª *Metéoros* son los fenómenos ó cambios que se observan en la atmósfera, en la superficie terrestre y bajo de ésta, hasta cierta profundidad variable, que son producidos por la acción de los agentes que se denominaron flúidos imponderados.

3.ª *Los metéoros* se suelen dividir en caloríficos, luminosos, eléctricos y magnéticos, según el agente de quien se consideran más inmediatamente dependientes. Los caloríficos son los que dependen más directamente del calor, esto es, de las variaciones de temperatura en el globo terráqueo y su atmósfera, así como de las variaciones de presión de ésta. Luminosos los que, presentándose acompañados de luz, se consideran dependientes principalmente del lumínico. Eléctricos los que son producidos por la electricidad ó que dependen principalmente de ella. Magnéticos los producidos por el magnetismo, esto es, que dependen principalmente de él ó que se hallan relacionados con el mismo.

4.ª *No porque un metéoro* se denomine eléctrico, luminoso, etc. se ha de entender que depende exclusivamente de uno solo de dichos agentes, sino que se le considera más directamente relacionado con el que se nombra; pues, en realidad, los eléctricos se pueden considerar bajo un aspecto cómo luminosos, y bajo otro como caloríficos y hasta magnéticos: lo mismo puede decirse respecto de los demás, pues que estando la tierra y su atmósfera sometida constantemente á la acción simultánea de los cuatro agentes citados, como lo están por otra parte á la gravitación, claro es que todo metéoro habrá de estar más ó menos relacionado con todos aquellos á la vez.

5.ª *En los meteoros caloricos* se estudia un considerable número de hechos dependientes de las variaciones de intensidad con que el calor actúa sobre el globo y su atmósfera, que por lo mismo se dan á conocer al terminar el estudio del calórico como parte ó complemento del mismo.

6.ª *El estudio* de los metéoros caloricos se puede dividir en las tres partes siguientes: 1.ª Variaciones de temperatura en la capa inferior de la atmósfera sobre la superficie terrestre y marcha de la misma hasta los límites de la atmósfera, así como en el interior de

la tierra bajo la superficie de la misma. 2.ª Metéoros aéreos, y presión atmosférica, por estar las causas de que ésta depende relacionada con la temperatura. 3.ª Higometría y meteoros acuosos.

7.ª *La distribución* del calor en la superficie é interior de la tierra, así como en la atmósfera, se comprende fácilmente que no debe ser igual; pero el estudio de esta cuestión es más difícil de lo que á primera vista pudiera parecer, pues aunque se hayan reunido muchos datos acerca de ella, no son tantos, ni tan perfectos cual conviene y es necesario.

8.ª *Las diferencias* resultantes en la distribución del calor de la tierra y su atmósfera se han hallado por la determinación y comparación de las temperaturas medias, determinadas en los diferentes puntos de la superficie del globo, en sus capas inferiores de más ó menos profundidad, y en las de la atmósfera de más ó menos altura.

9.ª *Temperatura media* de un punto de la tierra, es, no un número absoluto, sino el *término medio de los números correspondientes á las observaciones termométricas hechas en el trascurso de varios años*, que será tanto más significativo cuanto mayor sea el número de años de observarción.

Para determinar la *temperatura media* de un punto de la tierra, se procede del modo siguiente: se calcula la media de cada día, *media diaria ó diurna*, dividiendo la suma de los números expresivos de las respectivas temperaturas observadas en diferentes horas del día, por el número de observaciones; asimismo la de cada mes, *media mensual*, dividiendo la suma de las medias diurnas por el número de días del mismo: después la de cada año, *media anual*, dividiendo la suma de las medias mensuales por 12, número de meses del mismo, y finalmente la media definitiva, *temperatura del punto*, dividiendo la suma de las medias anuales, correspondientes á los diversos años de observación, por el número de éstos.

10. *Para determinar* la media diurna debería practicarse por lo menos una observación en cada hora del día, ó sean 24 durante el mismo; pero lo más que se acostumbra es hacer una cada tres horas, ó sean 8 por día; ya una de seis horas, ó sean 4 al día; bien dos solamente á las 9 de la mañana y 3 de la tarde, ó tomando la máxima y mínima con los termómetros de este nombre ó con el termometrógrafo.

11. *La temperatura* media del día, á falta de más observaciones, puede obtenerse más ó menos próximamente con observar el termómetro una sola vez al mediodía, que es cuando se ha visto viene á tener lugar la temperatura media diurna.

Se suele hacer solamente dos observaciones al día, una á las 9 de la mañana y otra á las 3 de la tarde, porque las temperaturas en tales horas vienen á estar equidistantes de la media y por lo mismo su semisuma ó término medio debe dar aquélla con mucha aproximación.

12. *Si la temperatura* media diurna se hallase por la semisuma de la máxima y mínima que dan los termómetros de estas denominaciones ó el termometrógrafo, serviría para hallar la medias mensuales y anuales y por consiguiente la media final del punto de observación, pero no para formar idea de la marcha y alternativas, más ó menos considerables, de la temperatura durante el año, que es lo que más distingue los climas físicos.

13. *La temperatura* máxima del día tiene lugar próximamente á las 3 de la tarde, en el verano, y entre 1 y 2 en el invierno; la mínima resulta á los primeros crepúsculos de la mañana y aun antes, si bien cambia algo y aun mucho con la localidad y estación.

14. *Las principales* causas que influyen en la temperatura media de un punto y en las diurnas mensuales y anuales de las que aquéllas dependen, son: además de la diferente inclinación de los rayos solares, los vientos reinantes, las lluvias, la distancia y altura del punto en cuestión respecto del nivel del mar; su latitud, dirección y disposición de la montañas, y hasta la naturaleza y cultivo del terreno.

15. *La temperatura* media de unos puntos á otros del globo desde el ecuador al polo, si bien decrece gradualmente, no es con una ley fija, ni mucho menos igual á la de la distribución de la luz; toda vez que pueblos del mismo paralelo, ó de igual clima astronómico, no tienen igual temperatura media, así como los que la tienen igual no siempre se hallan en el mismo paralelo de latitud.

En la zona tórrida la temperatura es casi igual en las 24 horas del día y en todos los meses con muy cortas diferencias; en las zonas templadas las temperaturas, además de ir siendo menores cuanto más se

avanza hacia los respectivos círculos polares, son muy diferentes del día á la noche y de unos meses á otros, como sucede con la luz, ó sea respecto de la duración de días y noches; por último, en las regiones polares ó zonas glaciales las diferencias entre las temperaturas del día á la noche y de unos meses á otros son mucho mayores.

16. *La temperatura* media de cada punto no sólo varía de unos á otros, sino que lo hace también todos los meses con notables diferencias.

17. *El año meteorológico,* ó de los meteorologistas, se considera dividido en los mismos 12 meses que el solar; pero las estaciones de invierno, primavera, verano ó estío, y otoño en que se divide como aquél, no comprenden los mismos meses.

18. *El invierno* comprende los meses de Diciembre, Enero y Febrero, empezando el año meteorológico por el primero. La primavera comprende los meses de Marzo, Abril y Mayo. El verano ó estío se compone de los meses de Junio, Julio y Agosto. El otoño consta de los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre.

19. *La temperatura* mínima, mínimum de calor ó máximum de frío, de todo el año viene á resultar hacia el 15 de Enero, medio del invierno, y la máxima, ó máximum de calor, resulta hacia el 15 de Julio ó medio del verano.

20. *La media anual* viene á ser la media de la primavera y del otoño, que resultan próximamente iguales y tienen lugar hacia mediados de Abril y Octubre.

21. *La marcha* de la temperatura no es igual en todos los puntos de un mismo paralelo, ni tampoco diferente de los de unos á otros; pues hay pueblos que situados en el mismo paralelo tienen diferente temperatura media, y otros, por el contrario, que estando situados en paralelos diferentes la tienen igual.

22. *Líneas isotermas* son las series de puntos que tienen una misma temperatura media anual y que, señalados en el mapamundi, dan líneas más ó menos irregulares; líneas isóteres ó estivales son las formadas por los puntos de igual temperatura media de verano, y líneas isoquímonas ó invernales las formadas por los puntos de igual temperatura media de invierno.

23. *Las líneas isotermas* son siempre líneas más ó menos irregulares, que no coinciden con los paralelos de latitud.

24. *Se da el nombre* de ecuador termal á la línea formada por los puntos ó pueblos que tienen la mayor temperatura media anual: el ecuador termal no coincide con el ecuador geográfico ó astronómico, pues se cortan en puntos que varían con el tiempo.

25. *Polo de frío* no es un punto fijo y conocido de los del globo, sino el de la menor temperatura media en cada hemisferio.

26. *No es posible* asegurar si en cada hemisferio habrá un solo polo, si dos ó más, por la dificultad de llegar hasta los de la tierra y aun á sus inmediaciones, por cuya razón, que haya uno solo ó que haya dos polos de frío en cada hemisferio, como se cree, tampoco es posible determinar su situación.

27. *La temperatura* mínima de los polos, así como la de la región de las nieves perpetuas, no es conocida con exactitud, si bien se calcula debe ser de —57° próximamente.

28. *En Europa* se puede considerar que el decremento de temperatura hacia los polos viene á ser de 1° por cada 288 kilómetros; siendo de advertir que las irregularidades en la situación de las líneas isotermas, isóteres é isoquímonas no son tan considerables en la superficie de los mares y hacia las costas como en el interior de los continentes; por cuya razón, al clasificar los climas, se suele emplear la denominación de climas marinos y continentales.

LECCIÓN LXIV.

Temperatura de la atmósfera en sus diferentes alturas.—Id. en las diferentes profundidades del globo terrestre.—Orígenes del calor.

1.ª *Observada* la temperatura de las capas de la atmósfera, resulta que aquélla es muy diferente sobre un mismo punto, pueblo ó país, según se toma á mayor ó menor altura.

2.ª *La temperatura* de las capas del aire á diferentes alturas, sobre cualquier punto dado, decrece generalmente desde las inferiores á las superiores.

3.ª *La temperatura* de las capas de la atmósfera decrece por regla general desde las inferiores á las superiores, pero no verificándose los decrementos con regularidad y precisión, no es posible fijar á éstos una ley constante.

4.ª *Aunque no sea posible* establecer una ley fija y constante á los decrementos de temperatura en las capas de la atmósfera, relativamente á sus alturas, no pasando éstas de 3000 metros, se puede admitir que en nuestros climas aquélla decrece, por término medio, 1° por cada 180 metros de elevación; pero más allá de la indicada elevación, las variaciones de temperatura son ya menores hasta hacerse casi uniforme en las altas regiones.

5.ª *La temperatura* en el límite de la atmósfera se calcula debe resultar á — 60°, y la de los espacios planetarios, según calculó Puillet, debe ser de—142°.

6.ª *Se da el nombre* de región de las nieves perpetuas á las capas superiores de la atmósfera en que, por su constante y considerable baja temperatura, los vapores que á ellas llegan se congelan, depositándose convertidos en nieve sobre las cúspides de las montañas, que por su elevación alcanzan tales alturas y se ven cubiertas de nieve constantemente.

Límite de la región de las nieves perpetuas es la altura ó capa atmosférica sobre que aparece la nieve cubriendo constantemente las montañas, cuyas cimas penetran y exceden dicha altura.

7.ª *La región* de las nieves perpetuas existe en todas las zonas, como consecuencia del decremento en la temperatura de la atmósfera á medida del aumento en la altura de sus capas.

8.ª *El límite* de la región de las nieves perpetuas, ó sea el plano desde donde éstas empiezan, no se halla á igual altura en todas las zonas ó países, ni es el mismo en realidad en todas las estaciones, por cuya razón hay que considerar dos límites, uno de invierno y otro de verano: El primero es el plano hasta donde se extiende permanentemente la nieve en invierno, y el segundo el plano hasta donde subsisten también durante el verano.

El límite que se considera como fijo y verdadero es el de verano.

No se puede fijar tampoco la ley con que varía el límite de la región de las nieves perpetuas de unas zonas á otras, pero por regla general se halla más bajo según se va hacia los polos, y por consiguiente se eleva á medida que se va hacia el ecuador.

9.ª *El límite* de la región de las nieves perpetuas no es igual tampoco en cada zona, ó paralelo, pues sin salir de una misma ó de uno de ellos resulta á desiguales alturas, por influir en él las

mismas circunstancias y otras análogas ó las de que depende la temperatura media de cada punto en el mismo paralelo.

10. *La temperatura* de la superficie del mar, ó más bien de las capas atmosféricas inferiores que insisten sobre ella, nunca es igual á la resultante en la de los continentes, ó en las capas atmosféricas que insisten sobre la superficie de los mismos, aun tratándose de una misma zona; pues calentándose de día la superficie continental más que la líquida del mar, la temperatura que toman las capas de aire, que insisten sobre la primera, es mayor que la de las que se hallan sobre la segunda, y de noche al contrario, por la mayor radiación y enfriamiento en la de la tierra. De esto resulta que, en general, la temperatura es más baja sobre la superficie del mar que sobre la continental, de día, y en orden inverso por la noche, y que sobre la superficie de los mares las variaciones de temperatura y sus oscilaciones son menores que sobre la superficie de los continentes.

11. *Observada* la temperatura de la parte sólida de la tierra á diferentes profundidades, y lo mismo la de la parte líquida ó de los mares, tanto en uno como en otro caso resultan diferencias muy notables, que si bien tampoco se sujetan á reglas fijas y sencillas, conducen á consecuencias importantes, como las siguientes: 1.ª, que entre la capa superficial de la tierra y la llamada de temperatura invariable, las variaciones del termómetro están ligadas á las de la superficie terrestre, ó sea á la marcha del calor según la variación de días y noches y de las estaciones; y 2.ª, que pasada cierta distancia no alcanzan ya las variaciones diurnas, pero sí las estacionales y anuales.

12. *Se da el nombre* de capa invariable de temperatura, á la que existe en cada punto á cierta profundidad con una temperatura siempre igual, como límite más allá del cual no alcanza respectivamente la influencia de las variaciones diurnas, estacionales, ni anuales de la temperatura exterior ó de la atmósfera, ni la del calor central ó interior de la tierra.

13. La capa de temperatura invariable no se halla siempre á igual profundidad de la superficie de la tierra ó capa exterior, sino que aquella varía de unas zonas á otras, así como de unos puntos á otros de las mismas y hasta de un mismo paralelo: en las

regiones ecuatoriales se halla á pocos metros, 2, 3, etc.; en Alemania entre 6 y 10, y en Francia entre 20 y 30.

14. *La temperatura* de la capa invariable no es igual tampoco en todos los casos, pues está ligada á la temperatura media del aire en el punto á que aquélla corresponde, de modo que viene á ser igual á la misma.

Esto puede facilitar la determinación de la temperatura media de un punto cualquiera, á falta de observaciones previas, ó sin necesidad de establecerlas; pues haciendo las indispensables para obtener la de la capa invariable, la hallada viene á ser la que resultaría en el trascurso de algunos años de observaciones.

La temperatura de un pozo algo profundo se puede considerar, á falta de otros datos, como muy aproximada á la media del punto en cuestión, y como una primera aproximación.

15. *En las capas* comprendidas entre la superficie exterior y la capa invariable, las variaciones de la temperatura no siguen una marcha constante, pues dependiendo de las influencias exteriores, á medida que éstas cambian con las estaciones del año, también se cambia é invierte aquella marcha; mas á medida que se profundiza bajo la capa invariable, la temperatura crece más y más.

16. *El aumento* de temperatura que resulta á medida que se avanza hacia el interior de la tierra se ha observado sigue cierta ley, cual es, que por cada 30 á 33 metros de aumento en la profundidad, bajo la capa invariable, la temperatura aumenta un grado.

17. *Este aumento*, aunque parece debe continuar, tal vez no suceda así, pues los datos en que se apoya la deducción de dicha ley, son pocos y tomados á las profundidades hasta donde se ha llegado á penetrar, las cuales, si bien son considerables bajo cierto punto de vista, son bien pequeñas relativamente á la gran longitud del radio terrestre; siendo probable que aquel aumento crezca con las profundidades, así como el que llegando á cierta elevada temperatura, ésta siga igual aunque más se profundice.

El aumento de temperatura con el aumento de profundidad de las capas terrestres aunque se haya atribuido al calor central de la tierra, considerando estar ya el núcleo de ésta en estado de fusión, según la hipótesis denominada del calor central ó de los vulcanistas, hoy tal

idea no es ya tan admitida, pues aunque parezca comprobada por la existencia de los volcanes y de las aguas termales, según los resultados de los estudios geológicos y las nuevas teorías modernas de la Física y de la Química, dichos fenómenos, lo mismo que los ruidos subterráneos, terremotos, levantamiento y hundimiento de los terrenos, etc. se pueden explicar con otras hipótesis, quizás más aceptables, que, aunque de pronto puedan parecer oscuras y hasta contradictorias, tal vez las esclarezcan en tiempo más ó menos próximo ó lejano los progresos de la primitiva Meteorología y la del interior de la tierra. Ésta aunque naciente, se suele denominar *Meteorología endógena*, cuyos resultados no han de ser menos notables y provechosos que los que ofrece ya la Meteorología atmosférica; lo que es de esperar teniendo en cuenta la variada estructura de la tierra, la tanta heterogeneidad y variada colocación de sus capas, las grandes compresiones y dilataciones en la costra terrestre por las variaciones de la temperatura, que alcanza tantas diferencias desde la zona tórrida hasta las zonas glaciales; las grandes y múltiples cavidades, depósitos y corrientes de aguas y de aire en su interior; las corrientes eléctricas y acumulaciones tal vez de electricidad en ciertas capas ó regiones, como en las nubes tempestuosas; reacciones químicas y variada combinación de tantos factores, y hasta la recíproca acción entre éstos y los fenomenos meteorológicos exteriores.

18. *Se da el nombre* de aguas termales á las que, al salir del interior á la superficie de la tierra, resultan con una temperatura superior á la media, esto es, de 20° en adelante.

19. *La temperatura* elevada de las aguas termales se puede explicar, ya por el gran calor de las capas profundas por donde puede pasar y calentarse, ya por efecto de acciones químicas, que se pueden desenvolver por el contacto del agua con ciertas sustancias al pasar por algunos terrenos, ó por el concurso de ambas causas.

20. *El que hallemos* fría en verano y templada en invierno el agua de los pozos algo profundos, se explica fácilmente sabida la existencia de la llamada capa de temperatura invariable; pues siendo ésta próximamente igual á la media del aire, claro es que al pasar de la de éste á la del agua del pozo, que tiene la de la capa invariable, en invierno cuando la temperatura es menor que la media será pasar de una á otra superior, y de aquí el que encontremos el agua más caliente que la superficie de nuestro cuerpo que está impresionada por dicha temperatura exterior inferior:

por igual razón, aunque en orden inverso, la encontramos fría en verano.

21. *De todos los orígenes ó manantiales de calor*, el más influyente en la temperatura del aire y de la superficie terrestre es el sol, pues los demás son todos de poco valor en comparación con la grande intensidad del calor solar.

22. *Todas las variaciones de la temperatura* y su influencia en los animales y plantas, tanto del día á la noche como de unos meses á otros y de unas estaciones á otras, podemos considerar que dependen, casi exclusivamente, del calor solar y de los cambios de la intensidad de éste por razón de la distancia y oblicuidad de sus rayos.

23. *Aunque los animales* experimentan sensaciones de más ó menos frío y calor por los cambios de la temperatura del aire en que de continuo se impresionan, como sucede igualmente á las plantas, el calor interior que poseen es independiente del solar, pues se elabora en su interior, si puede decirse así, por sus acciones fisiológicas, que engendran el calor animal.

24. *El origen de éste* no es otro que las acciones físico-químico-vitales en el movimiento, respiración, circulación, digestión y nutrición.

El hombre, como los demás animales mamíferos y las aves, en estado de salud, conserva dentro de sí una temperatura constante superior á la media de la atmósfera y que en los primeros viene á ser de 36 á 40°, y en las aves de 40 á 44°, por cuya razón se les denomina animales hematermos.

MECCIÓN LXV.

Metéoros aéreos.— Causas que los producen y modo de originarse en cada caso.—Clasificación de los vientos por su dirección, por su velocidad y por la ley de tiempos y lugares en que reinan. — Presión atmosférica.

1.ª *Metéoros aéreos* son los vientos y sus variedades, cuyo tratado se suele denominar *Anemología*.

2.ª *Vientos* son las columnas de aire que, con direcciones y velocidades muy varias, se trasladan de unas regiones á otras de la atmósfera en virtud del desquilibrio que con frecuencia se pro-

duce en los diferentes puntos de la misma por los cambios de la temperatura y otras causas.

3.ª *Las causas productoras* de los vientos, prescindiendo de circunstancias especiales que pueden presentar por intervención de la electricidad, sea de la atmósfera ó de la tierra, se pueden reducir á las siguientes: 1.ª La dilatación de una masa de aire, correspondiente á una extensión más ó menos grande de la atmósfera, por un aumento de su temperatura sobre la de las regiones que la rodean; 2.ª La contracción de una masa de aire correspondiente á una extensión de la atmosfera por considerable y repentino enfriamiento, ó por la condensación y liquefacción ó solidificación de una gran cantidad del vapor en aquélla contenido; 3.ª Por el impulso resultante en la composición de las respectivas fuerzas de dos ó más vientos concurrentes.

4.ª *Los vientos*, según las causas que los producen, pueden resultar por impulsión ó insuflación y por aspiración. En el primer caso su propagación es en el mismo sentido de su dirección, y en el segundo en el sentido opuesto.

5.ª *Los vientos por impulsión* resultan cuando dilatándose la masa de aire de una región, por elevarse su temperatura más que la de las circunvecinas, se establece corriente ascendente según el modo de calentarse los líquidos y gases, en cuyo caso las masas ascendentes van impeliendo á las que encuentran delante de sí, y lo mismo sucede cuando se encuentran dos corrientes de aire que concurren hacia una misma región, pues componiéndose sus impulsos, resulta uno nuevo, en conformidad al teorema del paralelógramo de fuerzas; y en ambos casos al entrar dichas masas en las regiones superiores, se extienden ó comunican su movimiento en direcciones laterales, produciendo corrientes secundarias, también por impulsión, que se van propagando en la misma dirección.

6.ª *Los vientos por aspiración* se originan cuando en una región de la atmósfera se produce un repentino enfriamiento ó alguna gran condensación del vapor en ella contenido, ó la reducción del mismo á líquido ó sólido en forma de lluvia ó nevada. En estos casos, resultando enrarecimiento del aire y disminución de presión, las masas inmediatas, por efecto de la mayor tensión

que les resulta, se dirigen hacia dicha región, y la propagación ó principio del movimiento de las capas de aire se va efectuando por la parte opuesta de aquélla á que se traslada, esto es, que la propagación resulta en sentido opuesto á la dirección.

7.ª *También resultan* vientos por aspiración cuando al dilatarse el aire en una región y elevarse á otra, afluye el de las inmediatas á ocupar el vacío resultante en la primera; así es que al originarse vientos por impulsión, resultan á la vez otros de aspiración y la producción de unos origina otros, de lo que resulta su gran variedad.

8.ª *Los vientos* se clasifican por su dirección, su velocidad y tiempos y lugares en que se originan.

9.ª *Los vientos* por razón de su dirección se denominan con los nombres de los cuatro puntos cardinales de hacia donde vienen y con los de las direcciones intermedias, esto es, con los 32 rumbos de la rosa de los vientos, llamada también rosa náutica por su gran aplicación en la navegación.

10. *Los rumbos* de la rosa náutica se denominan en el orden siguiente: 1.° Norte, 2.° Sur, 3.° Este, 4.° Oeste y se escriben respectivamente con las letras N, S, E, y O, que constituyen sus respectivos signos, y los demás con los nombres de los dos rumbos imediatos adyacentes por su orden de antelación, formando sus signos con los correspondientes á los nombres componentes del que se deba expresar.

11. *Rosa de los vientos* es la figura trazada sobre un círculo con las 32 direcciones que se considera á los mismos, llamadas rumbos y que se determinan por medio de los *anemoscopios*.

12. *Anemoscopios* son todos los aparatos que sirven para observar y determinar la dirección del viento, siendo la veleta el más sencillo de ellos.

13. *Los vientos* por razón de su velocidad se clasifican de tan variada manera, que no es fácil una clasificación determinada; sin embargo, se puede tener presente la siguiente notación:

Nombre de los vientos.	Velocidad por segundo en metros.	Velocidad por hora en leguas.	Nombre de los vientos.	Velocidad por segundo en metros.	Velocidad por hora en leguas.
Viento apenas sensible	0,m 5	0,l 40	Viento muy fuerte	20,m 0	16,l 20
Viento sensible	1, 0	0, 81	De tempestad	22, 5	17, 35
Viento moderado	2, 0	1, 62	De gran tempestad	27, 5	22, 04
Viento poco fuerte	5, 5	4, 45	Huracán	36, 0	29, 33
Viento fuerte	10, 0	8, 16	Huracán violento	45, 0	36, 62

14. *Los marinos* denominan *viento fresco* al que corre por segundo 10 metros, *bastante fresco* si 15, *muy fresco* si 20, *tempestuoso* cuando corre por segundo de 25 á 30 metros y huracán si alcanza su velocidad de 35 á 45 metros: si el huracán tiene la velocidad de 45 ó más metros, no sólo es capaz de arrancar y trasportar árboles y objetos muy corpulentos, sino que también puede arruinar sólidos edificios.

15. *Anemómetros* son aparatos que sirven para la determinación de la fuerza y velocidad de los vientos. Tienen como los anemoscopios variadas formas y disposiciones, con los que no se debe confundirlos y en cuyos pormenores no sería oportuno extenderse.

16. *Los vientos*, según los tiempos y regiones donde reinan, se suelen dividir en regulares é irregulares ó accidentales. Los regulares son los que corren en determinados tiempos y lugares ó sea con sujeción á ciertas leyes.

17. *Los vientos regulares* se pueden subdividir en constantes y periódicos. Son constantes los que reinan de continuo en las mismas regiones, los cuales se comprenden bajo la denominación general de *vientos alisios*. Son periódicos los que sólo se producen en épocas determinadas.

18. *Los vientos alisios* se observan lejos de las costas al rededor del Ecuador hasta 30° de latitud á uno y otro lado del mismo, soplando de NE. al SO. en el hemisferio boreal, y del SE. al NO. en el austral.

Las causas de los vientos alisios consisten en la temperatura elevada y casi constante de las regiones intertropicales, á la inversa de la de las zonas glaciales, pues elevándose el aire en las primeras de dichas

regiones por la mayor temperatura, afluye hacia ellas el de las regiones más frías de ambos hemisferios, de modo que en las altas regiones se producen corrientes por impulsión en sentido opuesto á las que siguen las corrientes inferiores que resultan por aspiración hacia la zona tórrida; cuyas direcciones son las indicadas NE. á SO. y SE. á NO., y no exactamente las de N. á S. ni de S. á N. por combinarse sus velocidades con las diferentes que se les comunican en los distintos paralelos por su movimiento común con la tierra. Las corrientes superiores se denominan vientos contra-alisios, ó alisio superior.

19. *La constancia* y dirección de los alisios produce la región llamada de las *calmas ecuatoriales*, que es la zona donde, encontrándose los alisios, no se percibe más que un viento fijo del E. con intensidad muy pequeña, á causa de que la resultante de las corrientes horizontales de aquéllos es contrariada por la columna de aire ascendente al calentarse fuertemente en dicha zona; cuya calma, sin embargo, se interrumpe por las frecuentes tempestades que en aquellas regiones se originan. También resulta otra región llamada de las calmas *tropicales*, aunque no tan bien caracterizada como la de las ecuatoriales: se origina por consecuencia de la marcha de los contra-alisios y su inclinación en sentido vertical hasta aproximarse á la superficie de la tierra.

La explicación de los alisios con todos sus pormenores y debida exactitud, así como las corrientes oceánicas, esto es, de las aguas de los grandes mares cual caudalosos ríos, sobre todo la denominada *Gulf-Stream*, que quiere decir corriente del golfo, no es posible en estas lecciones; pero es fácil adquirir mayor instrucción en esta materia, por estar ya tratada en las nociones de Meteorología de obras elementales de bastante extensión, y sobre todo, en tratados especiales acerca de los vientos y su rotación según la ley de Dove, etc., que es quizá lo mejor conocido y explicado en Meteorología por los muchos datos recogidos desde muy antiguo por los marinos.

20. *Se consideran* como vientos periódicos las brisas, monzones y el chansin ó khamsin de Egipto.

21. *Las brisas* son vientos suaves que se establecen del mar á la tierra durante ciertas horas del día, en cuyo caso se denominan brisas de mar y, viceversa, de la tierra al mar al principio de la noche, por cuya razón se las suele llamar brisas de tierra.

22. *Las brisas de mar* se producen en virtud de la mayor elevación de temperatura en las capas de aire insistentes sobre el

suelo respecto á las en contacto con la superficie del mar, y las de tierra por la inversión de aquellas circunstancias después que se pone el sol.

Á la proximidad de las montañas se producen también brisas semejantes á las de mar por razones análogas, denominándose *brisas de montaña* las corrientes desde aquéllas á la tierra á ciertas horas del día, y de tierra las que resultan á la inversa por la noche, cuya explicación es semejante á la de las brisas de mar.

23. *Vientos monzones* son los que soplan en los grandes golfos y en la zona tórrida que atraviesan oblicuamente, dirigiéndose alternativamente del hemisferio más frío al más caliente, durante seis meses; lo que resulta en consonancia con la inversión de las estaciones de un hemisferio á otro.

24. *Chansin ó khamsin* es un viento que sopla en Egipto con cierta regularidad unos cincuenta días desde Abril á Junio.

25. *Las vientos irregulares* son los que resultan sin ley ó regla fija, los cuales, como es fácil comprender, son tantos y de tan variadas denominaciones que no es posible enumerarlos; sin embargo, hay algunos de circunstancias especiales que parece oportuno dar los á conocer, como son: 1.° El simoum, samum ó semum, que quiere decir venenoso, es el viento sumamente caliente y seco que sopla en el Sur del desierto de Sahara, y el harmatan que semejantemente se observa en Guinea; 2.° Los etesianos, que suelen reinar en el Mediterráneo, soplando de N. á S. en verano y viceversa en invierno; 3.° El siroco y solano, vientos calientes que soplan algunos días, el primero en Italia, y en España el segundo.

Semejantemente reinan ciertos vientos en localidades determinadas con algunas condiciones especiales, por lo que suelen tomar denominaciones especiales también, como las de cierzo, mistral, viento gallego, levante, leveche, terral, etc.

Hay ademas vientos que, aunque accidentales, ejecutan sus movímientos con cierta fijeza en sus giros, fuerzas y velocidades, cuyos pormenores y leyes que en ellos se observan dan lugar á considerar en ellos cierto carácter de regularldad: tales son los ciclones.

26. *Se da el nombre de ciclones* á las tormentas en torbellino, imponente metéoro formado por grandes masas de aire que, animadas de un movimiento giratorio sumamente rápido al rededor de un eje vertical, se trasladan á distancias considerables de la

región de las *calmas ecuatoriales*, donde se originan, llegando y extendiéndose, algunas veces, hasta las zonas templadas: reconocen por causa un gran desquilibrio en la velocidad de los alisios, que convergen de uno á otro desde los dos hemisferios.

El diámetro del ciclón, que en su principio suele ser de 250 á 400 kilómetros, aumenta progresivamente según avanza, llegando á ser en las altas latitudes hasta de 2000 kilómetros. En el hemisferio sur ó austral su rotación es siempre de O. á E. y en el norte ó boreal de E. á O. Su movimiento de traslación al empezar, en ambos hemisferios, es de E. á O. si bien desviándose después. Á la distancia media del centro del ciclón su movimiento de rotación alcanza su mayor velocidad, que suele llegar á ser hasta de 250 kilómetros por hora, y la velocidad del movimiento de traslación, que va aumentando con la distancia al Ecuador, resulta de 15 á 45 kilómetros por hora. En el centro existe una región relativamente tranquila, y de las dos regiones laterales en la que se puede considerar como interna ó borde cóncavo, donde se componen las dos velocidades de rotación y traslación, resulta la mayor fuerza, por cuya razón se denomina *borde peligroso*, mientras que en la otra, ó sea en la externa, el ímpetu es menor por la oposición en que resultan las antedichas velocidades, por lo que se le denomina borde gobernable. Los ciclones producen una considerable depresión barométrica, sobre todo en su región central por consecuencia de la fuerza centrífuga desarrollada por el movimiento giratorio.

Los ciclones se originan más principalmente en los mares de la China y de las Indias, en donde se les denomina tifones; también se forman en el mar de las Antillas, y siempre producen efectos sumamente destructores y deplorables, lo mismo que los tornados y trombas.

27. *Se da el nombre de tornados* á las violentas ráfagas ó torbellinos de viento que se observan solamente en la región de las calmas ecuatoriales acompañando generalmente á las tormentas frecuentes en aquella zona: su movimiento es, como el de los ciclones, giratorio y de traslación.

28. *Se da el nombre de trombas* á las masas ó columnas gaseosas formadas de vapores condensados ó materia de las nubes, que se forman en las capas inferiores de la atmósfera y que, más ó menos inclinadas y contorneadas, se mueven animadas de un movimiento tan rápido y enérgico que es suficiente para arrancar los árboles, derribar casas y destrozar cuanto encuentran á su paso, inclusos los animales.

Muchas trombas no tienen movimiento giratorio, y bastante número de ellas se forman estando la atmósfera tranquila.

Este metéoro, aunque no deja de ser aéreo, también se considera como eléctrico por la circunstancia de ir acompañado de granizo y lluvia, relámpagos y truenos pudiéndose decir lo mismo respecto de los tornados, toda vez que el remolino que lo constituye se suele originar desprendiéndose en las tempestades de lo más oscuro de la nube y en lo más recio de la tormenta entre el resplandor de los relámpagos y el estampido de los truenos.

29. *Las trombas* pueden ser: marinas, denominadas también *mangas de agua*, y terrestres. Marinas son las que se forman sobre los mares, y terrestres las que se originan en los continentes. Unas y otras pueden ser ascendentes y descendentes, siendo las primeras las que se forman partiendo de la superficie de la tierra ó de las aguas y se dirigen hacia arriba, y las segundas las que haciéndolo de arriba á abajo, descienden en forma cónica con su vértice hacia la superficie de la tierra ó de los mares. En este último caso las aguas se agitan y elevan en forma de cono con su vértice hacia arriba, hasta unirse con el descendente y formar una columna continua desde el mar á las nubes.

Como el agua lanzada desde las trombas no es salada ni aun en alta mar, se deduce que resulta solamente por condensación de vapores y no por agua del mar elevada por aspiración como se pudiera creer.

Se dió el nombre de huracán á todo viento repentino, violento é impetuoso, que hacía remolinos ó torbellinos causando espantosos extragos; pero en realidad, si se aplica dicho nombre á los vientos cuya velocidad llega á 45 metros por segundo, dicho nombre designará en general las ráfagas de viento de dicha velocidad cualquiera que sea su origen, que se podrá referir á derivaciones de las trombas, ciclones y tornados, de que parecen no ser sino un caso particular en menor escala.

30. *Las continuas* y alternas variaciones de temperatura de las diferentes regiones de la atmósfera á distintas latitudes y altitudes, que, semejantemente, producen las de su estado higrométrico y los vientos resultantes de la combinación de unas y otras variaciones, además de las influencias de la electricidad atmosférica, son las causas que, aisladas unas veces y combinadas otras, hacen variar también de continuo la presión atmosférica, influyendo ésta recíprocamente en la temperatura, producción de los vientos y lluvias, y en las funciones de los seres vivos; por cuya razón, su estudio forma una parte bien interesante de la Meteorología.

31. *El estudio* de las variaciones de presión de la atmósfera hecho mediante la observación del barómetro, desde el descubrimiento de éste, ha producido datos que, si bien relativamente escasos y no tan bien relacionadas como lo irán siendo cada vez más por el perfeccionamiento y uniformidad de los métodos, han conducido á consecuencias que, aunque en sí no son leyes matemáticamente exactas, han hecho ver correlaciones entre ellas y la producción de vientos, lluvias y tempestades, y recíprocamente.

No siendo posible dar á conocer en estrechos límites todos los pormenores referentes á tal estudio, bastará recordar (Lección XL) lo expuesto respecto á los usos del barómetro y medida de las presiones medias, para poder adquirir mayor conocimiento en tratados más extensos; debiendo tener presente las siguientes advertencias acerca del uso del barómetro como indicador de los cambios del tiempo, esto es, de las probabilidades de lluvias próximas, vientos y tempestades.

Estas indicaciones se suelen escribir en la escala barométrica del modo siguiente: *Variable=Lluvia ó viento*, y *Tempestad ó gran lluvia*, á medida que desciende más y más la columna mercurial bajo la Variable, y las de *Buen tiempo=Buen tiempo fijo* y *Muy seco*, según se eleva más y más sobre aquéllas.

32. *Las indicaciones del barómetro* no siempre se confirman, aunque muchas veces sí; por cuya razón no se deben considerar absolutamente exactas, tanto menos cuanto que los barómetros venidos de París las tienen con arreglo á las circunstancias de aquella latitud, que no son iguales en las distintas de ella.

33. *Se aplica la notación* de *Variable* al número de milímetros de la escala del barómetro á cuya altura se sostiene la columna mercurial del mismo durante el buen tiempo. Viene á ser próximamente la presión media de la localidad, como la de $0,^{m}760$ al nivel del mar, y $0,^{m}704,9$ en Granada (XL—16).

Cuando el barómetro marca la Variable, tanto puede continuar el buen tiempo como no, pues por término medio se observa que con dicha presión puede haber tantos días buenos como de lluvia. Si baja el barómetro, lo probable es sobrevengan lluvias, nevadas, vientos ó tempestades, según el descenso es de 9 ó 10 milímetros sucesivamente, y cuando, por el contrario, va subiendo sobre la variable, mejora el tiempo más y más, persistiendo fijo y seco.

34. *Cuando la subida* ó bajada del barómetro se efectúa con lentitud durante dos ó tres días, es muy probable el correspondiente cambio á buen tiempo ó lluvias, según resulta probado por

la experiencia; así es que se efectúa el anuncio con la anticipación de 48 ó más horas; mas, al contrario, si las variaciones son bruscas y repentinas, en todo caso presagian lluvias ó vientos próximos casi de seguro.

35. *Una extraordinaria* y fuerte baja del barómetro es anuncio de una gran perturbación atmosférica, pues aunque algunas veces continúa de pronto la calma y el buen tiempo, no es seguro dure mucho.

36. *La previsión* del tiempo no estriba solamente en las indicaciones del barómetro, pues aunque éstas, las de los anemoscopios y anemómetros sean las más efectivas é interesantes, también son utilizables las del termómetro, higrómetro y aguja imantada, además de algunas señales del cielo conocidas por los habitantes de determinadas comarcas.

HIGROMETRÍA.

LECCIÓN LXVI.

Higrometría. — Estado higrométrico. — Higrómetros é higroscopios.— Metéoros acuosos en general y su clasificación.—Rocío y circunstancias que favorecen ó impiden su formación.

1.ª *Higrometría* es la parte de la meteorología que estudia la humedad del aire y la medida del estado higrométrico de éste, para llegar á determinar en cualquier instante el peso del vapor contenido en un volumen del mismo.

2.ª *Estado higrométrico* ó fracción de saturación del aire es la relación entre la tensión que posee el vapor de agua contenido en aquél, en un instante dado á la temperatura reinante, y la que tendría en su máximum de saturación á igual temperatura; ó la relación entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire, á la temperatura reinante, y la que existiría á la misma si estuviese saturado, pues ambas relaciones son equivalentes.

La palabra humedad significa el estado de condensación del vapor de agua contenido en la atmósfera, con que aproximándose á su saturación puede liquidarse fácilmente, en más ó menos can-

tidad, precipitándose sobre los cuerpos con quienes se pone en contacto, ó constituyéndose en el estado vesicular para formar el rocío, las nieblas y las nubes. Se dice que el aire está húmedo, cuando el vàpor que contiene se halla en el estado indicado de humedad, ó próximo á su saturación, y seco cuando sehalla distante de aquel estado.

No se deben confundir las ideas de humedad y sequedad del aire con las de abundancia ó carencia de vapor en el mismo, pues que puede estar muy húmedo con poco vapor y, por el contrario, muy seco conteniendo mucha cantidad del mismo: lo primero sucede en invierno y lo segundo en verano, en conformidad á la teoría de los vapores.

3.ª *Higrómetros* son los aparatos destinados á tomar los datos necesarios para determinar el estado higrométrico del aire.

4.ª *Los higrómetros* pueden ser de absorción ó de condensación.

5.ª *Los de absorción* son aquellos que se construyen con sustancias sobre las cuales ejerce influencia la humedad del aire, y que apoderándose del vapor de éste se alargan, como sucede con los cabellos, ó aumentan de peso, como lo efectúan el ácido sulfúrico, el cloruro de calcio, la potasa, etc.

6.ª *Son de condensación* los construídos con objeto de poder producir una baja de temperatura, en vasos convenientemente dispuestos, hasta conseguir que el vapor contenido en las capas de aire en contacto con las superficies exteriores de los mismos, se condense y precipite sobre ellas, empañándolas al llegar á la temperatura de saturación.

7.ª *Entre los de absorción*, prescindiendo de los fundados en el aumento de peso de las sustancias higroscópicas y desliquescentes, y que se suelen denominar higrómetros químicos, el más interesante ó digno de estudio es el de Saussure ó de cabello.

8.ª *La construcción del higrómetro* de Saussure ó de cabello está fundada en que éste se alarga con el aumento de humedad y se acorta con la disminución; cuyos cambios de longitud, moviendo alternativamente la polea del aparato, auxiliada de un contrapeso, engendran á la vez el movimiento de una aguja que recorre la graduación circular de aquél.

9.ª *El higrómetro de cabello* se gradúa determinando dos puntos fijos, llamados de extrema sequedad uno y de extrema humedad otro, y dividiendo la distancia ó arco comprendido entre ellos en 100 partes iguales.

En el punto de extrema sequedad se escribe 0, en el de la humedad 100 y en las divisiones los correspondientes números 5, 10, 20, 25, etc. cuyas divisiones de uno en uno se denominan grados del higrómetro. Éste no se puede considerar sino como un higroscopio, por resultar que dichos grados no guardan proporción con la humedad ó estado higrométrico, por cuya razón, siendo necesarias correcciones y tablas para ellas, además de otros inconvenientes, su conocimiento y uso no tienen importancia.

10. *El uso de los higrómetros* de condensación se funda en el principio de Leroy, consecuencia de las leyes observadas en la mezcla de los vapores y gases, cuyo principio se puede enunciar así: la tensión absoluta del vapor de agua contenido en el aire á la temperatura reinante, no varía aunque disminuya aquélla hasta el punto de saturación ó rocío, y por lo mismo es igual á la correspondiente en las tablas á la temperatura en que el vapor de las capas de aire, enfriadas por el contacto con un cuerpo frío, se deposita sobre las paredes de éste en forma de rocío ó de empañado, como el que se observa en las madrugadas de invierno sobre las vidrieras de las ventanas de las habitaciones.

11. *El higrómetro* de Daniell, que es uno de los de condensación, está dispuesto del modo siguiente: sobre una columnita vertical, se sostiene un tubo dos veces encorvado, de cuyos dos brazos el más corto termina en una esfera diáfana y el más largo en otra azulada: ésta, llena de éter, recibe el depósito de un pequeño termómetro colocado en el interior del brazo largo, que, purgando de aire al ser cerrado, sólo contiene éter y vapor del mismo.

12. *Este higrómetro* se usa recubriendo con un trozo de tela fina la esfera diáfana, recogiendo ó trasladando todo el éter á la esfera azul y dejando caer, gota á gota, sobre la tela que recubre la primera esfera, la cantidad suficiente de aquel líquido, con el correspondiente frasco, hasta verificar el empañado de la segunda; se toma la temperatura del termómetro interior de la esfera azul en el instante de empañarse ésta, la del aire en igual tiempo con el termómetro que va en la columna que sirve de pié al aparato,

y, con dichos datos y las tablas de las tensiones del vapor de agua, se calcula el estado higrométrico.

13. *Para hallar el estado* higrométrico valiéndose de este higrómetro, se opera como se ha dicho para obtener las temperaturas de los dos termómetros; se busca en las tablas las tensiones relativas á ellas; se divide la correspondiente á la temperatura del termómetro interior por la respectiva á la del otro, y el cociente será el estado higrométrico correspondiente.

14. *Este higrómetro* tiene el inconveniente de no poder determinar con exactitud el instante y temperatura de la precipitación del vapor, no siendo siempre fácil el conseguir ésta.

15. *El de Regnault* es otro higrómetro de condensación en que las cosas están dispuestas de modo que se puede operar con él sin aquellos inconvenientes, como es fácil explicar y comprender con él á la vista ó por su dibujo.

16. *El psicrómetro* es una especie de higrómetro, cuyo fundamento es el principio de que el aire admite más vapor cuanto menos saturado está, y viceversa.

Se compone de dos termómetros, uno, llamado de bola seca, que da la temperatura del aire, y otro, denominado de bola húmeda, que, rodeado de una tela fina mojada constantemente, señala una temperatura más ó menos baja, cuanto mayor ó menor es la vaporización, según está menos ó más saturado el aire. Con estas temperaturas y el correspondiente cálculo, se determina el estado higrométrico en el instante de la observación.

17. *Higroscopios* son aparatos sin graduación, que sólo indican si el aire está más ó menos húmedo.

18. *Su disposición* varía de mil maneras, pero todos están reducidos á variaciones de longitud, por los cambios de la humedad en una cuerda, cabello, etc., que engendrando el movimiento de alguna palanca, como el de la aguja en el higrómetro de Saussure, producen dos órdenes de indicaciones inversas unas de otras.

19. *Su objeto* es indicar con más ó menos probabilidad la lluvia y el tiempo seco.

20. *No se deben* confundir los higroscopios con los higrómetros, pues que éstos dan números, y por consiguiente el estado higro-

métrico, cuando aquéllos sólo ejecutan movimientos convencionales para las indicaciones de su objeto.

21. *Hidrometéoros* ó metéoros acuosos son los producidos por la condensación y liquefacción del vapor contenido en el aire, y por la congelación del agua formada en este mismo.

22. *Se consideran* como metéoros acuosos el rocío, la escarcha y la helada; las nieblas, las nubes, la lluvia y la nieve, y el sereno y el relente.

23. *No se incluye el granizo* en los metéoros acuosos, pues, aunque no deje de serlo, su explicación no puede ser completa sin suponer una intervención eléctrica; por cuya razón se deja para el estudio de los eléctricos.

24. *Se da el nombre de rocío* al conjunto más ó menos abundante de pequeñas gotas de agua liquida, formadas por el vapor contenido en las capas atmosféricas inferiores y en contacto con la tierra, que durante la noche se depositan sobre la superficie terrestre.

Se produce en las noches serenas y despejadas, depositándose sobre la superficie de la tierra, de las plantas y demás cuerpos expuestos al aire libre, para desaparecer más ó menos pronto, por su evaporación, á medida que aumenta la temperatura con la elevación del sol sobre el horizonte.

25. *El rocío* se forma del modo siguiente: durante la noche la tierra emite al través de la atmósfera mucho más calor hacia los espacios celestes que el que recibe, inversamente á lo que sucede durante el día, de donde resulta un enfriamiento, que llega á su máximum al amanecer, cuando la temperatura mínima tiene lugar; este enfriamiento produce el de la capa inferior del aire, que por contacto con la tierra cede á ésta su calor, tendiendo al equilibrio de temperatura hasta que, siendo la de dicha capa y la del vapor de agua, contenido en la misma, inferior á la de saturación de aquél, se liquida la cantidad de vapor excedente sobre la necesaria para la saturación á dicha temperatura.

26. *El rocío*, en igualdad de las demás circunstancias influyentes en su formación, se deposita con más abundancia sobre las plantas y cuerpos de gran poder emisivo que sobre los metales, porque la tierra, por su poca conductibilidad, reconcentra todo el

calor que recibe durante el día en sus primeras capas, y éstas se calientan mucho; por cuya razón al perder ese mismo calor durante la noche, aquellas se enfrían también mucho, y de aquí que siendo grande este descenso, cuanto mayor sea, tanto más inferior podrá resultar la temperatura respecto de la de saturación, más grande el exceso de vapor sobre ella y mayor la cantidad que de aquél se formará; mas, por el contrario, los metales y buenos conductores, distribuyendo el calor que reciben entre toda su masa, no lo reconcentran en la superficie y ésta no se calienta mucho, por lo que durante la noche emite poco y la baja de su temperatura, así como la del vapor, no son cosiderables; y aunque llegue á formarse algún rocío sobre los metales, nunca podrá ser tanto como hemos visto puede resultar sobre la tierra, yerba, etc.

27. *El mismo número* de grados en la baja de temperatura no dará siempre la misma cantidad de rocío, porque si de una temperatura grande en que hay mucho vapor y de otra inferior en que hay poco se disminuye el mismo número de grados, quedará más exceso de vapor libre en el primer caso que en el segundo y, por consiguiente, resultará más cantidad de rocío en el uno que en el otro; de donde, á igual descenso de temperatura, la cantidad de vapor formado no sólo dependerá del número de grados que descienda la de las capas del aire en contacto con el suelo, sino que también de la inicial de las mismas.

28. *El rocío* se forma hacia el amanecer; siendo más frecuente y abundante en las primaveras.

29. *En la formación del rocío* influyen las circunstancias siguientes: 1.ª el estado de la atmósfera, pues en las noches despejadas, en que el enfriamiento es grande, se forma bien y con abundancia, cuando es imposible en las nubladas en que las nubes impiden la irradiación y el enfriamiento; 2.ª las corrientes fuertes de viento, pues impiden su formación porque no dan lugar á que una misma capa permanezca en contacto con la tierra el tiempo necesario para el enfriamiento y condensación del vapor, el cual será más abundante cuanto más húmedo esté el aire y mayores sean las diferencias de temperatura del día á la noche; 3.° la situación de los cuerpos sobre que se deposita, toda vez que en campo raso es abundante y escaso ó nulo bajo los árboles y en sitios

próximos á paredes, etc.; 4.ª la naturaleza de los cuerpos, porque se forma mejor sobre los malos conductores que sobre los buenos, y como esta circunstancia depende de la diferente naturaleza de ellos, de aquí el que se deposita más sobre unos que sobre otros según aquélla.

LECCIÓN LXVII.

I. Escarcha. — Helada. — Nieblas y nubes. — Lluvia. — Pluviómetros.— II. Relente y sereno.—Nieve.—Granizo. — Lluvias singulares.—Climas físicos.

I.

1.ª *La escarcha* es el agua congelada que, con estructura esponjosa ó escamosa, aparece sobre las plantas en vez de rocío.

2.ª *La escarcha* se forma cuando al descender la temperatura de las plantas y demás cuerpos bajo cero grados, aunque la del aire sea más elevada, el vapor no sólo pasa de su estado de saturación para liquidarse, sino que se congela aun antes de llegar á depositarse en la forma de rocío, como indica su estructura y opacidad; por cuya razón no se debe definir la escarcha diciendo simplemente que es el rocío congelado.

La escarcha se suele llamar también helada blanca, para diferenciarla de la helada verdadera que suele ser denominada helada negra. Las escarchas acaecen principalmente en las madrugadas de la primavera y otoño.

3.ª La helada es el fenómeno que tiene lugar en noches muy frías, consistente en la congelación del agua depositada sobre la superficie de las plantas, de la existente en el organismo de las mismas, de la embebida en la porosidad de la superficie de la tierra y hasta la de los estanques, etc.

4.ª La helada se forma durante las noches muy frías del invierno, y aun en algunas de las primaveras, en que descendiendo la temperatura del aire algunos grados bajo cero, la del suelo, plantas y superficie de las aguas llega hasta medio grado bajo cero; en cuyo caso el agua líquida procedente de la lluvia anterior, del rocío depositado sobre la superficie de las plantas ó embebida en la superficie de los terrenos, así como la existente en el organismo de las mismas plantas y hasta la de la superficie

de las charcas, estanques, etc. se congela en masa amorfa y diáfana, ó en fragmentos redondeados más ó menos agrupados.

5.ª *La diferencia* entre la escarcha y la verdadera helada consiste no sólo en su aspecto, que por sí bastaría para no confundir una con otra, sino en el modo y circunstancias de su formación.

La primera, si bien no es un verdadero rocío congelado después de su precipitación sobre las plantas, se viene á producir lo mismo que él, con la diferencia de que al ir á depositarse en estado líquido, se enlazan sus moléculas congelándose á la vez y cae ya en estado de agua sólida; mas la segunda procede del agua del rocío, de lluvia anterior, de la existente en el organismo de las plantas y de la embebida en el terreno, esto es, agua ya líquida, no en vapor: en fin, la primera sólo se deposita sobre la superficie de las plantas; la segunda no sólo así, sino que resulta igualmente en su interior, sobre la superficie de la tierra que se halla al descubierto, y, por último, en la superficie de las charcas, estanques, arroyos y hasta en la de los ríos.

6.ª *Las nieblas* son masas de vapor, que se condensa en las regiones inferiores de la atmósfera y forma gotas de agua sumamente pequeñas ó vesículas, que se sostienen flotantes en las capas de aire próximas á la tierra, privándolas de su diafanidad y llegando á oscurecer más ó menos las comarcas sobre que se extienden, según la mayor ó menor opacidad que aquéllas llegan á adquirir.

7.ª *La formación* de las nieblas se explica de dos modos, según se efectúa en las capas inferiores de la atmósfera ó en otras más altas.

Primer caso. Cuando la temperatura del suelo ó de la superficie de las aguas de que se desprende el vapor, es mayor que la de las capas de la región inferior de la atmósfera, al penetrar aquél en ellas se enfría, y si llega á la temperatura de saturación se condensa y reduce á gotas de agua infinitamente pequeñas, que mezcladas con el aire ó constituídas en pequeñas vesículas, por la interposición del mismo entre aquéllas y en su interior se forma un todo con una densidad tal, que impidiendo elevarse á grandes alturas, lo hace más ó menos flotante sobre la superficie de la tierra. Esta misma formación puede tener lugar aun cuando el vapor que se desprenda de la superficie terrestre y de las aguas no encuentre precisamente más frías las capas de aire en que pene-

tra, porque basta que no estando mucho más calientes se hallen bien cargadas de vapor; pues en tal caso, con el existente y el que trata de agregársele, se podrá llegar á exceder el necesario para la saturación y á producirse el fenómeno, que claro es se verificará, probablemente, mejor y las más de las veces por la reunión de ambas circunstancias.

Segundo caso. Las nieblas se forman también cuando columnas de aire muy cargadas de vapor descienden á regiones inferiores de la atmósfera ó pasan sobre terrenos y superficies de mares, ríos, etc. en que reinando temperaturas inferiores á la del vapor, éste disminuye la suya y llegando á su saturación resulta un grande exceso sobre ésta, que convertido en las pequeñas gotas ó vesículas indicadas en el caso anterior, se extienden sobre comarcas de mayor ó menor extensión.

8.ª *Se da el nombre de bruma* á la niebla muy espesa de los mares, llamándose nieblas locales cuando, por su formación especial y corta extensión, se limitan á parajes determinados.

Las que se suelen llamar secas se denominan así, no sólo porque no humedecen, como la generalidad de ellas, pues que no afectan al higrómetro, sino porque, al contrario, producen una evaporación tan rápida que llega á perjudicar las plantas: su origen y naturaleza no son bien conocidos; pero según las apariencias, se creen formadas por un polvo sumamente fino, arrastrado por vientos del África ó por cenizas volcánicas suspendidas y trasportadas por los vientos.

9.ª *Las nubes* son masas de vapor condensado como las nieblas, que se extienden y trasportan por regiones de la atmósfera comprendidas entre límites más ó menos extensos; pero cuyo centro ó parte media se supone por algunos autores á unos tres mil metros de elevación, que es la altura en que la disminución de temperatura experimenta variaciones más pronunciadas.

Las nubes pueden descender hasta las cúspides de las montañas y de los árboles, ó elevarse hasta doce ó más mil metros. Sus formas, aunque tan varias y caprichosas, pueden reducirse á ciertos tipos, clasificándolas del modo siguiente: cúmulus, ó nubes de verano; stratus, cirrus y nimbus ó nubes que dan la lluvia; designándose las comprendidas entre unas y otras, ó compuestas por la combinación de dos ó más de ellas, con los nombres de cirro-stratus y de cirro-cúmulus.

10. *Las nubes* se forman lo mismo que las nieblas, por el enfriamiento del vapor contenido en las capas de aire al pasar de unas alturas á otras, ó al mezclarse las de una temperatura con las de otra inferior.

Las mismas nieblas trasportadas por los vientos y reunidas en capas superiores á las en que se forman, se convierten en verdaderas nubes, así como éstas pueden descender sobre los picos de las montañas y hasta la superficie de la tierra.

La suspensión de las nubes no se explica de un modo concluyente, ya se suponga el vapor reducido á gotas de extremada pequeñez, bien á pequeñas vesículas.

Sin embargo, formadas de uno ú otro modo, siempre se podrán considerar las nubes como una mezcla de aire, vapor más ó menos saturado y el convertido en líquido, cuyo todo dilatado más ó menos por el calor latente desprendido gradualmente en la liquefacción del vapor, ó con el absorbido de las capas inmediatas, viene á adquirir la misma densidad de las en que se halla para sostenerse en las mismas flotando y, dilatándose ó condensándose más ó menos, subir y bajar de unas alturas á otras por las variaciones de situación y temperatura, á más de su trasporte, acumulación y dispersión á impulso de las corrientes de viento.

11. *La lluvia* es la caída del agua líquida, que desde las nubes desciende en gotas de mayor ó menor tamaño, llegando á la superficie de la tierra con más ó menos velocidad, denominándose llovizna cuando las gotas son muy pequeñas; lluvia fuerte cuando las gotas son ya mayores y caen con abundancia, y lluvia torrencial ó torrente cuando no sólo son muy gruesas las gotas sino que caen con gran fuerza y abundancia.

12. *La formación y caída de la lluvia* se puede explicar fácilmente, dada ya la existencia de las nubes; pues si éstas sufren nuevas bajas de temperatura ó aumentos de presión, reuniéndose en una sola muchas de las pequeñas vesículas ó gotas, llegan á adquirir una densidad y peso tal, que rompiendo su adherencia con las demás, las hará separarse de la nube precipitándose para llegar á la tierra, si no encuentran en su trayecto temperaturas que, calentándolas, vuelvan á trasformarlas en vapor é impidan su caída.

13. *Se da el nombre de pluviómetros ó de udómetros* á los instrumentos que se emplean para determinar la cantidad de agua líquida que cae en un paraje dado en forma de lluvia.

14. *La disposición* más sencilla de estos aparatos es la de un vaso cilíndrico, que por su parte lateral inferior está en comunicación con un tubo de nivel, graduado convenientemete para ir midiendo la altura ó espesor de la capa de agua caída, y que se cierra con una tapadera en forma de embudo á fin de impedir todo lo posible la evaporación del agua que recibe: los hay de otra forma y construcción más á propósito, como el totalizador.

15. *Los pluviómetros* se usan poniéndolos, ya en bajo, ya en alto, en puntos donde no pueda caer más agua que la de la verdadera lluvia, y no la que pudieran recibir de las canales de los edificios, árboles y otros objetos.

16. *Los mismos pluviómetros, ó pluviómetros iguales*, colocados en diferentes alturas, no reciben igual cantidad de agua; pues recogen más los de los patios y sitios inferiores que los colocados en puntos elevados.

17. *Estas diferencias*, aunque no tienen una explicación exacta y concluyente, se pueden atribuir al aumento de volumen que las gotas deben adquir en las capas inferiores por el nuevo vapor que pueden ir condensando sobre sí al caer, en virtud de la menor temperatura con que descienden.

También puede provenir dicho aumento de que á la parte inferior pueden llegar las filas de moléculas ordenadas más paralelamente que no en la superior, donde los remolinos y corrientes de viento las desordenan é impiden su caída regular.

18. *La cantidad* de lluvia que cae en unos pueblos respecto de otros es tan distinta como sus temperaturas medias, estado higrométrico, vientos reinantes, etc.

19. *No hay ley fija* para la caída de la lluvia respecto de su distribución sobre la superficie terrestre; pero de las observaciones pluviométricas se han sacado ya algunas consecuencias, que algo determinan acerca de tal cuestión, imposible de tratar al pormenor.

En Santiago de Galicia la media anual del agua de la lluvia resulta ser 1759 milímetros. En Granada, según el promedio de 16 años de observación, resumidos por el doctor Helman, es 513 milímetros.

20. *Por lo general*, y prescindiendo de algunos países en donde la lluvia es nula ó casi nula, la cantidad de agua caída en

forma de lluvia decrece del ecuador al polo, de los mares y costas á los continentes y de las montañas á las llanuras.

21. *No es lo mismo* llover muchas veces que caer mucha lluvia, porque la cantidad de agua caída en poco tiempo puede ser muy considerable, como sucede en el verano.

22. *En las estaciones* en que hay más días de lluvia no es siempre cuando cae mayor cantidad de agua, pues á veces en pocos días de primavera ú otoño suele caer más cantidad que en muchos días de invierno; pero no siempre, ni en todas partes, sucede lo mismo, y de aquí la necesidad de observaciones y clasificaciones de que la Meteorología se ocupa minuciosamente.

II.

23. *El sereno* es una especie de lluvia tenue é imperceptible, que se produce al oscurecer ó prima noche, sin presencia de nube alguna. El relente es la humedad de que se carga el aire durante toda la noche y que, aparte del rocío, moja más ó menos la tierra y cuerpos que en ella se hallan á descubierto.

Aunque se suele confundir ó considerar como iguales al sereno y relente, debe distinguirse uno de otro, según se ve por sus respectivas definiciones.

24. *La explicación* del sereno es la siguiente: al oscurecer, la temperatura de las capas atmosféricas de cierta elevación sufren un enfriamiento repentino, por la ausencia que se empieza á notar de los rayos solares, y el vapor contenido en ellas se condensa de tal manera que se precipita en la forma dicha.

La del relente viene á ser casi lo mismo, sin más diferencia que la de prolongarse toda la noche con cierta pausa y tenuidad, como se produce durante ella el enfriamiento gradual y sucesivo de toda la atmósfera.

25. *La nieve* es agua sólida procedente del vapor de la atmósfera, que solidificado al condensarse, sin llegar á pasar por su estado líquido, cristaliza en finísimas agujas entrelazadas y formando estrellas radiadas de formas muy variables.

Reunidas dichas estrellas en más ó menos cantidad, forman los grupos ó copos en que cae lentamente sobre la tierra, á causa de la poca masa que encierran por su estructura esponjosa, que sólo les da una densidad, según algunos, entre 1[3 y 1[8 de la del agua; razón por la

cual vienen á caer con una velocidad cerca de nueve veces menor que la de las gotas de la lluvia.

26. *La formación* y caída de la nieve no es fácil de explicar de un modo exacto y concluyente, pero se puede considerar verificada del modo siguiente: cuando el vapor contenido en capas superiores de la atmósfera, ó en las mismas nubes, pasa por temperaturas inferiores á cero, se condensa en pequeñas partículas de hielo sin llegar á pasar por el estado líquido; las cuales uniéndose unas á otras, forman finísimas agujas, que entrelazadas á su vez forman las estrellas radiadas, agrupándose en más ó menos cantidad para llegar á constituir copos y caer éstos del modo con que lo efectúan.

27. *La diferencia esencial* entre el rocío y el sereno consiste: en que el primero se forma, de la manera dicha en su explicación, en las capas de aire en contacto con la tierra y á la madrugada; cuando el segundo se forma en capas superiores y al anochecer.

28. *La diferencia* que se puede establecer entre el rocío y la lluvia consiste en que aun cuando ésta sea muy menuda y escasa para poder confundir su efecto con aquél, el rocío se forma siempre en las capas atmosféricas inferiores, y sólo al amanecer, y la lluvia en alturas superiores muy distintas y á toda hora.

29. *La escarcha y helada* se diferencian bien, no sólo por su distinta formación, sino porque la primera se limita á la superficie de las plantas, cuando la helada se extiende á la de la tierra y de las aguas; diferenciándose ambas de la nieve en que ésta se origina en grandes cantidades y en alturas considerables, cuando aquélla siempre se forma sobre la superficie terrestre.

30. *Las nubes y nieblas* se diferencian en que aun cuando su formación sea poco más ó menos la misma, las nieblas se forman en la región inferior de la atmósfera con menos frecuencia que las nubes, las cuales se originan en regiones elevadas, siendo más frecuentes, generales y duraderas.

31. *El granizo*, aunque no deja de ser un metéoro acuoso y agua sólida como la nieve, se diferencia notablemente de ésta, tanto en su figura, forma y tamaño, como en las circunstancias de su formación y caída, en que parece intervenir la electricidad, por cuya razón se considera como un metéoro eléctrico.

No se debe confundir el granizo verdadero con el que, denominado gresil por los franceses, suele caer al principio de la primavera en pequeños granos, que parece no son otra cosa sino un caso particular de la nieve, trasformada como en granos más duros que los copos de aquellas por un mayor enfriamiento durante su caida en un aire agitado.

Los franceses dan el nombre de *verglas* á la capa de agua sólida, especie de hielo endurecido y de estructura irregular, que forma la nieve extendida sobre el suelo y que, fundida en parte, se congela de nuevo.

32. *Se suele dar* el nombre de *lluvias singulares* á las que, sin presencia de nubes, sobrevienen repentinamente durante algunos instantes solamente.

No se deben confundir con ellas, dándoles dicho nombre, ciertos hechos extraordinarios que se observan algunas, aunque muy raras veces, denominándoles *lluvias de sangre, azufre, insectos, legumbres, etc.*, que sólo son apariencias ó coincidencias muy raras; y que si en tiempos ó entre gentes de poca instrucción se pudieron considerar como fenómenos sobrenaturales, hoy es posible explicarlos por el trasporte, con los grandes vientos, de distintas materias procedentes de la superficie terrestre, de la vegetación y hasta del desarrollo de insectos, etc.

33. *Clima físico* de una localidad es el conjunto de circunstancias que influyen favorable ó perjudicialmente en la vida de los animales y plantas que la habitan.

La voz clima se usa también en la acepción de *zona* ó *localidad* que, por la reunión de las antedichas circunetancias, resulta en condiciones favorables ó perjudiciales para la vida de los seres vivos ó respecto de ciertas enfermedades.

No se deben confundir los climas físicos con los geográficos, pues éstos son zonas ó fajas de la superficie de la tierra comprendidas entre los paralelos de latitud en que, por la igual manera con que reciben los rayos solares, sus días y noches resultan respectivamente con duración de tiempos determinados, iguales en cada uno y diferentes de unos á otros.

34. *Las circunstancias* que caracterizan á los climas y hacen se los considere aptos ó perjudiciales para la salud y usos de la vida, no son sus temperaturas medias solamente, sino que también el conjunto de las circunstancias de que aquéllas dependen, como el estado del cielo, presión, humedad, etc.

35. *No es fácil la clasificación* de los climas físicos, pues dos pueblos de igual temperatura pueden tenerlos diferentes, según sean más ó menos opuestas las demás circunstancias de presión,

sequedad, humedad, etc., cuando pueblos situados en distintas latitudes y aun en igualdad de éstas, pero á diferentes alturas, pueden resultar con igual clima, si por su situación reunen igual conjunto de condiciones meteorológicas; así es que las denominaciones dadas á los climas son muy varias y ambiguas, y no es fácil una determinación fija y precisa de ellas.

36. *Aunque no es fácil* precisar con exactitud las condiciones que constituyen la bondad de un clima para que se pueda considerar bueno, suave ó templado, debe reunir á una temperatura media comprendida entre 10° y 20° el que sus variaciones respecto á ella no sean bruscas, sino que se efectúen con cierta gradación y uniformidad, y que las relativas á la presión, estado higrométrico, lluvias y vientos se hallen en igual caso.

37. *Los climas físicos* se suelen clasificar por los límites entre los cuales se halla comprendida su temperatura media, según el siguiente cuadro:

Nombres de los climas.	Límites entre los que resultan sus temperaturas medias.	Ejemplo de pueblos que lo poseen.
1.° Tórrido ó ardiente.....	27°,05 á 25°	Abysinia y Bengala.
2.° Cálido.....	25° á 20°	Brasil y Egipto.
3.° Suave.....	20° á 15°	Méjico y Nápoles.
4.° Templado.....	15° á 10°	España y Francia.
5.° Frío.....	10° á 5°	Noruega y Alsacia.
6.° Muy frío.....	5° á 0°	Rusia.
7.° Glacial.....	—6°	

38. *También se suelen* clasificar los climas por los límites entre los que resulta la diferencia de las temperaturas extremas de invierno y de verano, según denota el cuadro que sigue:

Climas.	Límite de las diferencias de las temperaturas extremas de invierno y de verano.
1.° Constante.....	6° á 8°
2.° Variable.....	16° á 20°
3.° Excesivo.....	si es más de 30°

Además se suele usar los calificativos de clima seco, húmedo, templado, marítimo y continental, pero sin precisar sus verdaderas condiciones, como sucede igualmente respecto de los temperamentos.

39. *La voz temperamento* se emplea á veces para designar la naturaleza de los climas relativamente á las circunstancias predo-

minantes de su constitución, asignándole el nombre de temperamento cálido, ardiente, frío, templado, destemplado, húmedo y seco; y bueno, malo, sano y enfermizo, aunque sin fijar aquéllas.

No se debe confundir la idea de clima con la de las regiones agrícolas, las cuales son zonas de terreno que dan una misma producción útil, mayor y con menos gasto que cualquiera otra de las que sea posible obtener también; pues es posible la existencia de dos ó más en un mismo clima y, por el contrario, que una sola se extienda por más de uno. Por esta razón la Meteorología es un auxiliar importantísimo de la Agricultura, no debiéndolo ser menos respecto de la Medicina; de donde resulta la necesidad de las observaciones meteorológicas y de los correspondientes observatorios.

40. *Observaciones meteorológicas* son todas las investigaciones que se practican con los aparatos correspondientes, como barómetros, termómetros, etc., acerca de la presión atmosférica, temperatura, estado higrométrico y eléctrico del aire y variaciones de las agujas magnéticas; sobre las lluvias y evaporación, y sobre la dirección y fuerza de los vientos.

La situación, material y servicio, así como los métodos y cálculos necesarios en los observatorios meteorológicos son muy diferentes de los correspondientes á los observatorios astronómicos. Los primeros exigen que su situación sea en localidades de diferente topografía; termómetros, barómetros, etc.; determinados y uniformes métodos y horas de observación y dirección, y empleados facultativos de cierta instrucción. Los segundos deben estar situados en puntos elevados y despejados ó en planicies de extenso horizonte; sus instrumentos son de muy distinto manejo, como telescopios, anteojos, etc., con los auxiliares fotográficos y espectroscópicos, y los métodos, cálculos y deducciones correspondientes exigen dirección y empleados facultativos de amplios conocimientos matemáticos, físicos y químicos.

41. *La importancia* de las observaciones meteorológicas es grande, si se atiende á lo que han enseñado al hombre en el poco tiempo que cuentan de existencia regular y á lo que es posible llegar á deducir con su continuación uniforme y reglamentada.

En efecto, aun cuando ciertas observaciones se remonten á tiempos muy antiguos, no pudieron ser sino escasas é imperfectas, hasta la invención del barómetro y termómetro, y posterior y sucesivamente la de los higrómetros, pluviómetros y electómetros; pero desde entonces las practicadas, aunque en número y condiciones muy distantes de lo necesario, han ido dando resultados cada vez más elocuentes; de tal

modo, que si bien se suscitaron controversias sobre la utilidad, importancia y necesidad de ellos, por tanto, pues hasta se llegó á negarlas por algún sabio de los de primer orden, con todo, hoy se reconoce ya generalmente su conveniencia y se está en vías de entrar en una nueva era de perfección y mayor y efectivo progreso, como se deduce de las ideas discutidas en los varios congresos meteorológicos habidos ya, y en vista de los resultados que se obtienen, tanto en América como en Europa, mediante el auxilio de los telégrafos y semáforos, siendo admirable el número de observatorios, estaciones meteorológicas que ya existen en los Estados-Unidos; sus comunicaciones simultáneas en horas dadas y la publicación diaria de mapas meteorológicos, con el estado actual de la atmósfera, tanto en Europa como en América y Asia: único modo de poder relacionar ciertos fenómenos que, aunque parezcan aislados, en realidad no lo están; porque no todos son consecuencia inmediata de cambios verificados en localidades próximas, sino que pueden relacionarse y depender de otros que se hayan producido ó se estén efectuando á grandísimas distancias en uno ó varios puntos relacionados entre sí.

LUMÍNICO Ó FOTOLOGÍA.

LECCIÓN LXVIII.

Luminico, luz y visión.—Óptica y su división.—Naturaleza del lumínico y sus hipótesis. — Indicación de la de Newton y de la de Descartes.— Valor ó probabilidad de ellas.—Clasificación de los cuerpos relativamente á la producción de luz y á su aptitud para permitir ó impedir el paso de la misma al través de ellos.—Punto, rayo y haz de luz.

1.ª *Lumínico* es la voz con que se denota la causa productora de la sensación que se experimenta por el sentido de la vista, y que obrando sobre los cuerpos produce en ellos y en su materia ponderable variados y notables cambios; de cuyos fenómenos son ejemplo su acción sobre los seres vivos y la práctica de la fotografía.

La voz lúminico se usa también para designar su estudio que se denominó Óptica, y hoy se suele apellidar Fotología.

2.ª *Luz* es la sensación que se experimenta, mediante el órgano de la visión, en virtud de los rayos solares y demás cuerpos luminosos.

Esta voz se suele usar frecuentemente en vez de la de lumínico, tomando el efecto por la causa, y también para significar el estudio del lúminico.

3.ª *Visión* es el acto en cuya virtud los animales, al ser impresionados en el órgano correspondiente por los rayos luminosos, adquieren conocimiento de los cuerpos que los rodean, y aprecian sus posiciones, magnitudes, distancias intermedias, formas y colores.

4.ª *Óptica* es la voz con que antiguamente se designaba el estudio de lo conocido entonces respecto del lumínico, si bien se subdividía en *Óptica propiamente* dicha, estudio de las propiedades generales del lumínico, *Catóptrica* el de su reflexión y *Dióptica* el de su refracción; pero hoy estas tres partes sólo forman una primera del estudio del lumínico que se suele denominar *Óptica geométrica*, designando con el de *Óptica física* todo lo restante de dicho estudio en que se comprende multitud de hechos, cuya mayor parte no se conocieron hasta el siglo actual.

5.ª *La naturaleza del lumínico* ignorada en su esencia y conocida solamente, lo mismo que la del calórico, por sus efectos y modificaciones resultantes en su marcha á causa de la interposición de los cuerpos ponderables, se ha tratado de explicar de varias maneras que se pueden reducir á las dos hipótesis denominada de Newton ó de la emisión, una; y otra la de Descartes ó Malebranche, esto es, de las ondulaciones etéreas.

6.ª *La hipótesis de Newton*, atribuída también por algunos á Empedocles y Demócrito, consistía en considerar una materia análoga á la supuesta en la hipótesis de igual nombre para la explicación del calórico, la que saliendo de unos cuerpos y llegando á otros, la rechazaban, refractaban, etc., y que penetrando en el ojo é impresionando la retina, producían la sensación de luz y la visión.

7.ª *La hipótesis de las ondulaciones etéreas*, establecida por Descartes y perfeccionada por Grimaldi, Huyghens, Euler, Young, Malus y Fresnel, cuya explicación en resumen, aunque imperfecta, semejantemente como la del calórico, es la siguiente: 1.° que existe un medio de elasticidad suma y densidad infinitamente pequeña, á que se dió el nombre de éter, extendida en los espa-

cios celestes y en los intermoleculares de los cuerpos, como se indicó para la explicación del calórico (XLIX — 10); 2.° Que al vibrar las moléculas de los cuerpos con cierta velocidad y amplitud, en virtud de la energía universal, comunican sus vibraciones á los átomos etéreos inmediatos y éstos á sus adyacentes, engendrando un movimiento ondulatorio en el mismo semejante al del aire en la propagación de los sonidos; 3.° Que el movimiento ondulatorio del éter al llegar desde unos cuerpos á otros, se propaga al éter interno de ellos indefinidamente ó se modifica por la interposición de las moléculas ponderables de los mismos, modificándose á la vez la energía actual de aquéllas y dando por resultado los fenómenos luminosos de reflexión, refracción, etc., así como sus efectos químicos ó cambios de agregación, molecular, con todo lo relativo á la visión, que si es fenómeno tan admirable para el hombre, no es el único fin del lumínico.

Esta hipótesis se estableció, no arbitrariamente y por el solo juego de la imaginación, sino fundándose en principios científicos y la analogía y correlación de los fenómenos caloricos y luminicos con los acústicos, que los aunan, con la sola diferencia de la gradación en la amplitud y velocidad de las ondas etéreas, cual la de las sonoras la producción de las intensidades y tonos de los sonidos según las gamas de la escala musical; pues dicha diferencia se reduce á que las caloricas de mucha mayor amplitud y velocidad que las sonoras, si bien producen fenómenos caloricos, no alcanzan á producir los luminosos por su mucha menor amplitud y velocidad respecto de las que engendran el lumínico y llegan á poder impresionar la retina.

Ya que no sea dable extenderse en otros pormenores respecto de las ondulaciones etéreas, se debe advertir, que si bien son semejantes á las sonoras, se admite, además de la mayor amplitud y velocidad de ellas, que su propagación no es longitudinal como la del sonido, sino trasversal, pues si la del sonido se efectúa en la misma dirección que marca su marcha, ó sea del rayo sonoro, la del lumínico es perpendicular al rayo luminoso.

Para formar idea de la forma del movimiento ondulatorio luminoso en el éter, se puede tomar como ejemplo el sencillo fenómeno qne se produce al dejar caer verticalmente sobre la superficie de nivel de un líquido un cuerpo de pequeñas dimensiones, en cuyo acto se observa que la dirección de aquél continúa vertical mientras en la superficie se desenvuelve una serie de ondas cual circunferencias concéntricas, que se propagan en la superficie horizontal ó de nivel y por lo tanto perpendicularmente á la marcha del cuerpo, esto es, trasversalmente.

8.ª *La hipótesis de Newton*, aunque sostenida por él y otros sabios de autoridad científica, hoy es inadmisible, por resultar opuesta á principios científicos demostrados y ser insuficiente para la explicación racional de la mayoría de los fenómenos luminosos; á la inversa de la hipótesis de las ondulaciones, que explicando satisfactoriamente todos los fenómenos luminosos en conformidad con los principios físico-matemáticos, es admitida por todos como si fuera una verdadera teoría.

9.° *Cuerpo luminoso*, foco ú origen de luz, es todo objeto que por sí emite rayos luminosos y nos causa aquella sensación.

10. *Cuerpos alumbrados ó iluminados* son los que mandándonos por reflexión rayos luminosos de los que reciben de cuerpos luminosos, aparecen como éstos, aunque sin serlo, de que son ejemplo la luna, planetas y reflectores.

11. *Los cuerpos luminosos* pueden ser permanentes ó accidentales. Permanentes son los que existen en la naturaleza como el sol y estrellas fijas, y accidentales los que, no siendo luminosos, llegan á serlo por causas accidentales, naturales ó artificiales.

12. *Los focos luminosos accidentales* se subdividen en naturales y artificiales: naturales son los que se hacen luminosos por causas ó circunstancias naturales, como la fosforescencia espontánea de las sustancias orgánicas privadas de vida y los destellos luminosos de algunos seres vivos, como las luciérnagas y algunos infusorios marinos; y artificiales los cuerpos que se hacen luminosos por las circunstancias especiales en que los pone la mano del hombre, como son las llamadas luces artificiales resultantes de la combustión ó elevación de temperatura ó por acciones eléctricas.

13. *Los cuerpos que no son luminosos* llegan á serlo elevando su temperatura sobre 500° en adelante: hecho que se relaciona con el número de vibraciones y gravedad ó agudeza de los sonidos.

Aunque los cuerpos no luminosos pueden llegar á serlo por elevación de su temperatura y la de los luminosos es generalmente bastante elevada, no por esto se ha de creer que la producción del luminico es consecuencia precisa de una alta temperatura, pues así como resultan cuerpos con la suya elevada sin emitir luz, hay algunos que son luminosos teniendo baja temperatura, como sucede en los cuerpos fosforescentes, luciérnagas, etc.

14. *Los cuerpos*, por su aptitud para permitir ó impedir el paso de los rayos luminosos al través de ellos, se clasifican con los nombres de trasparentes y opacos: los primeros son los que dejan pasar los rayos luminosos al través de su masa en más ó menos número, y opacos los que no permiten el paso de rayo alguno.

15. *Los cuerpos trasparentes* se suelen dividir en diáfanos, trasparentes propiamente dichos y traslucientes.

16. *Cuerpos diáfanos* son los que colocados entre el ojo del observador y los objetos que le rodean, dejan pasar sin alteración los rayos lumínicos que parten de aquéllos y permiten al observador ver dichos objetos con sus formas, colores y demás propiedades: ciertos vidrios, muchos cristales y varios líquidos y gases en pequeñas masas son ejemplos de cuerpos diáfanos, aunque en absoluto no existe ninguno que lo sea completamente, en cuyo caso serían invisibles.

17. *Cuerpos trasparentes* propiamente dichos son los que, dejando pasar solamente á través de su masa rayos de alguno ó algunos de los órdenes ó colores de los que componen la luz blanca, y en bastante cantidad, permiten, como los diáfanos, ver los objetos colocados á la parte opuesta con los pormenores de su situación, forma y demás circunstancias; pero con solo un color ó tinta, como se observa en ciertos vidrios, cristales, líquidos y gases, que por esta circunstancia se denominan colorados ó teñidos de tal ó cual color.

18. *Cuerpos traslucientes* son los que aunque dejan pasar á través de su masa rayos luminosos de algunos ó de todos sus órdenes ó colores, es en tan corto número que impiden al observador ver los objetos situados en la parte opuesta.

19. *La trasparencia y opacidad* no son propiedades absolutas de los cuerpos, pues á los opocos se les puede hacer traslucientes, adelgazándolos ó impregnándolos de ciertas sustancias, y lo mismo á los diáfanos, aumentando suficientemente su espesor ó impregnándolo de sustancias convenientes.

20. *En el estudio del lumínico* se continúa empleando nombres que están más en armonía con la hipótesis de la emisión que respecto de la de las ondulaciones: tales son el de punto y rayo luminoso, y el de pincel y haz de luz.

21. *El punto luminoso* se puede definir diciendo es el espacio infinitamente pequeño de donde parten rayos luminosos en todas direcciones, por más que no sea dable considerarlo ó percibirlo aislado; como sucede igualmente respecto del punto y rayo de calor.

22. *Las definiciones de rayo y haz de luz* pueden darse y representarse, como las de rayo y haz de calor (LI—3.ª y 4.ª).

LECCIÓN LXIX.

I. Propagación del luminico.—Sombra, penumbra y reflejo.—Eclipses.—Velocidad de la luz.—II. Fotometría.—Intensidad de la luz y leyes con que varía.—Indicación de los fotómetros que más generalmente se suelen dar á conocer.

1.ª *Propagación de la luz* es el modo de comunicarse y extenderse el movimiento ondulatorio del éter desde los cuerpos luminosos hasta llegar á los demás.

2.ª *La propagación de los rayos luminosos* en medios trasparentes y homogéneos ó de igual densidad se efectúa en todas direcciones y en línea recta.

En efecto, que es en todas direcciones lo prueba el que desde cualquier parte que se mire á un punto luminoso se reciben rayos de luz; y que es en línea recta el que interponiendo entre el ojo y el cuerpo luminoso otro opaco, como un alambre delgado y recto, inmediatamente se percibe en el primero una mancha ó punto negro, efecto de carencia de luz al no llegar la que antes se recibía por la dirección rectilínea ocupada por el alambre.

3.ª *Cuando la propagación de los rayos luminosos* no es indefinida ni en medios homogéneos, al llegar á los cuerpos sobre que aquéllos se dirigen, según éstos son opacos, trasparentes, homogéneos ó heterogéneos, se modifican de varias maneras, resultando los fenómenos de las sombras, reflexión, refracción, trasmisión, dispersión, absorción, interferencias, polarización y difracción.

4.ª *Se da el nombre de sombra* al espacio oscuro privado completamente de luz, que resulta tras los cuerpos opacos cuando se hallan alumbrados por su parte anterior.

5.ª *Toda sombra* se puede considerar formada por la presencia

de un cuerpo luminoso, que con su luz alumbra todo el espacio que le rodea, y por la de otro opaco, que no pudiendo ser atravesado por la que cae sobre los puntos del mismo situados frente al primero, intercepta los rayos que recibe y detiene su marcha; pues continuando la suya los demás, resulta iluminado solamente el espacio inmediato al que debía ocupar la luz detenida, apareciendo en éste la oscuridad ó sombra.

6.ª *Las sombras*, aunque se ven siempre sobre la superficie de la tierra ó de los cuerpos, como si tuviesen dos dimensiones solamente, en realidad siempre tienen las tres, constituyendo volúmenes geométricos de variadas formas, dependientes de la de los cuerpos opacos que las originan, de la distancia del origen luminoso y de la inclinación de los rayos de éste.

7.ª *Que las sombras* son volúmenes geométricos se comprende fácilmente sabida su formación; lo que se prueba observando que la sombra proyectada sobre el suelo por una tapia, más ó menos elevada, no sólo oscurece los piés del que penetra en ella, sino que también una parte más ó menos grande del cuerpo, todo él y hasta los objetos de una mayor talla; cuando si la sombra sólo tuviese dos dimensiones, todo objeto que se elevase sobre la superficie cubierta por ella debiera recibir inmediatamente luz, lo que no sucede así.

8.ª *Cuando la luz* que sale de un punto luminoso es interceptada por un cuerpo esférico opaco, la sombra que resulta á la parte opuesta de éste es un tronco de cono, cuya base menor es el círculo mínimo de la esfera, determinado por los puntos de contacto de los rayos tangentes á la misma, y su altura una longitud infinita.

9.° *Cuando* el cuerpo luminoso y el opaco son esféricos, la sombra se forma del modo siguiente: los rayos que parten de los puntos del cuerpo luminoso, situados frente al opaco, se dirigen con innumerables inclinaciones hacia éste, y los que, paralelos, divergentes ó cortados entre el mismo y el origen, caen sobre el opaco, iluminan la parte de su superficie comprendida por los rayos que llegan y pasan tangentes al mismo, de los cuales unos forman una especie de superficie cónica ó cilíndrica, según los casos, que limita la sombra resultante, y otros una superficie de

tronco de cono, que limita siempre la penumbra, separándola del espacio iluminado donde llegan todos los rayos dirigidos hacia él.

10. *La penumbra* es una sombra más débil ó menos oscura que la verdadera, comprendida entre ésta y el espacio iluminado ó en luz.

11. *La penumbra* se forma al rededor de la sombra, por no llegar al espacio que ésta ocupa toda la luz dirigida hacia él por el cuerpo luminoso en los diferentes órdenes de inclinación con que es emitida, y sí sólo una pequeña parte de la misma correspondiente á los rayos de cierto orden de inclinación no interceptados por el cuerpo opaco.

12. *La formación de la sombra* y la de la penumbra se determina gráficamente con la figura geométrica que se puede construir, trazando los dos órdenes posibles de tangentes á los cuerpos luminoso y apaco, unas exteriores á ambos y otras interiores ó que se cortan entre los mismos, aplicando el problema de trazar una tangente á dos circunferencias exteriores.

De esta manera la sombra queda determinada por el cono ó tronco de cono limitado por las tangentes exteriores, y la penumbra por el espacio comprendido entre la superficie engendrada con dichas tangentes y la que forman las interiores.

Con la misma figura se determina y explica la formación de la parte iluminada por completo y del círculo de iluminación. La primera es la parte anterior del cuerpo opaco para quien no se pierde ninguna luz de la que á él se dirige, en contraposición á la sombra donde no llega rayo alguno. El círculo de iluminación es la parte inmediata comprendida entre la iluminación completa y la penumbra, donde si bien llega aún bastante luz, empieza ya á ser detenida alguna, resultando menor iluminación, á la inversa de lo que sucede en la penumbra, donde aunque apenas llega luz, por ser interceptados casi todos los rayos hacia ella dirigidos, empiezan á penetrar algunos, resultando menos oscuridad.

La iluminación completa en el cuerpo opaco resulta igual á la zona de una sola base que se determina ó limita por la circunferencia formada con los puntos de contacto de las tangentes interiores.

Por último, el círculo de iluminación resulta igual á la zona de dos bases, de las cuales una es la de la iluminación completa y la otra la circunferencia formada por los puntos de contacto de las tangentes exteriores, que es común á la base menor de la penumbra.

13. *Cuando* el cuerpo luminoso y el opaco son esféricos, la

sombra y penumbra pueden resultar con las formas siguientes: si el cuerpo luminoso es de igual diámetro que el opaco, la sombra es un cilindro de altura infinita; si de menor diámetro, un trozo de cono de altura también infinita y apoyado por su base menor en el cuerpo opaco, y si de mayor, un cono perfecto. La penumbra, en los tres casos, viene á ser un tronco de cono de altura infinita, cuya base menor se halla en el cuerpo opaco, y que contiene dentro de sí á la sombra.

14. *La forma* y magnitud de las sombras, en general, así como la de las respectivas penumbras, dependen de las de los cuerpos luminosos y opacos, de sus volúmenes y de sus distancias intermedias.

15. *Las sombras* que producen los cuerpos opacos, no siendo con experimentos dispuestos al objeto y sí como generalmente se observan, no resultan tan bien determinadas como debiera suceder según la teoría, en virtud de la luz que á sus espacios llega de la que mandan por reflexión los demás cuerpos que rodean al opaco; cuyo hecho se denomina reflejo, que tanto influye en el efecto de la iluminación de las pinturas, decorado de las habitaciones, etc.

16. *Se da el nombre de eclipse* en Astronomía á la privación de luz, que durante cierto tiempo experimentan, en una parte más ó menos considerable de su superficie iluminada, los cuerpos celestes no luminosos por sí, cuando se interpone entre ellos y el sol otro astro no luminoso como ellos.

La explicación general de todo eclipse es la siguiente: los planetas y satélites son cuerpos opacos y no luminosos, que girando en el espacio alrededor del sol, en la forma en que lo verifican, reciben de éste la luz que los ilumina y proyectan tras de sí, hacia la parte opuesta á la de que reciben los rayos solares, una sombra en forma de cono, de altura determinada en virtud de su menor diámetro respecto del solar; por cuya razón, cuando en su marcha se combinan sus posiciones y distancias del modo conveniente, según enseña la Astronomía, llegan á penetrar unos en los conos de sombra de los otros, y el que penetra deja de recibir la luz que el otro intercepta, en una extensión más ó menos considerable y durante un cierto tiempo, hasta que, con sus respectivos y no interrumpidos movimientos, pasan á otras posiciones en que deja de tener lugar aquella penetración.

17. *Velocidad de la luz* es la distancia á que alcanza en un segundo el movimiento ondulatorio del éter.

18. *La propagación de la luz* se consideró era instantánea y que su velocidad inmedible, porque siendo ésta tan grande, y tan pequeñas las distancias terrestres que el hombre puede descubrir, dichas distancias resultaban insuficientes para los experimentos necesarios y conducentes á la medida de dicha velocidad, pero no es así, pues se halló el modo de apreciarla.

19. *El primero* que halló medio de medir la velocidad de la luz, llegando á determinarla, fué el astrónomo dinamarqués Rœmer, que en 1675 resolvió este problema, mediante la observación de los eclipses del primer satélite de Júpiter, á consecuencia de los adelantos y retardos que notó en ellos respecto de sus tiempos correspondientes, según las tablas calculadas por D. Cassini.

La velocidad de la luz se determinó valiéndose de los eclipses del primer satélite de Júpiter, procediendo del modo siguiente: 1.° se halló por el conveniente número de observaciones, que el tiempo trascurrido de una inmersión de dicho satélite en la sombra de Júpiter á la siguiente inmediata era de 42 horas, 28 minutos, 35 segundos; esto es, 42 horas y 1|2 próximamente; 2.° resultó de las mismas que desde una inmersión cualquiera á su inmediata siempre mediaba aquel mismo tiempo; 3.° que dividiendo el trascurrido desde una al de otra no inmediata por las 42 horas, 28 minutos, 35 segundos, no se obtenía cociente exacto para expresar el número de eclipses verificados en el tiempo total trascurrido, como debia suceder si los tiempos fuesen exactamente iguales, sino que resultaba un residuo, tanto mayor cuanto más distaban entre sí los tiempos de los dos eclipses y los puntos de estancia de la tierra en su órbita, y que, por consiguiente, se diferenciaban más las distancias que la luz tenía que recorrer; 4.° que dividiendo por las 42 horas, 28 minutos, 35 segundos el tiempo trascurrido entre las inmersiones observadas al hallarse la tierra en el punto de su órbita más próximo á Júpiter y el más distante, se obtuvo un residuo de 16 minutos 26 segundos, y, últimamente, que dividiendo por este residuo la distancia de aquellos dos puntos, la cual viene á ser el valor del eje mayor de la órbita terrestre, igual próximamente á 76461000 de leguas de á 4 kilómetros, el cociente obtenido se puede considerar como valor de la velocidad de la luz.

20. *La velocidad de la luz solar* se halló igual á 77000 leguas de á 4 kilómetros, que vienen á ser unos 30800 miriámetros; ó en leguas de 20 al grado 54000, resultando además que la propagación de la luz se efectúa con movimiento uniforme.

La luz del sol, según su velocidad y la distancia de este astro á la

tierra, se calcula tarda en llegar á ésta 8 minutos y 13 segundos por término medio.

La de las estrellas más próximas á la tierra, cuya distancia se calcula es 206265 veces mayor que la del sol, tarda en llegar á ella unos tres años y tres meses.

La luz de las nebulosas, no obstante la gran velocidad de aquélla, necesita miles de años para llegar á nosotros en virtud de su inmensa distancia.

Por esta razón el sitio en que vemos los astros no es en realidad el que ocupa en el instante de la visión, sino aquél en que se hallaban tanto tiempo antes cuanto el que tarda en llegar su luz para hacérnoslos visibles. Así mismo sería posible seguir viendo estrellas después de mucho tiempo de aquél en que se extinguiese su luz, si esto se verificase.

Aunque la velocidad de la luz por ser tan grande no se llegó á determinar sino por el procedimiento astronómico de Rœmer, hoy se puede hacer su determinación por el método experimental de Foucault, en cuyos pormenores no es posible detenerse; pero baste saber que perfeccionado después por Fizeau y otros, se ha llegado á obtener un valor de 30040 miriámetros, que tanto se aproxima á los 30800 obtenidos astronómicamente. Para formar una idea de lo ingenioso del experimento, basta considerar que la velocidad de una rueda dentada del aparato da más de 1600 vueltas por segundo.

II.

21. *Fotometría* es la parte de la óptica que se ocupa de la comparación de las intensidades de la luz para hallar la relación entre las de los diferentes focos, y establecer las correspondientes leyes.

22. *Intensidad de una luz* es la cantidad que de ésta recibe la unidad de superficie del cuerpo sobre que cae ó á quien ilumina, la que no es siempre igual, sino que decrece por las circunstancias que intervienen en su producción, y á consecuencia de la naturaleza de los cuerpos que la reciben y trasmiten; pero en igualdad de todas las demás circunstancias, decrece principalmente por razón de las distancias é inclinación de los rayos luminosos respecto de los cuerpos de que ellos emanan ó sobre que caen.

13. *La intensidad* luminosa de un mismo foco á igualdad de las demás circunstancias varía según las leyes siguientes:

1.ª La intensidad de una luz varía en razón inversa de los cuadros de sus distancias á los cuerpos que la reciben.

Esta ley se demuestra por el mismo procedimiento que la respectiva á la intensidad del sonido (XLVI—19), pudiéndolo hacer también por otros experimentales y geométricos.

2.ª La intensidad de la luz, en igualdad de todas las demás circunstancias, varía con la inclinación de los rayos que salen de los cuerpos luminosos, resultando en su máximum cuando aquéllos salen perpendicularmente, y disminuyendo á medida que lo efectúan con mayor oblicuidad respecto de la superficie emitente.

Se puede decir que la intensidad de una luz decrece á medida que disminuye el ángulo que forman los rayos luminosos con la superficie que los emite.

El enunciado matemático de esta ley es el siguiente: la intensidad de la luz emitida oblicuamente por una superficie, es proporcional al conseno del ángulo que los rayos luminosos forman con la normal á la misma en el punto de emergencia, ó bien al seno del ángulo que hacen los mismos con dicha superficie.

3.ª La intensidad de la luz de un mismo foco, en igualdad de las demás circunstancias, varía por la inclinación con que los rayos luminosos caen sobre las superficies que los reciben, resultando la iluminación de éstas en su máximum cuando los rayos caen perpendicularmente á las mismas, y tanto menor á medida que lo efectúan con mayor oblicuidad; así es que la intensidad de la luz en las superficies iluminadas, ó sea la iluminación de éstas, decrece con el ángulo que forman los rayos incidentes sobre las mismas.

El enunciado matemático de esta ley es el siguiente: la intensidad de la luz recibida oblicuamente por una superficie, es proporcional al coseno del ángulo que hacen los rayos incidentes con la normal al punto de incidencia, ó bien al seno del ángulo que forman los mismos con la superficie iluminada.

24. *Fotómetros* son los aparatos que se emplean para comparar y relacionar las intensidades luminosas de los diferentes focos de luz.

Entre los diferentes fotómetros que se pueden usar, conviene conocer, como principales, los tres siguientes: 1.° el de Bouguer; 2.° el de Rumford, y 3.° el de Wheatstone.

25. *El de Bouguer* consiste en una pantalla con dos orificios rectangulares ó circulares, cubiertos con papel trasparentado ó

con vidrios deslustrados, la cual se halla colocada perpendicularmente á un tablero rectangular que le sirve de pedestal.

Se usa colocando frente á los orificios los dos focos de luz, cuyas intensidades se hayan de comparar, separándolos con una pantalla perpendicular á la del aparato, á fin de que por cada uno de sus orificios no pase más luz que la del foco de su frente, y alejando gradualmente uno ú otro de dichos focos hasta que, mirando á la pantalla de los orificios por la parte posterior á la cara por donde recibe la luz, resulten aquéllos igualmente iluminados.

Llegado este caso y medidas después las distancias entre la pantalla y cada luz, se hallan sus segundas potencias y la relación de éstas será la de las luces de los dos focos.

En efecto, representando por Y la intensidad del primer foco á la unidad de distancia respecto de la pantalla y por i la del otro foco á la misma distancia 1; por D y d las distancias á que ambos focos llegan á iluminar la pantalla con igual intensidad y ésta por x, se tendrá (LXIX—23) respecto del primero $x : Y :: 1^2 : D^2$, y del segundo que $x : i :: 1^2 : d^2$, luego $Y : i :: D^2 : d^2$.

26 *El fotómetro de Rumford* viene á ser como el de Bouguer, diferenciándose en que la pantalla del aparato no lleva orificios, sino que es de papel trasparente ó vidrio deslustrado, y en que entre ella y los focos luminosos se interpone una esfera ó cilindro que proyecta sobre aquélla las sombras respectivas á cada foco.

Se usa colocando los dos focos luminosos simétricamente á uno y otro lado del cuerpo que ha de producir las sombras respectivas, aproximándolos después convenientemente hasta que aquéllas se toquen sin sobreponerse, y alejándolos ó aproximándolos á la pantalla hasta que vistas las mismas por la cara de la parte opuesta á la que reciba los rayos luminosos resulten igualmente oscuras.

En este caso se concibe que el campo iluminado alrededor de las sombras lo está con igualdad y, por consiguente, que á tales distancias las luces alumbran igualmente; por cuya razón y con iguales consideraciones que en el de Bouguer, se deduce que las intensidades de los focos serán entre sí como los cuadrados de sus distancias respectivas á la pantalla.

Se prefiere el fotómetro de Rumford al de Bouguer porque es más fácil notar la desigualdad de las dos sombras en el primero, hasta lle-

gar á su igualdad, que no la de la iluminación de los dos orificios trasparentes en el segundo; pero según el principio en que se funda el uso de este fotómetro y el de Bouguer, ninguno es á propósito para comparar las intensidades de las luces de diferente tinta ó color.

27. *El fotómetro de Wheatstone* se reduce á una pequeña caja cilíndrica con un mecanismo á propósito para poder comunicar simultáneamente, por medio del correspondiente manubrio, un movimiento rápido circular de traslación alrededor del limbo de la base superior de la caja, y otro de rotación sobre su eje á una esferita de vidrio azogado, que, reflejando perfectamente la luz, puede formar una imagen pequeña, pero muy brillante, de la de cada foco que se le presente. Se usa del modo siguiente: sostenida la caja con una mano, se coloca de modo que reciba, con diferente dirección, la luz de cada uno de los dos focos que se hayan de comparar; con la otra se mueve el manubrio para que la esferita gire rápidamente efectuando sus movimientos de rotación y traslación, alejando ó aproximando los focos luminosos hasta que las dos líneas de luz, que se producen por la persistencia de las impresiones, resulten de igual brillo.

En este caso se miden las distancias de los focos al aparato, y la razón directa de sus cuadrados será la de las intensidades de las dos luces, por razones análogas á las expuestas respecto del fotómetro de Bouguer.

28. *No son visibles* generalmente las estrellas ni los planetas durante el día, porque la intensidad de su luz es 64 ó más veces menor que la iluminación de la atmósfera por el sol, según resulta de las observaciones fotométricas correspondientes, pues los resultados fotométricos han hecho ver que la luz de los cuerpos iluminados y de los luminosos se deja de percibir en presencia de otra 64 veces mayor.

LECCIÓN LXX.

I. Reflexión del luminico y sus leyes.—Difusión luminosa.—Reflectores. —II. Espejos, su clasificación, focos é imágenes producidas por los mismos.—Multiplicación de la imagen de un objeto colocado entre dos ó más espejos planos.—Kaleidoscopio.

I.

1.ª *Reflexión del luminico* es la modificación en cuya virtud los rayos luminosos, al llegar á la superficie de los cuerpos, retroceden en mayor ó menor número por la misma dirección de su incidencia ó por otra diferente según leyes fijas.

Se verifica semejantemente á lo indicado respecto de la reflexión del calórico, y lo mismo que en ésta y en la del sonido, hay que considerar la dirección de incidencia, ó *el rayo incidente;* la de por donde retrocede, ó *rayo reflejado;* la *superficie reflectante y punto de incidencia*, y *los ángulos de incidencia* y de *reflexión,* como se indicó (XXXII—9.ª).

2.ª Las leyes con que se efectúa la reflexión de la luz son las dos siguientes: 1.ª que el ángulo de reflexión es igual al de incidencia, y 2.ª que el rayo reflejado y el incidente resultan en un mismo plano perpendicular ó normal á la superficie reflectante, y, por consiguiente, que el plano determinado por el ángulo de reflexión es prolongación del constituído por el ángulo de incidencia.

3.ª *Se demuestran* estas leyes experimentalmente por medio del aparato de Silberman, que consiste en un círculo graduado, sostenido por el correspondiente pie, en disposición de poder girar al rededor de un centro y de que su plano permanezca vertical. Dicho círculo lleva en su centro un espejo plano en la dirección del diámetro en cuyos extremos está el grado 90, principio de la graduación de los dos cuadrantes superiores, y es por consiguiente perpendicular al que tiene anotado sobre su extremo superior el 0°: sobre el borde ó limbo de los dichos cuadrantes hay dos placas ó pantallas taladradas en su centro, las cuales se fijan con tornillos de presión perpendicularmente al plano vertical del círculo.

Para demostrar la 1.ª ley se coloca el aparato en disposición de que un haz luminoso, dirigido por medio del portaluz, de un simple espejo ó de cualquier otro modo, penetre por la abertura de una de las dos pantallas y que, siguiendo la dirección del radio correspondiente, vaya á caer en la parte céntrica del espejo; pues en tal caso, si se dirige por la abertura de la otra pantalla la visual correspondiente hacia dicha parte céntrica del espejo se observará, que cuando el orificio de esta segunda resulta colocado simétricamente con el de la otra respecto del diámetro del círculo perpendicular al espejo, se ve en medio de éste un pequeño círculo de luz, imagen del primer orificio, y que deja de verse tan pronto como la segunda pantalla se desvía á uno ú otro lado En el primer caso, el ángulo que forma la visual dirigida por el orificio de la segunda pantalla con el diámetro perpendicular al espejo es enteramente igual al formado con el mismo diámetro y el rayo recibido por el orificio de la primera pantalla, y como este rayo es el incidente y la dirección de la visual la del reflejado, claro es que aquellos ángulos son los de incidencia y reflexión y, por consiguiente, que resultan siempre iguales. La demostración de la 2.ª ley está envuelta en la de la primera, pues siendo la marcha del rayo incidente y del reflejado, según la disposición del aparato con que se practica el experimento, paralela al plano vertical del círculo, será paralelo á éste el plano que dichos rayos determinen, y como de estos dos planos el primero es perpendicular al espejo, el segundo también lo será.

Que la marcha del rayo incidente y reflejado, en el experimento, es paralela al plano del aparato, se puede hacer ver dándole á la segunda pantalla una disposición conveniente para alejar ó aproximar su orificio á dicho plano, pues en tal caso se observa que sólo se percibe el rayo reflejado cuando el orificio de la segunda pantalla se halla respecto al plano del círculo á igual distancia que el de la primera.

4.ª *Las leyes* de la reflexión de la luz son generales para toda clase de superficies reflectantes, pues lo mismo se verifican respecto de las curvas que delas planas, sin más diferencia que en la manera de considerar los ángulos de incidencia y de reflexión en uno y otro caso.

En el caso de ser plana la superficie reflectante, los ángulos de incidencia y de reflexión se consideran formados respectivamente por el rayo incidente y el reflejado con la perpendicular correspondiente al punto de incidencia. Si la superficie reflectante es curva, dichos ángulos se forman con la normal correspondiente al punto de incidencia, que es la perpendicular á la tangente de la curva en dicho punto; de donde resulta que si la superficie reflectante es esférica, dichos ángulos se consideran respecto al radio correspondiente al punto de incidencia en el caso de efectuarse la reflexión por la cara cóncava, pues si es por

la convexa hay que considerarlos respecto de la prolongación de dicho radio.

5.ª *También son generales* estas leyes para toda clase de rayos luminosos, cualquiera que sea el origen de que dimanen.

6.ª *Se da el nombre de difusión ó reflexión* irregular de la luz al fenómeno semejante á la difusión calorífica, que consiste en la reflexión y esparcimiento de los rayos luminosos al rededor de los puntos de incidencia, sobre los elementos de las superficies reflectantes en todas direcciones, además de las correspondientes por las leyes generales de la reflexión regular. Ésta se suele llamar también reflexión especular.

Las consideraciones expuestas sobre la difusión calorífica (LII—16) son aplicables á la de la luz, la cual se concibe y explica mejor que aquélla; pues la primera sólo se reconoce por resultados de ciertos experimentos, cuando la segunda se percibe por los ojos.

7.ª *Como efecto* y ejemplo de luz difusa podemos citar la emanada de los cuerpos opacos, que en general los hace visibles, sin cuyo fenómeno únicamente se distinguirían los cuerpos luminosos por sí, ó alguna parte de los iluminados, si sólo se recibiese la luz reflejada por éstos regularmente; la de las habitaciones, y demás sitios donde no penetran directamente los rayos del sol, es toda ó su mayor parte luz difusa, por cuya razón los cuerpos y espacios en sombra no lo están generalmente de un modo absoluto, sino que vienen á ser una especie de penumbra por la luz difusa que reciben de los cuerpos inmediatos: últimamente, la difusión de la luz hace que los cuerpos no luminosos se puedan considerar como si lo fueran cuando están iluminados, y que les sean aplicables en ciertos casos todas las propiedades y consideraciones relativas á los luminosos.

8.ª *Se da el nombre* de cuerpos reflectores á los que, por el estado de su superficie, reflejan la totalidad ó mayor parte de la luz que reciben.

Todos los cuerpos son reflectores si se considera que no hay cuerpo alguno, fuera de los verdaderamente negros, que deje por completo de reflejar la luz; mas para las aplicaciones no pueden admitirse como tales los que, por absorber una gran parte y difundir otra, sólo reflejan regular ó especularmente una pequeña cantidad de la total que cae sobre sus caras.

9.ª *Los cuerpos opacos*, por buenos reflectores que sean, nunca reflejan toda la luz que reciben; pues, aparte de la difusión, absorben dentro de sí, consumiéndola ó destruyéndola, una parte más ó menos considerable, según la naturaleza de los cuerpos y su estado superficial.

10. *Los cuerpo diáfanos* y los trasparentes no trasmiten toda la luz que cae sobre sus caras, pues siempre reflejan una parte de ella más ó menos considerable, y de la que en ellos penetra absorben también alguna.

11. *La aptitud de los cuerpos* para reflejar la luz no sólo es diferente de unos á otros, por razón de su distinta naturaleza, sino que depende en un mismo estado de sus superficies y de su color.

La inclinación en la incidencia de los rayos luminosos influye también en la reflexión, pues cuanto menor es el ángulo de aquéllos con la normal al punto de incidencia, ó mayor con relación al plano reflectante, resulta tanto menor, así como crece más y más cuanto mayor es el ángulo con la normal, ó menor respecto del plano de reflexión. Así es como mirando con mucha oblicuidad una hoja de papel blanco colocada ante una bujía encendida, se puede ver la imagen de su luz por reflexión, lo que no se consigue mirando con menos oblicuidad ó perpendicularmente.

La naturaleza del medio en que se hallan los cuerpos influye también notablemente, pues el vidrio sin deslustrar refleja más en el aire que en el agua.

12. *Las circunstancias* superficiales que favorecen la reflexión, en igualdad de cuerpos, medios en que se hallan colocados é inclinación de los rayos incidentes son las que siguen: su mayor tersura, pulimento, blancura, ó claridad del color que poseen, y su mayor densidad. Las que la perjudican son, por el contrario, el estar deslustradas y el ser negras ó de color oscuro.

Cuerpos mates son los que por su porosidad, aspereza ó estar deslustrados, aunque sean blancos, reflejan poca luz especularmente, difundiéndola mucho.

II.

13. *Se da el nombre de espejos* á los cuerpos, cuyas superficies se hallan en tal estado de tersura ó pulimento, que, reflejando regularmente en alto grado la luz recibida de los objetos que se

presentan ante ellos, producen imágenes perfectas de los mismos.

14. *Los verdaderos espejos*, por razón de la materia de que están formados, pueden ser de vidrio azogado ó metálicos, ó también de vidrio platinado según el procedimiento de Mr. Dodé.

15. *Los espejos* por razón de su forma pueden ser planos y curvos.

16. *Los planos* son aquellos en que el azogado ó platinado en los de vidrio, ó el bruñido, en los metálicos, se halla sobre una cara plana.

17. *Espejos curvos* son aquellos en que el azogado, platinado ó bruñido se halla sobre una superficie curva.

18. *Los espejos curvos*, por razón de su curvatura, pueden ser de varias especies, según la clase de superficie curva en que se aplica el bruñido, azogado ó platinado, á saber: esféricos, parabólicos, elípticos, cónicos, cilíndricos, etc.

También los hay prismáticos, poliédricos y de variadas combinaciones de superficies planas y curvas, pero los más usuales é interesantes son los esféricos, razón por la cual son los que se estudian principalmente.

19. *Los espejos curvos* pueden ser de dos clases, cóncavos y convexos.

20. *Son cóncavos* cuando el azogado, platinado ó bruñido está dado de manera que la reflexión se verifica sobre la superficie cóncava.

21. *Son convexos* cuando el azogado, platinado ó bruñido está dado de tal manera que la reflexión se efectúa sobre la superficie convexa.

22. *Foco de reflexión* de un espejo es el punto donde se reunen cortándose los rayos luminosos después de reflejados por aquél, ó el punto de intersección de sus prolongaciones por detrás de la cara reflectante, por cuya razón se dividen los focos en reales y virtuales.

23. *Foco real* de un espejo es el punto en donde se cortan los rayos luminosos, después de reflejados, resultando concentración de luz, y de calor si se trata de reflexión de rayos caloríficos.

24. *Foco virtual* de un espejo es el punto de intersección de las prolongaciones de los rayos luminosos después de reflejados

por aquél, en cuyo punto no es posible la concentración de luz ni la de calor, porque en realidad no pasan por él ondas luminosas ni caloríficas como en el caso del foco real: en los espejos planos los focos siempre son virtuales, pero en los curvos unas veces son reales y otras virtuales.

25. *Se da, en óptica,* el nombre de imágenes á las figuras ideales, semejantes á objetos reales ó materiales, que la imaginación concibe detrás ó delante de los espejos y lentes, en virtud de la impresión que nos causan en el sentido de la vista los rayos luminosos, que, partiendo de los cuerpos físicos, penetran en el ojo después de reflejados por los espejos ó de refractados por los lentes.

26. *La imagen* de un punto luminoso formada por un espejo plano, resulta respecto de éste simétrica con aquél, esto es, que aparece en la prolongación de la perpendicular que se puede concebir tirada al espejo desde el punto luminoso, á una distancia por detrás igual á la comprendida por delante entre el espejo y dicho punto luminoso, ó lo que es lo mismo, en su foco virtual.

27. *La formación* de la imagen de un objeto detrás de un espejo plano se explica muy sencillamente sabida la de un punto, pues concibiendo la de cada uno sucesivamente y reunidos después en un todo continuo, se obtendrá la imagen total, que es virtual.

Según esto, para representar y explicar la formación de las imágenes detrás de los espejos planos, no se necesita complicar las figuras con los rayos luminosos ni con los reflejados, sino tirar únicamente desde cada punto del objeto, ó por sus puntos más salientes, una perpendicular al espejo, y prolongadas todas por detrás de éste, señalar en cada una de las prolongaciones un punto simétrico, esto es, á igual distancia que esté delante del espejo el punto correspondiente del objeto.

28. *Cuando se dice* que la imagen virtual de un objeto, formada por un espejo plano, es simétrica con aquél, no significa otra cosa sino que los puntos de ella son simétricos respectivamente á los puntos del objeto, esto es, que cada punto y su imagen se hallan en la perpendicular correspondiente al primero y equidistantes de las caras del espejo.

La simetría de las imágenes hace que los puntos de ésta correspondientes á los situados á la derecha de un objeto resulten como forman-

do la izquierda de aquélla, y que vulgarmente se diga que está invertida; mas esto no debe expresarse así, sino diciendo, como queda indicado, que es simétrica con el objeto; pues la inversión envuelve otra idea muy diferente, cual es que las imágenes de los puntos de la derecha de un objeto resultan á la izquierda del mismo, las de la izquierda á su derecha, las correspondientes á sus puntos superiores hacia la parte inferior y las de los inferiores en la superior.

29. *Cuando* se presenta un objeto á un espejo plano, debiendo ser su imagen simétrica, si la posición de aquél es paralela al espejo, la imágen lo es igualmente por detrás; si se dispone el espejo con la inclinación de 45° respecto de la pared, y el objeto está delante en posición vertical, como sucede generalmente, su imagen resulta horizontal; mas, por la inversa, si el objeto se coloca horizontalmente, su imagen aparece vertical.

30. *Cuando* un objeto se coloca entre dos espejos, no sólo se ve su imagen en cada uno de ellos, sino que se multiplica aquélla y aparece repetida más ó menos veces, según el valor del ángulo que forman los mismos.

31. *El número* de estas imágenes se puede determinar por la fórmula $n=\frac{360}{a}-1$ en que n representa el número de imágenes que se forman y a un número variable, valor del ángulo de los espejos en cada caso.

32. *Si el ángulo* de los espejos es de 180°, en cuyo caso es como si no hubiese más que uno solo, se ve una imagen, que es lo sabido por todos.

El espejo plano no da más que una imagen para el ojo de cada observador, pero respecto de muchos de éstos resulta una para cada cual; pues aunque se vea por todos en igual situación, en realidad es diferente la vista por unos de la percibida por otros, porque si bien se forma de la misma manera para todos, y por eso resulta con igual situación, sin embargo, cada cual la percibe por medio de rayos diferentes.

33. *Cuando* se coloca un objeto entre dos espejos que forman un ángulo de 90°, se ven tres imágenes, según se deduce por la fórmula antes citada y se observa experimentalmente.

34. *Cuando* se coloca un objeto entre dos espejos cuyo ángulo es de 0° y, por consiguiente, son paralelos, el número de imágenes según la fórmula es infinito; y en efecto, el que se puede observar experimentalmente es prodigioso, aunque se limita por fin.

Esta limitación resulta porque de la luz reflejada en el primer espejo, una parte penetra en el ojo del observador, dando la correspondiente imagen, otra va á reflejarse en el segundo para dividirse de la misma manera con igual objeto que en el primero, y así sucesivamente; por lo que la luz que se recibe en el ojo para la formación de cada imagen, va siendo cada vez menor y tan pequeña por último, que no es bastante para continuar produciendo otras nuevas.

35. *El kaleidoscopio* es un aparato en forma de anteojo, construído de modo que, al mirar por el orificio de una de sus bases, se observa en la otra una formación de dibujos caprichosos y variados á medida que, haciendo girar ó vibrar el aparato, se mueven los objetos que los producen.

Su construcción es la siguiente: dentro de un tubo se colocan dos ó tres laminitas rectangulares de vidrio de espejo, unidas de modo que su ángulo ó ángulos diedros sean de 45° en el primer caso, ó de 60° en el segundo: en una de las bases lleva un orificio para mirar á través de un vidrio diáfano, y en la otra dos vidrios, deslustrado el exterior, fijados convenientemente y entre los cuales se colocan objetos ligeros trasparentes y de colores vivos, que pueden tomar diferente colocación y enlace en las diferentes posiciones que se dan al aparato.

El uso y construcción del kaleidoscopio se funda en la multiplicación de las imágenes por los espejos que forman ángulo; pues, según su disposición, los rayos de luz que iluminan los objetos movibles, al seguir adelante en el interior del instrumento, sufren las mutuas reflexiones que produce dicha multiplicación de imágenes, y al verificarse ésta, resultan combinaciones y enlaces entre las de dichos objetos, tan varias como es posible concebir.

36. *La visión* de los objetos se explica por la reflexión, del modo siguiente: los rayos de luz de los cuerpos luminosos, como los del sol, etc. dirigiéndose hacia todas partes, son interceptados por los cuerpos que encuentran á su paso, y reflejados por ellos, al recibirlos en su ojo el observador sufre la impresión respectiva y consiguiente sensación, que constituye la visión del objeto.

LECCIÓN LXXI.

I. Elementos que es necesario considerar en los espejos curvos, concretándose principalmente á los esféricos.—Focos que pueden resultar en los espejos esféricos cóncavos y sus respectivas posiciones.—Id., idem en los convexos.— II. Formación de las imágenes en unos y otros.— Aberración de esfericidad en los espejos esféricos.— Catacaústicas ó caústicas por reflexión de los espejos esféricos.—Diferentes clases de imágenes que producen los espejos esféricos y sus variadas posiciones y tamaños.—Anamórfosis producidas por espejos cilíndricos y cónicos.

I.

1.ª *En los espejos curvos,* cualquiera que sea su especie por razón de su curvatura, es necesario considerar, además de sus focos, los elementos siguientes: sección principal ó meridiana, vértice, eje principal, ejes secundarios, abertura, foco principal y focos recíprocos ó apareados.

2.ª *Al definir* los elementos de los espejos curvos y en cuantas consideraciones sea necesario hacer acerca de las imágenes de los mismos se entenderán referidos á los esféricos.

3.ª *Sección principal* ó meridiana de un espejo es el arco resultante de la intersección de su superficie con un plano dirigido por el eje principal.

4.ª *Vértice* del espejo ó centro de figura del mismo es el punto céntrico de la zona de una sola base á que el espejo se puede considerar reducido.

5.ª *Abertura* de los espejos esféricos es el ángulo que determinan en el centro los radios que pasan por los extremos del arco de su sección principal ó meridiana.

6.ª *Eje principal* de un espejo esférico es la recta trazada por su vértice ó centro de figura y el centro de su curvatura, que es el de la esfera á que corresponde el espejo.

7.ª *Ejes secundarios* son cada una de las líneas que pasan por el centro de curvatura del espejo y un punto cualquiera de su superficie.

8.ª *Foco real principal* de un espejo esférico cóncavo es el punto del eje principal por donde pasan y se reunen, después de

reflejados, los rayos luminosos que, al caer sobre el espejo, se pueden considerar como paralelos al eje.

9.ª *Foco virtual principal* de un espejo esférico convexo es el punto en que por detrás de éste cortan al eje principal las prolongaciones de los rayos reflejados sobre la superficie convexa, después de su incidencia paralela á dicho eje principal.

10. *Se da el nombre de focos apareados ó recíprocos*, denominados impropiamente conjugados, á cada uno de los que resultan entre el foco principal y el centro de curvatura, y entre éste y el infinito, por la mutua relación y dependencia de unos con otros, en virtud de la cual, cuando el punto luminoso se halla en uno de los segundos, resulta en uno de los primeros el foco correspondiente, y viceversa.

11. *El foco real principal* de un espejo esférico cóncavo viene á resultar próximamente en el eje principal, sobre el punto medio del radio que une el centro de figura con su vértice, aunque distando algo menos de éste que respecto de aquél.

Esta propiedad se demuestra representando la sección principal del espejo por un arco de circunferencia y señalando su centro de curvatura; trazando el eje principal correspondiente al punto de incidencia y por un punto no lejano del vértice el rayo de luz incidente paralelo al eje; trazando en seguida el radio correspondiente al punto de incidencia que repesentará la normal correspondiente á dicho punto, y construyendo el rayo reflejado hasta cortar al eje principal; pues de esta manera resulta una sencilla figura en que, con el triángulo formado sobre el eje por el radio y el rayo reflejado, se deduce fácilmente dicha propiedad.

12. *Cuando* el punto luminoso se acerca al centro de curvatura del espejo y los rayos no caen sobre éste paralelamente á su eje principal, el foco resulta entre dicho foco principal, y el referido centro de curvatura, aproximándose á éste más y más.

13. *Cuando el punto luminoso* se sitúa en el centro de curvatura del espejo, el foco resulta en este mismo punto.

En efecto, dirigiéndose los rayos incidentes por los radios y siendo nulo el ángulo de incidencia, nulo será el de reflexión, y retrocediendo los rayos reflejados por los mismos radios, se cortarán en el mismo punto que éstos, y por consiguiente en el centro de curvatura.

14. *Cuando* el punto luminoso se halla entre el centro de cur-

vatura y el foco principal, el foco correspondiente resultará alejándose del espejo más allá del dicho centro de curvatura, á tanta más distancia de éste cuanto más se acerque el punto luminoso al referido foco principal. Cuando el punto luminoso se halle situado en el mismo foco principal, los rayos reflejados saldrán paralelos al eje principal, no habrá corte de rayos luminosos ni reconcentración de luz y, por consiguiente, no resultará verdadero foco.

En este caso, que es el que limita el alejamiento de los focos respecto del centro de curvatura, se suele decir que el foco resulta ó se halla en el infinito.

15. *Cuando* el punto luminoso se coloca entre el foco principal y el espejo, los focos son virtuales, resultando así porque retrocediendo los rayos reflejados con más ó menos divergencia por delante del espejo, sus prolongaciones se vienen á cortar por detrás del mismo.

16. *Los focos virtuales* de los espejos esféricos cóncavos se van acercando al espejo por detras de éste, á medida que se acerca por delante el punto luminoso, resultando en el infinito cuando dicho punto ocupa el foco principal, y tocando al espejo por detrás cuando el punto luminoso lo toca por delante.

17. *La cuestión de los focos* en los espejos esféricos cóncavos se puede resumir del modo siguiente: pueden tener focos reales y virtuales, resultando los primeros delante del espejo y los segundos detrás; los reales se forman sobre los puntos comprendidos entre el foco principal, punto medio del radio de curvatura del espejo próximamente, y el infinito, según que el punto luminoso pasa por los comprendidos entre el infinito y el foco principal; coincidiendo con el centro cuando se coloca en éste el punto luminoso. Los virtuales corresponden á puntos comprendidos entre el infinito y el espejo por detrás de éste, á medida que el punto luminoso se coloca en los situados entre el foco principal y el espejo por delante del mismo.

Todas estas variaciones se pueden hacer ver gráficamente, construyendo la figura indicada para demostrar la situación del foco principal, y sobre ella todas las correspondientes á cada supuesto; pues variando la dirección del rayo incidente y en su virtud el ángulo de incidencia, construyendo igual á éste el de reflexión, se obtendrá el resultado respectivo.

18. *El foco principal* de un espejo esférico cóncavo se puede determinar del modo siguiente: se presenta el espejo á un haz de luz solar ó á la llama de una bujía colocada á bastante distancia, de manera que los rayos luminosos caigan sobre el espejo alrededor y paralelamente á su eje principal, y se recoge la luz reflejada sobre una pequeña pantalla de papel blanco, ó disco de vidrio deslustrado, acercándolo ó alejándolo al espejo hasta que la luz recibida aparezca reducida á un círculo lo más brillante y pequeño posible. En este caso la situación de dicho círculo es la del foco principal, y su distancia al centro ó vértice del espejo la focal principal de éste.

19. *Se da el nombre* de distancia focal de un espejo esférico cóncavo á la comprendida entre el vértice de aquél y su foco real principal.

20. *Se puede* determinar el radio de un espejo esférico cóncavo hallando su distancia focal principal y duplicándola.

21. *Se obtiene* el valor del radio de un espejo esférico cóncavo duplicando su distancia focal principal, porque se ha demostrado que ésta es próximamente igual á la mitad del radio.

22. *La distancia focal* de un espejo esférico cóncavo se puede determinar geométricamente, si se sabe ó puede hallar el valor de su radio de curvatura, pues tomando la mitad de éste, resultará muy próximamente dicha distancia.

23. *Los espejos esféricos cóncavos* sólo dan focos virtuales.

24. *Para hacer ver esto gráficamente*, sólo se necesita concebir la incidencia de los rayos luminosos sobre la superficie esférica convexa, tirar el eje principal y el radio correspondiente al punto de incidencia, prolongar este radio fuera del espejo para la determinación del ángulo de incidencia, y formar el ángulo igual de reflexión con la misma prolongación del radio; pues se ve que el rayo reflejado retrocede divergente respecto del eje, y que no puede cortar á éste sino en su prolongación por detrás del espejo.

25. *Foco virtual* de un espejo esférico convexo es el punto en que por detras de éste cortan al eje principal las prolongaciones de los rayos reflejados sobre la superficie convexa, después de su incidencia paralela á dicho eje principal.

26. *El foco virtual* principal de un espejo esférico convexo se halla, respecto de la superficie convexa del mismo, sobre su eje principal, á una distancia igual á la del foco real correspondiente al mismo espejo si fuese cóncavo, lo que se puede demostrar gráfica y experimentalmente.

27. *Los focos virtuales* de los espejos esféricos convexos resultan tras de los mismos entre el punto medio del radio de curvatura, que sería el foco real principal si aquél fuese cóncavo, y el vértice ó centro del espejo, acercándose á éste por su parte posterior á medida que el punto luminoso se aproxima al mismo por delante.

II.

28. *La formación de las imágenes* en los espejos esféricos se puede explicar del modo siguiente: de los rayos de luz que parten en todas direcciones, desde cada punto del objeto luminoso ó iluminado que se presenta al espejo, los más centrales y compactos que se dirigen al mismo, al rededor del eje principal ó secundario correspondiente, dan sobre éstos los respectivos focos, dispuestos con igual situación y agrupados semejantemente que lo están los puntos del objeto. De esta manera, al penetrar en el ojo del observador los rayos reflejados y referirlos según la dirección en que los recibe, se origina en su retina una impresión como si aquéllos partiesen directamente del foco real ó virtual de cada punto, y percibe una sensación casi igual á la que experimentaría mirando al objeto, y con ella lo que se llama imagen.

Ésta se diferencia del objeto generador en su intensidad luminosa, tamaño y posición. Es menos luminosa porque los rayos que recibe el ojo, dirigido á los puntos de la imagen, son en mucha menos cantidad que mirando á los del objeto; y se diferencian del mismo en tamaño y posición por los cambios que produce el espejo en la dirección y agrupamiento de los rayos luminosos emanados de aquél.

29. *Se da el nombre* de aberración de esfericidad por reflexión en los espejos esféricos á la falta de limpieza con que resultan las imágenes producidas por los mismos.

Consiste en que los rayos que parten de cada punto del objeto, llegando al espejo con diferente abertura é inclinación, no se cortan todos en un mismo punto después de su reflexión, y no resulta un foco

único, sino que los más centrales ó próximos al eje del haz pasan por un punto donde resulta el foco más fuerte ó verdadero, y los más abiertos y exteriores por otros próximos al mismo, formando como unos segundos focos más débiles, cuyo efecto altera más ó menos la limpieza del primero.

30. *Catacáusticas ó cáusticas* por reflexión son unas superficies brillantes, que se pueden observar delante de los espejos esféricos, formadas por las intersecciones sucesivas de los rayos luminosos, ya reflejados, al encontrar á otros antes ó después de llegar á formar los focos de cuya reunión resultan las verdaderas imágenes.

31. *Los espejos esféricos cóncavos* pueden producir dos clases de imágenes, reales y virtuales; mas los convexos sólo las dan virtuales.

32. *Para determinar* gráficamente las imágenes que pueden producir los espejos esféricos, se procede del modo siguiente: se representa el espejo, dirigido su eje principal hacia el centro ó punto medio del objeto; se trazan los ejes secundarios correspondientes, tirando desde cada punto de aquél una recta que, pasando por el centro de curvatura, toque á un punto del espejo; se señala en cada eje el foco correspondiente al punto respectivo del objeto, y la reunión de todos nos dará la situación, forma y tamaño de la imágen, según las circunstancias de cada caso.

Las imágenes producidas por los espejos esféricos cóncavos serán reales ó aéreas siempre que el objeto se halle situado entre el infinito y el foco real principal.

Las imágenes reales se suelen llamar aéreas, porque se forman delante del espejo á cierta distancia de éste, donde se pueden ver y recoger sobre pantallas.

33. *Las imágenes* producidas por los espejos esféricos cóncavos resultarán virtuales cuando el objeto se coloque entre el foco real principal y el vértice del espejo.

34. *Las imágenes reales* producidas por los espejos esféricos cóncavos resultarán siempre invertidas respecto del objeto generador, siendo su magnitud menor que la de éste unas veces, y otras mayor.

35. *Las imágenes reales* producidas por los espejos esféricos cóncavos resultarán siempre invertidas, porque cortándose todos

los ejes en el centro, los que parten de puntos superiores al eje principal continúan su dirección por la parte inferior, y viceversa los que parten de puntos inferiores; y como los puntos colocados más allá del centro dan focos entre éste y el espejo, y viceversa, claro es que los puntos del objeto superiores al eje principal darán sus focos entre otros inferiores y al contrario, y de aquí la inversión de la imagen total.

36. *Las imágenes reales* producidas por los espejos esféricos cóncavos serán menores que el objeto, siempre que éste se halle entre el infinito y el centro de curvatura.

37. *Las imágenes reales* producidas por los espejos esféricos cóncavos resultarán mayores que el objeto, siempre que éste se halle entre el centro de curvatura y el foco principal.

38. *Las imágencs virtuales* producidas por los espejos esféricos cóncavos, resultarán detrás del espejo, directas y mayores que el objeto, aumentando más y más á medida que éste se aleje por delante de aquél y se acerque al foco principal.

39. *Las imágenes* que producen los espejos esféricos convexos son siempre virtuales, directas y menores que el objeto generador, siendo cada vez menores que éste á medida que el mismo se aleja del espejo.

40. *Para demostrar* experimentalmente las diferentes clases de imágenes que pueden producir los espejos esféricos, se procede del modo siguiente: se dispone en una habitación oscura un espejo cóncavo ó convexo, según el caso, y se coloca delante del mismo la luz de una bujía de modo que resulte frente al vértice de aquél, y acercando ó alejando dicha luz al espejo, si el observador se sitúa convenientemente mirando á aquél, percibirá delante del mismo las imágenes reales ó aéreas y detrás las virtuales; pudiendo recoger y fijar las primeras con una pantalla de papel blanco ó con un vidrio deslustrado.

Todas las circunstancias de las imágenes se pueden hacer perceptibles experimentalmente; mas para determinar las relaciones entre sus distancias y las de los objetos, así como las de sus tamaños, es necesario establecer fórmulas y discusiones algebraicas, impropias de estas lecciones tan elementales.

41. *Se da el nombre de anamórfosis* á ciertos cuadros ó vistas

dibujadas con tal artificio, que conteniendo las partes de un objeto agrupadas de cierta manera, no es posible percibir ni comprender su todo perfecto, sino mirando aquéllas por reflexión en espejos cilíndricos, cónicos ó poliédricos.

42. *Las imágenes de las anamórfosis* cuando son para observarlas con espejos cilíndricos, se colocan éstos por su base sobre el círculo que hay trazado en las respectivas láminas, y aquéllas se presentan en el sentido de las generatrices de la superficie cilíndrica más próximas al dibujo; por cuya razón se las mira de frente dirigiendo la vista hacia la indicada parte de la superficie cilíndrica.

43. *Las imágenes de las anamórfosis* cuando son para observarlas con espejos cónicos, se colocan éstos por su base sobre el círculo trazado en el interior del dibujo, y aquéllas se presentan como proyectadas hacia la base; por cuya razón se las mira de arriba abajo dirigiendo la vista por el vértice del cono, perpendicularmente á su base ó sea en la dirección del eje de aquél.

LECCIÓN LXXII.

Refracción de la luz y sus leyes.—Reflexión total.—Refracción atmosférica.—Id. en el agua.

1.ª *Refracción de la luz* es el desvío que experimentan los rayos luminosos al pasar oblícuamente de una sustancia ó medio homogéneo y trasparente á otro de estas mismas condiciones, pero de diferente naturaleza ó densidad. La refracción puede ser sencilla y doble. La primera es la que se produce sin la división de cada rayo en dos, cual sucede en la segunda.

La sencilla se efectúa según leyes fijas, determinadas por la relación ó dependencia entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal al punto de la superficie de separación de los medios por donde se verifica la incidencia y emergencia de un medio á su inmediato.

2.ª En el estudio de la refracción se da el nombre de superficie de separación de los medios refrigentes al límite común de aquéllos, donde terminando uno empieza el que le sigue; v. g.: entre el aire y el agua, la superficie de ésta en contacto con aquél, ó viceversa, es la superficie de separación de dichos medios.

3.ª *Rayo incidente*, tratándose de la refracción, es el que, propagado en un medio, llega á un punto de la superficie de separación entre éste y el inmediato donde experimenta su refracción; llamándose ángulo de incidencia al formado por el rayo incidente y la normal á la superficie de separación en el punto de incidencia.

Punto de incidencia ó de inmersión es el de la superficie de separación por donde penetra el rayo incidente en el segudo medio y empieza su refracción. El llamarse también punto de emergencia es á causa de salir por él dicho rayo al pasar del primero al segundo medio.

4.ª *Rayo emergente*, refractado ó refracto, es la continuación del rayo incidente en el segundo medio por la nueva dirección que toma en éste; llamándose ángulo de refracción el formado por el rayo emergente con la misma normal con quien se considera formado el de incidencia.

5.ª *La refracción* se puede verificar de dos modos diferentes respecto á la dirección de la normal al punto de incidencia en la superficie de separación de los medios, según la naturaleza de éstos, y son: acercándose más á la normal el rayo emergente que la prolongación del incidente, ó alejándose. En el primer caso el ángulo de refracción resulta menor que el de incidencia, y en el segundo mayor.

Todo esto se puede hacer perceptible gráficamente, trazando líneas que representen la superficie de separación, el rayo incidente y su prolongación, la normal al punto de incidencia y el rayo refracto que se acerque más ó menos á la normal que la prolongación del incidente; señalando el medio más refringente con el signo + y el menos con el—.

6.ª *El rayo emergente* se acerca á la normal más que la prolongación del de incidencia, generalmente, cuando el medio en que se efectúa aquélla es menos denso que el inmediato en que se produce la refracción.

7.ª *El rayo emergente* se aleja de la normal más que la prolongación del de incidencia, generalmente, cuando el medio en que se efectúa aquélla es más denso que el inmediato en que se produce la refracción.

8.ª *Se ha convenido* en decir que un medio es más refringente

que otro, cuando el rayo incidente en el primer medio, al desviarse en el segundo de su dirección primitiva, ó sea de su prolongación, se acerca más que ésta á la respectiva normal al punto de incidencia; y viceversa, que lo es menos, cuando dicha dirección se aleja de la referida normal.

9.ª *De los dos medios* en que se efectúa respectivamente la incidencia y la refracción de la luz, el más refrigente es, por lo general, el más denso.

10. *No se califican* los medios por la relación de la mayor densidad de uno respecto de otro, sino apellidándolos más ó menos refringentes; porque aun cuando la aproximación á la normal del rayo emergente se produce por lo general en el más denso, y el alejamiento en el menos ó más ligero, sin embargo hay excepciones, principalmente entre los cuerpos cuyas densidades se diferencian poco.

11. *Las leyes de la refracción* sencilla ó simple, llamadas de Descartes, son las dos siguientes: Primera, que el seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción da un cociente ó relación constante en todos los casos, siempre que se efectúa entre los mismos dos medios; pues variando éstos, varía dicha relación, existiendo por tanto una en cada combinación de dos medios desigualmente refrangibles. Segunda, que el rayo incidente y refractado resultan en un sólo plano perpendicular ó normal á la superficie de separación de los medios.

12. *Las leyes de Descartes* se demuestran experimentalmente de un modo semejante á las de la reflexión, con la diferencia, en lo esencial, de emplear en el círculo graduado, en vez del espejo plano, una pilita ó montante para colocar el líquido ó sólido con que se haya de operar.

Los senos de los ángulos se pueden tomar por medio de unas reglitas con escala, convenientemente dispuestas en el mismo círculo, y de este modo se ve que su relación es constante, cualquiera que sea el valor del ángulo de incidencia y el de la refracción consiguiente á él; así como por la disposición del aparato y del experimento resulta comprobada la segunda ley.

13. *Se da el nombre de índice de refracción*, entre dos sustancias ó cuerpos diferentemente refringentes, á la relación ó cociente

constante que se obtiene de dividir el seno del ángulo de incidencia en el primero por el seno del ángulo de refracción en el segundo. Se expresa por la fórmula $n=\frac{\text{sen. i}}{\text{sen. r}}$ en que **n** representa el valor del índice de refracción, **i** el del ángulo de incidencia, **r** el del ángulo de refracción y, por consiguiente, **sen. i** el seno del ángulo de incidencia determinado con el aparato, y **sen. r** el del ángulo de refracción determinado de igual manera.

En dicha fórmula se considera que la luz pasa del medio menos refringente al que lo es más, y, por consecuencia, que siendo $i>r$ también **sen. i**> **sen. r**, con lo que resulta siempre $\frac{\text{sen. i}}{\text{sen. r}}>1$.

14. *Se da el nombre de índice absoluto* de refracción de un medio, ó sustancia trasparente, á la relación de los senos del ángulo de incidencia y de refracción formados por los rayos luminosos, cuando éstos pasan del vacío á dicho medio ó sustancia trasparente.

Ahora bien, cuanto más refringente sea dicho medio, **r** será cada vez menor, lo mismo **sen. r** y, por consiguiente, mayor el quebrado $\frac{\text{sen. i}}{\text{sen. r}}$, por cuya razón cuanto mayor resulte este valor, índice de refracción, será indicio de mayor refringencia en el medio donde penetre la luz desde el vacío.

El índice absoluto de refracción se llama también relación ó coeficiente de refracción absoluta de la sustancia ó medio trasparente á que pasa la luz viniendo del vacío.

15. *Del análisis* de la fórmula del índice de refracción resulta, como se comprueba experimentalmente, que cuando los rayos incidentes son perpendiculares ó normales á la superficie de separación de los medios, no hay refracción, esto es, que cada rayo emergente sigue la dirección de la misma perpendicular ó normal al punto de separación de los medios, ó sea por la prolongación del rayo incidente.

La razón de esto se concibe fácilmente; pues resultando *sen. r = sen. i : n*, si el rayo incidente es perpendicular ó normal, será *i=0, sen. i=0* de donde resulta que *sen. r=sen i : n=0 : n=0;* y como el ángulo cuyo seno es *0* es también *0*, de ser *sen. r=0, r=0* y por consiguiente no hay ángulo de refracción, ó lo que es igual, el rayo emergente se confunde

con la prolongación del incidente que viene á ser la misma normal, cualquiera que sean los medios y el índice de refracción.

16. *Cuando la luz* pasa de un medio más refringente á otro menos, puede resultar el fenómeno denominado reflexión total.

17. *Reflexión total* es el fenómeno que se puede producir al pasar luz de un medio más refringente á otro menos, y que consiste en convertirse la refracción en reflexión cuando el ángulo de incidencia excede cierto valor.

18. *Se da el nombre* de ángulo límite de refracción al de mayor incidencia con que pasando la luz de un medio más refringente á otro menos puede haber refracción, y que excedido se cambia ésta en reflexión, retrocediendo aquélla por el mismo medio de la incidencia, como si la superficie de separación fuera un espejo ó cuerpo opaco.

19. *El valor* del ángulo límite de refracción no es el mismo entre los diferentes medios. Del agua al aire es de 48° y 35', y del vidrio al aire de 41° y 48'.

20. *La refracción total*, y el ángulo límite de refracción, se puede hacer ver gráficamente con facilidad, construyendo la figura correspondiente en el orden indicado para la representación gráfica de la refracción.

21. *La reflexión total* no se puede producir cuando la marcha de la luz es de un medio menos refringente á otro más, porque en tal caso siendo el ángulo de refracción menor que el de incidencia, aunque éste llegue al valor de noventa grados, aquél nunca lo alcanzará y el rayo refracto permanecerá en el medio más refringente sin poder volver al medio menos.

22. *La reflexión total* se puede observar del modo siguiente: colocado á cierta altura un vaso de vidrio diáfano con agua, y mirando oblícuamente de abajo arriba al través del líquido y hacia la superficie de nivel del mismo, se verá como si fuera la superficie de un espejo.

Esto resulta de que los rayos de luz que, por la parte opuesta al observador, se dirigen de fuera á dentro, en el sentido de abajo arriba, para atravesar el líquido y salir fuera de él por la superficie de nivel, al llegar á la cara inferior de ésta, con inclinaciones mayores que el valor del ángulo límite y tendiendo á pasar de más á menos, no se pueden refractar ya; en cuya consecuencia sufren la reflexión total y re-

troceden en opuesto orden hasta penetrar en el ojo, como partiendo de dicha cara inferior de la superficie de nivel cual si fuese un espejo.

23. Refracción atmosférica es la que experimenta la luz de los astros, tanto al atravesar la atmósfera hasta llegar á la superficie de la tierra, como al pasar por reflexión de unos puntos á otros dentro de aquélla.

La refracción atmosférica se suele denominar refracción astronómica cuando se considera en los rayos que llegan á la tierra al través de la atmósfera partiendo directamente de los astros. Se denomina refracción terrestre cuando se consideran los rayos que se propagan dentro de la atmósfera partiendo por reflexión de unos cuerpos y dirigiéndose á otros situados á diferente altura.

24. *Se puede representar* la marcha de la luz que experimenta la refracción atmosférica, describiendo un pequeño círculo que represente la tierra, y concéntricas á él varias circunferencias para representar las diferentes capas de la atmósfera en el orden de sus diferentes densidades creciente hacia la tierra. De este modo, como los rayos pasarán siempre del espacio á la atmósfera, esto es, de menos á más, y de una capa menos densa á su inferior inmediata más densa, y por consiguiente también de menos á más; si indicamos con una recta la dirección de un rayo solar y el desvío que le corresponde sufrir al pasar de cada capa á su inmediata, los cambios sucesivos de su dirección formarán como una línea quebrada, cuyos elementos debiendo ser infinitamente pequeños, por la continuidad y poco espesor de las capas atmosféricas de diferente densidad, se podrán considerar como elementos de una curva en vez de línea quebrada, de lo que resultará una curva con su convexidad hacia el espacio, y el observador recibirá el rayo luminoso en la dirección del último elemento; por cuya razón, al referir la visión por la tangente al extremo de dicha curva, resulta el gran desvío que constituye dicha refracción atmosférica.

25. *Por efecto* de la refracción atmosférica, no es posible ver los astros en su verdadera situación á no estar en el zenit; y por igual causa se ve al sol y la luna estando aún bajo el horizonte, apareciendo con mayor tamaño á su salida y ocaso que cuando llegan á estar próximos al zenit. Tampoco es posible ver en sus verdaderas posiciones y tamaños los objetos colocados dentro de la

atmósfera, cuando se miran desde lejos á distinta altura y fuera de la vertical correspondiente al zenit del observador, por causa de la refracción terrestre.

26. *El no ver los astros* en sus verdaderas posiciones, cuando no se hallan en el zenit ó á su proximidad, consiste en que al hallarse sobre el zenit del observador, éste recibe los rayos según la normal y no hay desvío, ó si los recibe de posiciones próximas, el que resulta es pequeño; cuando á medida que los objetos distan de aquella posición, creciendo la incidencia, la refracción es tanto mayor y el desvío muy perceptible.

27. *El ver al sol y la luna* estando exactamente bajo el horizonte, en cuya posición resultan aún interceptados sus rayos por la tierra, consiste en que produciéndose el máximum de refracción cuando dichos astros aparecen sobre aquél, en cuyo caso se elevan unos 30', como se observa respecto de las estrellas, y siendo de igual valor próximamente el ángulo visual ó diámetro aparente bajo que se ven aquellos dos astros, la expresada relación resultante por razón de la refracción desde aquélla posición, mayor aún que desde el horizonte, por mandar sus rayos más oblícuamente, es bastante para que nos lleguen todos los emitidos por los puntos del hemisferio que los referidos astros presentan frente á la tierra y nos sean visibles sus imágenes sobre el horizonte.

28. *El ver al sol y la luna*, cuando se hallan próximos al horizonte, con mayor diámetro que el que presentan á medida que se acercan al zenit, consiste igualmente en el mayor desvío de sus puntos hacia fuera de su posición verdadera, por ser entonces mayor la refracción; si bien esta cuestión se complica además con la visión de los objetos y apreciación de su tamaño, distancia, etc.

29. *Al mirar* los objetos distantes y elevados, dentro de la misma atmósfera, no se ven en sus verdaderas posiciones y tamaños, á causa de la refracción terrestre, por cuya razón es necesaria la corrección de las visuales que se dirigen en la práctica de la Astronomía y Geodesia, porque sin ellas no habría exactitud en los resultados, tanto más cuanto que los desvíos producidos no son iguales á todas las distancias á que pueden hallarse los astros respecto del zenit.

Á este fin se han formado tablas con la refracción ó desvío respecto de la verdadera situación de los objetos expresada en minutos, con relación á las distancias zenitales dadas en grados. Sin embargo, estos datos y correcciones son tanto más imperfectos, pasando de los 70° á 75° del zenit, cuanto mayores son las distancias zenitales de los objetos que se observan, á causa de la irregularidad de los accidentes en las capas próximas á la superficie terrestre por donde llega á ésta la luz muy inclinada por venir de hacia el horizonte. Por esta razón los astrónomos procuran observar los astros no á grandes distancias del zenit, sino más aproximados á éste que no al horizonte.

30. *Los objetos* colocados dentro del agua ú otros líquidos, según los depósitos en que éstos se hallen, pueden aparecer con un aumento notable de volumen, como cuando los vasos son de formas redondeadas; ó elevados sobre el fondo y aproximados á la superficie de nivel, como sucede con los colocados en el fondo de un estanque, pila, palangana, etc.

31. *El aumento de volumen* que experimentan los cuerpo dentro del agua se puede explicar fácilmente por la correspondiente figura trazada con la marcha de la luz, que entrando primero de fuera, se refleja sobre dichos cuerpos, y al salir al exterior se refracta haciéndonos ver desviadas las imágenes de los puntos de cada objeto, resultando mayores las distancias entre aquéllos, que es lo que produce el aumento de volumen.

32. *El que al verter agua* en una palangana ó cosa semejante y mirar oblícuamente á los objetos colocados ó pintados en su fondo, se vean como elevados sobre éste, ó el que se perciban por el observador situado á cierta distancia á que antes no los descubría, se puede explicar también por la refracción, trazando la figura correspondiente, que describa la marcha de la luz como partiendo del objeto cuando no hay agua, y cómo se efectúa después de vertida ésta.

Se puede hacer el experimento correspondiente, colocando un objeto en el fondo de una palangana y alejándose de ésta hasta el instante de perder aquél de vista, pues en tal caso, echando agua en la palangana, se ve reaparecer el objeto como si se elevara.

33. *Es difícil* hacer buena puntería cuando se disparan tiros á objetos colocados en el agua, porque no viéndolos en el verdadero lugar, cuanto mejor se apunte, haciéndolo hacia el sitio en que se ven, claro es que el proyectil irá á dar á un punto más

elevado que el de la verdadera situación del objeto; prescindiendo de que hay además otra causa de error, que es menester tener en cuenta, cual es la refracción del proyectil en el agua, que es otro desvío hacia arriba que sufre aquél por la resistencia del líquido.

LECCIÓN LXXIII.

Trasmisión de la luz al través de cuerpos trasparentes terminados por superficies planas. — Breve idea de la determinación de los índices de refracción. — Id. acerca de las potencias refractivas. — Id. de los poderes refringentes.

1.ª *Cuando* la luz atraviesa un medio ó sustancia homogénea y trasparente terminado por superficies planas y paralelas, si los rayos incidentes sobre la primera cara son perpendiculares ó normales á la misma, no hay refracción ni desvío en el rayo emergente por la segunda.

En efecto, continuando por el nuevo medio en la prolongación de la perpendicular ó normal, llegarán con igual dirección á la segunda cara y por igual razón saldrán según la misma al medio primitivo de donde partieron.

2.ª *Si los rayos* que atraviesan un medio homogéneo de caras planas y paralelas, lo efectúan oblícuamente, la luz se refracta, y si se mira al través del mismo, los objetos situados á la parte opuesta se verán desviados del punto de su verdadera posición; si bien cuando el espesor del medio es pequeño, el desvío que resulta es poco y hasta imperceptible, como sucede cuando se miran los objetos al través de vidrios de caras paralelas, pero de poco espesor.

3.ª *La desviación* de los objetos, vistos al través de un vidrio homogéneo de caras paralelas, es pequeña aunque los rayos luminosos que atraviesen aquél sean oblícuos, si es poco el espesor del mismo; porque, en tal caso, resultando el rayo emergente paralelo al incidente, la distancia del uno al otro es tanto menor, cuanto más delgado es el medio: razón por la cual, al referir la visión por la prolongación del rayo emergente hacia el medio primitivo, el desvío no es otro que el de las paralelas que señalan las direcciones de ambos rayos.

4.ª *Cuando la luz* atraviesa un medio trasparente homogéneo y de caras paralelas, si el rayo incidente es oblícuo, el emergente resultará paralelo á aquél.

En efecto, aunque al pasar la luz del primer medio al segundo se desvía de su dirección, al salir del segundo es como volver al primero y, por consiguiente, se efectúa un tránsito igual con el verificado al entrar, pero en orden contrario; por cuya razón el segundo desvío debe ser igual y en orden inverso que el primero, compensándose ó destruyéndose el un efecto con el otro, y, si bien el rayo emergente no puede ser prolongación del incidente, aunque siga distinta dirección, debiendo ser con la misma inclinación, tendrán que ser ambas paralelas: propiedad que es posible demostrar geométricamente con toda exactitud, trazando la figura conveniente con las líneas que representen las caras paralelas del medio, y describiendo las demás correspondientes á las direcciones de los rayos incidente y refractado á la entrada y salida del medio, así como las respectivas normales, efectuando las oportunas comparaciones.

5.ª *Cuando la luz* atraviesa medios terminados por superficies planas, pero no paralelas, habrá siempre refracción y desvío en la visión de los objetos; pues aunque la incidencia en la superficie de entrada ó salida sea perpendicular y en ella no haya refracción ó desvío, teniendo que ser oblícua en la otra, no podrá dejar de haber en ella refracción. En este caso la que resulte será menor que al atravesar la luz oblícuamente las caras de entrada y salida, pues efectuándose dos refracciones, producen un desvío mayor.

6.ª *La refracción de la luz* al través de medios terminados por superficies planas no paralelas, se puede hacer ver con los prismas refringentes, presentando uno de éstos á un haz de luz; pues se ve cambiar de posición al círculo luminoso, que se formaba sobre una pantalla blanca cuando se recibía sobre ésta dicho haz sin interposición de aquél.

7.ª *Se da en óptica el nombre de prisma refringente* ó simplemente prisma á todo prisma triangular macizo ó hueco y trasparente, dispuesto convenientemente sobre un sustentáculo á propósito, á fin de sostenerlo en diferentes posiciones para los experimentos de refracción y dispersión de los rayos luminosos.

8.ª *Ángulo refringente de un prisma* es el diedro de las dos caras que atraviesa la luz en su incidencia y emergencia.

9.ª *Se da el nombre de vértice ó arista de un prisma* refringente á la intersección de las caras que atraviesa la luz, ó sea la arista del ángulo refringente.

10. *Base de un prisma refringente* es la cara no atravesada por la luz, que es la opuesta al vértice del mismo.

11. *Sección principal de un prisma* refringente es el triángulo que se forma con las intersecciones que resultan en sus tres caras por una sección cualquiera perpendicular á la arista.

12. *La refracción* de los rayos luminosos que atraviesan un prisma refringente produce su desvío de manera que al mirar el observador, al través de dicho prisma, cualquier objeto situado á la parte opuesta, percibe su imagen separada de la verdadera posición del objeto; y lo mismo, aunque en orden inverso, la formada en una pantalla sobre que se reciban después de refractados los rayos emitidos por un cuerpo.

Estos desvíos, aparte de otras circunstancias, están relacionados con la posición del vértice del prisma, ya esté hacia arriba ó hacia abajo, bien á la derecha ó á la izquierda; pero cualquiera que sea su posición relativa, si miramos el objeto al través del prisma, recibiendo el ojo los rayos refractados al pasar por aquél, veremos siempre que el desvío de la imagen es aproximándose al vértice de dicho prisma: si la miramos recibida sobre una pantalla resulta desviada respecto de la base.

13. *Para hacer ver gráficamente* estas circunstancias, basta construir la figura correspondiente con el triángulo que representa la sección principal del prisma, las líneas que indiquen la normal al punto de incidencia, la dirección del rayo incidente y refractado, tanto respecto de la cara de incidencia como de la de emergencia, y las prolongaciones del rayo incidente en la primera y del emergente por la segunda.

14. *Las desviaciones* que producen los prismas se miden, en general, por el ángulo que forma el rayo emergente por la segunda cara con el segmento de la prolongación del incidente sobre la primera: este ángulo se llama ángulo de desviación.

15. *Desviación mínimum* es el valor menor del ángulo de desviación, que viene á ser límite menor de ésta en cada sustancia.

16. *La desviación mínimum* se puede observar ó hacer ver experimentalmente del modo siguiente: se dirige por medio del portaluz un haz luminoso sobre una pantalla blanca, en una há-

bitación oscura, señalando el punto donde se pinta ó proyecta dicho haz; en seguida se interpone al paso de éste un prisma refringente, en situación vertical por ejemplo, y la posición del círculo luminoso, ó proyección de la luz refractada, tomará otra más ó menos distante de la primera: si en seguida se hace girar el prisma al rededor de su arista, de modo que el ángulo de la incidencia disminuya, se ve que el círculo luminoso se acerca más y más á la primera posición, pero que al llegar á una determinada, aunque el prisma siga girando, no continúa la aproximación, sino que vuelve á aumentar el desvío.

17. *El desvío mínimum*, ó sea la aproximación del círculo luminoso respecto de su posición primitiva, llegado á la cual hay otro alejamiento, se verifica cuando los ángulos de incidencia en la primera cara y de emergencia por la segunda son iguales, como se puede demostrar matemáticamente.

18. *El ángulo de desviación* mínimum se aprecia por el menor valor del ángulo de desviación, el cual se observa siguiendo ésta en todas las posiciones del prisma que la produce.

Este resultado se halla experimentalmente operando, con un anteojo móvil al rededor del centro de un círculo graduado, del modo siguiente: se dispone este aparato de modo que dirigiendo con el anteojo una visual á un objeto lejano, coincida con ella el cero de la graduación del círculo; en seguida se interpone el prisma cuya desviación mínimum se quiera hallar, de modo que se pueda mirar al través de él con el anteojo; se hace girar el prisma, con lo que se desvía la imagen y se hace necesario mover aquél para continuar viendo dicho objeto, y el menor de los ángulos que da el aparato en su giro, siguiendo el del objeto, será el resultado buscado.

19. *La desviación de la luz* por un prisma, en igualdad de posición y demás circunstancias, depende de la sustancia que lo constituye, y así como cada una tiene con relación á otra dada su índice de refracción, así también, observando ésta con prismas hechos de diferentes sustancias, se ve que cada cual produce diferente desvío: además, depende de la incidencia de la luz sobre la primera cara y del valor del ángulo refringente respecto á su ángulo límite de refracción.

De todas estas circunstancias resultan ciertas condiciones, llamadas de emergencia, que permiten ésta por la segunda cara del prisma en

más ó menos cantidad, ó llegan á hacerla totalmente imposible por sufrir la reflexión total é ir á salir por la base.

Se demuestra que si el ángulo refringente de un prisma es igual ó mayor que el duplo del ángulo límite de su materia, no se podrá efectuar por la segunda cara la emergencia de los entrados por la primera.

De aquí resulta que siendo el ángulo límite del vidrio al aire 41° y 48', cuyo duplo es 83° y 36', si se trata de mirar un objeto con un prisma de vidrio cuyo ángulo refringente sea recto, como el valor 90° de éste es mayor que el indicado duplo, será imposible ver aquél, pues que la luz procedente de él no podrá salir por la segunda cara, sino que lo efectuará por la base.

Por el contrario será posible ver el objeto con un prisma hueco, formado con tres láminas de vidrio y lleno de agua, aunque su ángulo refringente sea recto, porque siendo el ángulo límite del agua al aire 48° y 35' y su duplo 97° y 10', el valor 90° del ángulo recto no es aún mayor que dicho duplo; mas dejará de verse en pasando el mismo ángulo de 97° y 10'.

20. *Las relaciones existentes* entre el ángulo refringente de un prisma, su desviación mínimum y el índice de refracción de su materia se puede expresar por la ecuación $\mathbf{n} = \frac{\text{sen. } {}^1/_2 \text{ (A+D)}}{\text{sen. } {}^1/_2 \text{ A}}$.

21. *En esta fórmula* **n** representa al valor del índice de refracción de la materia del prisma con relación al medio en que se halle; **A** al del ángulo refringente y **D** al de su desviación mínimum.

22. *Por esta fórmula* se puede determinar el índice de refracción de un cuerpo sólido trasparente, construyendo con él un prisma y determinando el valor de su ángulo refringente con instrumentos que hay para ello, llamados goniómetros, así como su desviación mínimum por el procedimiento indicado á este fin; pues sustituyendo en ella los valores que resultan para **A** y **D**, bastará hallar el valor numérico del segundo miembro y éste será el de **n**.

Semejantemente se podrá calcular con la misma fórmula el desvío mínimum de un cuerpo sólido si fuese conocido ya el índice *n*.

23. *Cuando en vez* del índice de los sólidos se quiere hallar el de líquidos ó gases, el modo de determinar los valores de **A** y **D** no difiere en lo esencial, sino en que para el caso de líquidos es menester emplear prismas huecos, construídos con láminas de

vidrio bien paralelas, para encerrar aquéllos. En el caso de los gases hay que formar los prismas huecos con un mecanismo especial, cual es el de un tubo de suficiente longitud, cortado por dos secciones oblicuas al eje, de modo que prolongadas formen un ángulo de 144°, el cual constituye el refringente del prisma que implícitamente vienen á formar dos láminas de vidrio de caras paralelas, pegadas convenientemente para tapar los orificios producidos por dichas secciones.

También es posible determinar el índice de refracción por otro procedimiento diferente del anteriormente indicado, pero basta lo dicho tratándose de lecciones elementales.

24. *Se da el nombre de potencia refractiva de un cuerpo* al valor del cuadrado de su índice de refracción disminuído en una unidad: su expresión es n^2-1.

25. *Denomínase poder refringente de un cuerpo* la relación entre su potencia refractiva $n^2 - 1$ y su densidad d: su expresión es $\frac{n^2-1}{d}$.

26. *La consideración* del poder refringente no tiene hoy importancia, por no ser constante como se había creído.

27. *La palabra poder refringente* se suele usar por algunos para indicar simplemente el mayor ó menor efecto que el medio refringente causa sobre la velocidad de la luz, confundiendo dicha expresión con la de potencia refractiva y usándola otros para señalar el índice absoluto de refracción.

28. *La potencia refractiva* de una mezcla gaseosa es igual á la suma de las potencias refractivas de los gases que entran en ella.

29. *Cuando dos ó más* gases se combinan, la potencia refractiva del compuesto formado resulta mayor ó menor que la suma de las potencias refractivas de los gases combinados.

30. *Se observa* en los cuerpos combustibles que su combustibilidad está en relación con el poder refringente de los mismos, de tal suerte que los más refringentes son los más combustibles.

31. *Entre los hechos* que patentizan la observación de que los cuerpos más refringentes son los más combustibles, tenemos las grandes potencias refractivas del hidrógeno, fósforo y azufre, que á la vez son tan combustibles, y la del diamante, que, ignorán-

dose aún la naturaleza de su materia, hizo predecir á Newton, en virtud de dicho principio, que debía ser sustancia muy combustible, como se confirmó después, cuando se llegó á conocer que era carbono puro, elemento tan abundante en los carbones y en la generalidad de los combustibles.

LECCIÓN LXXIV.

I. Lentes.—Su clasificación.—Centros de curvatura, vértices, eje principal, ejes secundarios y centro óptico en las lentes esféricas.—Focos de refracción, su clasificación.—II. Determinación del foco real principal de las lentes esféricas convergentes y posiciones en que pueden ir resultando todos los demás reales y virtuales. — Imágenes que pueden producir las mismas y su determinación experimental.

I.

1.ª *Se da el nombre de lentes* á los cuerpos trasparentes terminados por superficies curvas no paralelas ó por la combinación de una superficie curva con otra plana. Pueden ser macizos ó huecos.

2.ª *Las lentes*, por razón de las curvaturas de sus caras, pueden ser esféricas, cilíndricas, cónicas, etc.

3.ª *Las lentes*, cualquiera que sea la curvatura de sus caras, se pueden clasificar relativamente á la manera de modificar la luz, á la de presentar las imágenes que producen y respecto de la composición del vidrio con que se construyen.

4.ª *De las diferentes lentes* que se pueden construir, las que se estudian con preferencia son las esféricas.

5.ª *Las lentes esféricas*, por razón de la manera de modificar la luz, pueden ser convergentes y divergentes. Las primeras se suelen llamar vidrios de aumento, y las segundas vidrios de disminución.

6.ª *Lentes convergentes* son aquellas por cuyo medio los rayos de luz que las atraviesan son refractados de modo, que salen convergentes y van á reunirse en un mismo punto. Según su construcción, pueden ser: biconvexas, plano convexas y cavo convexas ó meniscos convergentes.

7.ª *Lentes divergentes* son aquellas por cuyo medio los rayos de luz que las atraviesan son refractados de tal modo, que salen

divergentes y no se pueden cortar sino por sus prolongaciones. Según su construcción, pueden ser: bicóncavas, plano cóncavas y convexo cóncavas ó meniscos divergentes.

En el estudio elemental basta considerar solamente las lentes biconvexas y bicóncavas, porque todo lo relativo á las primeras se puede aplicar generalmente á las demás convergentes y lo relativo á las bicóncavas á las demás divergentes.

8.ª *Las lentes,* lo mismo que los prismas refringentes, sean macizos ó huecos, se pueden construir de cualquier materia trasparente, pero los usados por lo general en los aparatos y experimentos de Óptica son de una ú otra de las dos clases de vidrio siguientes: crown-glass y flint-glass, de los que el segundo es más refringente que el primero, por cuya razón se prefiere uno ú otro según los usos.

Dichos nombres, sin equivalentes en español, están formados por las voces inglesas *crown, corona; flint, pedernal,* y *glass, vidrio,* referentes hasta cierto punto á su composición, por más que la de cada uno de ellos se obtenga hoy de variadas maneras; pues si bien la diferencia entre el crown y el flint-glass consistía en contener el segundo más plomo y resultar más refringente que el primero, se construyen ya vidrios de una y otra de aquellas clases de diferente refrangibilidad mediante la adición de nuevas sustancias.

9.ª *Las caras* en las lentes convergentes se hallan dispuestas del modo siguiente: en las biconvexas las dos convexidades están vueltas hacia fuera, de suerte que el centro de curvatura de cada una resulta en el lado de la otra; en las plano convexas la convexidad de la superficie curva queda hacia fuera y su centro de curvatura al lado de la superficie plana, y en las cavo convexas queda hacia fuera la convexidad de la una y la concavidad de la otra, de suerte que los centros de sus curvaturas resultan ambos al lado de la cóncava y más próximo á ésta el de la convexa, cuyo radio es menor que el de la cóncava.

10. *Las caras* de las lentes divergentes están dispuestas del modo siguiente: en las vicóncavas las dos concavidades están vueltas hacia fuera, de suerte que el centro de curvatura de cada una se halla en el lado de la otra; en las plano cóncavas la concavidad de la superficie curva queda hacia fuera y su centro de curvatura en el lado de la superficie plana, y en las convexo cóncavas que-

dan hacia fuera la concavidad de la una y la convexidad de la otra, de suerte que los centros de sus curvaturas resultan ambos hacia el lado de la cóncava, más próximo á ésta el suyo que el de la convexa, cuyo radio es mayor que el de la cóncava.

11. *Se puede* conocer si una lente es convergente ó divergente con sólo tocarlas, pues las primeras son más gruesas en su parte interior que hacia los bordes, y las divergentes, al contrario, más delgadas en su parte interior que hacia los bordes.

12. *Centros de curvatura* en las lentes esféricas son los de las caras que las limitan.

13. *Vértices* de las lentes esféricas son los de cada una de sus caras.

14. *Eje principal* de una lente esférica es la recta ilimitada que pasa por el centro ó centros de curvatura de sus caras y por el vértice ó vértices de las mismas.

En las biconvexas y bicóncavas, y lo mismo en los meniscos convergentes y divergentes, es la línea que une los dos centros de curvatura, y en las plano convexas y plano cóncavas la perpendicular bajada desde el centro de curvatura de la respectiva cara curva á la cara plana.

15. *Ejes secundarios* de las lentes son las rectas trazadas por cada punto de un cuerpo luminoso y por el centro óptico de la misma.

16. *Centro óptico* de las lentes es un punto de las mismas situado sobre su eje principal, de manera que todos los rayos de luz que penetrándolas con cierta inclinación pasan por él, no sufren desviación angular, esto es, que aunque se desvían al entrar y salir, la combinación de circunstancias es tal que la dirección de los rayos emergentes, después de haber pasado por aquel punto, es paralela á la de su incidencia.

17. *Abertura de las lentes* es el ángulo formado por dos radios trazados desde el centro de curvatura de la cara cuyo radio es menor, á dos puntos simétricos de su borde: para esto se debe tener presente que el radio de curvatura de la cara plana en las lentes plano convexas y plano cóncavas es siempre el mayor, pues se considera infinito.

18. *Focos de refracción* de las lentes son los puntos en que se cortan los rayos luminosos y caloríficos, ó sus prolongaciones,

después de refractados al atravesar las lentes ó los prismas. Pueden ser reales y virtuales.

19. *Focos reales* son los puntos de intersección de los verdaderos rayos luminosos y caloríficos refractados y hechos convergentes al pasar por las lentes, en los cuales hay concentración y aumento de intensidad luminosa ó calorífica. Las virtuales son los puntos de intersección de las prolongaciones de los rayos luminosos y caloríficos refractados y hechos divergentes al pasar por las lentes, en los cuales no hay verdadero paso ni concentración de luz ni de calor.

20. *Foco real principal* de las lentes biconvexas es el punto del eje principal donde se cortan los rayos, que siendo paralelos á él en su incidencia sobre la primera cara, salen convergentes por la segunda despues de refractados dos veces por la lente al atravesarla.

21. *Foco virtual principal* en las lentes bicóncavas es el punto del eje principal en que se cortan las prolongaciones de los rayos refractados por aquéllas después de su incidencia paralela á dicho eje principal.

22. *Focos apareados ó recíprocos* de las lentes, son los que resultan entre el foco real principal y el centro de curvatura, y entre éste y el infinito, semejantemente que en los espejos curvos.

23. *En las lentes esféricas* biconvexas y bicóncavas, á que se concreta principalmente el estudio de las lentes en estas lecciones, se consideran y representan los ángulos de incidencia y de refracción del modo siguiente: 1.° Se traza la sección normal ó que pasa por los vértices, una línea que represente la dirección del rayo incidente y el radio correspondiente al punto de incidencia sobre la primera cara; pues de este modo, el ángulo que dicha línea forme con el expresado radio cuando la lente sea bicóncava, ó con su prolongación si fuese biconvexa, será el de incidencia. 2.° Se prolonga después por dentro de la lente la dirección del rayo luminoso y por el punto de incidencia y entrada se traza una recta que forme con el radio ó con la prolongación del mismo, según los dos indicados casos, un ángulo menor que el formado por la prolongación del rayo incidente, cuyo ángulo será el de refracción en el interior de la lente, pues que la luz pasa del aire, me-

dio menos refringente, al vidrio, que lo es más. 3.° Se prolonga hacia fuera el rayo refractado dentro de la lente, que viene á ser el de incidencia sobre la segunda cara; se tira el radio de curvatura de ésta perteneciente á la emergencia y el ángulo que forme el nuevo rayo incidente con dicho radio ó su prolongación será el ángulo de incidencia sobre la segunda cara. 4.° Por el punto de emergencia tírese una recta que forme con el radio ó su prolongación un ángulo mayor que el formado con el mismo por la prolongación, hacia fuera de la lente, del rayo interior refracto, y el ángulo resultante será el de refracción en la emergencia por la segunda cara, pues que pasa del vidrio, que es más refringente, al aire, que lo es menos.

Con esta construcción se tiene el medio de estudiar la marcha de la luz al través de las lentes y el respectivo resultado que éstas deben dar en los diferentss casos que se consideran, ya en el estudio de la formación y marcha de los focos, ya en el de las imágenes.

II.

24. *En las lentes ordinarias* de crown-glass el foco principal coincide próximamente con el centro de curvatura de sus caras, hallándose algo más distante de la lente que dicho centro.

La situación del foco principal de las lentes biconvexas es constante para una misma, pero varía con el radio de curvatura de sus caras y el índice de refracción de su materia; por cuya razón no es fácil determinar dicha situación de un modo absoluto, sino por la discusión de la fórmula en que se hallan relacionados la distancia focal de la lente, los radios de curvatura de sus caras y el índice de refracción de su materia.

25. *Para explicar* y representar gráficamente la formación y situación del foco real principal de las lentes biconvexas, basta trazar la misma figura indicada (LXXIV—23) para la representación de la marcha de la luz en aquéllas y la formación de los ángulos de incidencia y refracción, con la circunstancia especial de suponer y trazar el rayo incidente paralelo al eje principal; pues de esta manera y considerando que todos los demás rayos paralelos al eje y simétricos con él lo cortan en el mismo punto, se verá el concurso de todos, que es lo que forma dicho foco.

26. *Para explicar* la formación y situación de los focos reales

recíprocos ó apareados, se construye la figura indicada para dar idea del foco real principal, y sobre la misma se suponen diferentes casos con el rayo incidente oblicuo al eje, y partiendo de puntos de éste que se consideran sucesivamente aproximándose á la lente; pues en tal caso, concluyendo la correspondiente figura, se verá la formación del respectivo foco y sus variadas posiciones.

Estas variaciones se pueden resumir del modo siguiente: si el punto luminoso se supone muy separado de la lente para poder considerarlo á una distancia infinita y como en el caso de ser los rayos incidentes paralelos al eje, entonces resulta el foco principal, á cuya situación se refieren las sucesivas de los demás casos. Si se supone cada vez más cerca de la lente, el respectivo foco se aleja más y más del foco principal y de la lente por la parte de ésta, opuesta á la de donde recibe la luz. Si se coloca á una distancia de la lente igual á la focal principal, los rayos salen paralelos al eje por la parte opuesta; y no pudiendo cortarse ni reunirse la luz, se dice que el foco resulta en el infinito, como caso límite del alejamiento observado en los casos anteriores. Últimamente, si el punto luminoso se coloca acercándose más á la lente, á menores distancias de ésta que la focal principal, los rayos saldrán más abiertos que en el paralelismo del caso anterior, y resultarán divergentes sin poder cortarse á la otra parte de la lente, haciéndolo sus prolongaciones hacia la misma de donde parte la luz, formando así focos virtuales situados en dicha dirección desde el infinito hacia la lente.

Los puntos que se alejan de la lente por uno y otro lado de la misma, á más distancia que la focal principal, contituyen los focos recíprocos, porque cuando la luz parte de los de un lado, los del otro van siendo focos; y si, por el contrario, éstos se consideran puntos luminosos, los otros resultan focos.

27. *Para explicar* la formación y marcha de los focos virtuales en las lentes biconvexas, se efectúa la construcción indicada para los reales, sin más diferencia que suponer los puntos luminosos á menor distancia de la lente que su focal principal; y se verá que á medida que el punto luminoso se acerca á la lente, el foco virtual resulta también aproximándose cada vez más á ella por la misma parte que el punto luminoso, pero formándose siempre á mayor distancia que éste, hasta que al tocar dicho punto á la cara de la lente, el foco virtual coincide con el mismo.

28. *En las lentes bicóncavas* sólo se consideran focos virtuales; pues aun cuando pueden resultar también alguna vez reales, es

con cierto orden de rayos que no son los que se aprovechan generalmente en la marcha de la luz al través de aquéllas.

29. *Para hacer ver* que los focos de las lentes bicóncavas son virtuales, se traza la figura apropiada al objeto, con la sección de la lente, su eje, etc., y se suponen casos semejantes que en las biconvexas, empezando por el de los rayos incidentes paralelos al eje, y considerando después que parten de puntos que se aproximan sucesivamente á la lente. De esta manera se llega á los resultados siguientes: 1.° Que el foco virtual principal resultará á una cierta distancia de la lente, no muy considerable, y sirve, como en las biconvexas, para referir á él las demás situaciones del punto luminoso y de los focos virtuales respectivos. 2.° Que á medida que el punto se acerca á la lente, el foco virtual se acerca también á la misma, resultando siempre situado entre el foco virtual principal y la lente, más próximo á ésta que el punto luminoso, hasta que al tocar éste en la cara de la lente, se confunde con él su foco.

30. *Para explicar* la formación de las imágenes en las lentes esféricas no se necesita más que seguir una marcha análoga al caso semejante de la formación de las mismas en los espejos esféricos, esto es, tirar por los puntos del objeto los ejes secundarios correspondientes y determinar su foco como si el punto estuviese en el eje principal; pues que pasando, como éste, todos los secundarios por el centro óptico, tienen iguales propiedades y se verifica en cualquiera de ellos todo lo indicado respecto del eje principal.

De esta manera la reunión y enlace de los focos de todos los puntos de un objeto nos determinará su imagen y las circunstancias de situación, distancia y tamaño de las mismas.

31. *Para trazar los ejes* secundarios que se tiran desde cada punto del objeto para la determinación de su imagen, es necesario saber la situación del centro óptico de la lente.

32. *El centro óptico* de las lentes biconvexas y bicóncavas se halla en el punto medio de la parte del eje principal comprendida dentro de ellas, ó sea en medio de su espesor, y en los meniscos fuera de los mismos, hacia la cara convexa en los convergentes, y hacia la cóncava en las divergentes.

33. *En las lentes* plano convexas y plano cóncavas su centro óptico se confunde con el vértice.

34. *Las imágenes* que producen las lentes convergentes pueden ser reales y virtuales, como los focos de quienes aquéllas son consecuencia inmediata.

Se suelen llamar imágenes aéreas á las reales, porque se forman y se pueden ver y recibir sobre pantallas hacia la parte de la lente opuesta á la en que se halla el objeto.

35. *Las reales pueden* resultar mayores ó menores que el objeto generador de las mismas, pero siempre invertidas.

36. *Las imágenes reales* serán menores que el objeto, siempre que éste diste del vértice de la lente más que el doble de la distancia focal; lo más pequeñas posible cuando, estando el objeto muy lejano, sus rayos incidentes sobre la lente se puedan considerar como paralelos al eje, é iguales al objeto cuando éste se halle de la lente á una distancia doble de la focal.

37. *Serán magores* cuando el objeto se coloque en cualquiera de los puntos comprendidos entre el foco y el situado á una distancia doble de la focal de la lente respecto de ésta, aumentando más y más á medida que el objeto pasa del uno al otro, de suerte que cuando está en el primero resulta igual al objeto, y cuando en el segundo infinitamente grande: á este caso se llega al de salir los rayos paralelos al eje, y en realidad no hay focos ni formación de imagen, resultando un gran destello de luz, efecto de la columna de rayos emergentes paralelos.

38. *Las imágenes* que producen las lentes biconvexas son virtuales, siempre que el objeto se coloca entre el foco principal y la lente.

39. *Las imágenes virtuales* producidas por las lentes biconvexas resultan siempre directas, hacia la misma parte que el objeto; más distantes que éste de la lente y mayores, y tanto más, cuanto dicho objeto esté más próximo al foco, pues á medida que se acerca á la lente, el aumento es menor, quedando igual al objeto cuando éste llega á tocarla.

40. *Las lentes divergentes* por sí solas y con la inclinación con que reciben la luz, sólo pueden formar imágenes virtuales, como sucede con los espejos convexos.

41. *Las imágenes virtuales* que producen las lentes divergentes son siempre directas, menores que el objeto y colocadas entre la lente y su foco principal; resultando más pequeñas y más cerca de dicho foco cuanto el objeto está lo más distante: la disminución es tanto menor cuanto más se aproxima el objeto á la lente, de suerte que al tocar aquél á ésta resultan iguales.

42. *El foco real principal* de las lentes convergentes se determina experimentalmente operando así: se coloca la lente en disposición de ser atravesada por los rayos solares paralelos al eje; se reciben éstos, después de refractados, sobre una pantalla blanca ó vidrio deslustrado perpendicular á dicho eje, alejando ó acercando dicha pantalla á la lente, ó viceversa, hasta lograr que el circulito luminoso que se pinta en aquélla sea el menor y más brillante posible; pues en tal caso éste será el foco, y la distancia entre la pantalla y la lente la focal principal. Si en dicho foco se coloca un trozo de yesca, se inflama por la concentración de los rayos caloríficos que acompañan á los luminosos, lo que comprueba la refracción del calorico como la del lumínico.

43. *Para presentar* experimentalmente las imágenes reales ó aéreas de las lentes convergentes, se procede así: se coloca sobre una mesa, ó montante á propósito, una lente convergente y una bujía encendida, de manera que la llama y el vértice de la lente correspondan á una misma horizontal; sitúese la luz á diferentes distancias de la lente; recójase con un vidrio deslustrado, movido gradualmente por la parte opuesta, la imagen aérea, y se verá comprobado todo lo expuesto acerca de las imágenes reales. En cuanto á las virtuales, colocando la lente entre la vista del observador y el objeto, también se ve comprobada su formación y circunstancias.

44. *Se prueba experimentalmente* que las lentes divergentes no tienen focos reales ni producen imágenes aéreas, porque no es posible recoger éstas sobre pantallas cuando se hace uso para los experimentos de aquella clase de lentes, en cuyo caso el observador percibe al través de ellas, y hacia la misma parte que está el objeto, las imágenes del mismo directas y disminuídas como deben ser las virtuales.

45. *Se da el nombre de aberración* de esfericidad en las lentes,

á la falta de limpieza que resulta en las imágenes producidas por las mismas.

46. *Diacáusticas ó catacáusticas* por refracción son unas superficies brillantes que rodean la lente y se forman, semejantemente á las de por reflexión, á consecuencia de las intersecciones sucesivas de los rayos luminosos refractados, con otros de los mismos, antes ó después de llegar á formar los focos cuya reunión produce la imagen.

47. *Se corrige el defecto* de la aberración de esfericidad de las lentes, colocándolas entre láminas delgadas ó diafragmas taladrados con pequeñas aberturas circulares y en disposición de permitir el paso á los rayos luminosos, que próximos al eje van á caer al rededor del vértice é impedir el de los que, más separados de aquél, van ya hacia los bordes, por ser los que con sus focos más distantes perjudican la limpieza y perfección de la imagen.

LECCIÓN LXXV.

I. Dispersión ó descomposición de la luz.—Espectro solar.—Recomposición de la luz.—II. Colores complementarios.—Colores de los cuerpos.—Rayas del espectro solar.—Conocimientos y aplicaciones que su estudio ha originado.—Acromatismo.

I.

1.ª *Dispersión* ó descomposición de la luz es la modificación que experimentan los haces de la ordinaria, natural ó blanca, al atravesar los cuerpos, en virtud de la cual, al salir de los mismos, aparecen como divididos y subdivididos en otros secundarios que, impresionando la vista de variados modos, causan las diferentes sensaciones que se distinguen con los nombres de los siete colores del arco iris, que son el tipo y origen de todos los de la naturaleza.

2.ª *El experimento* con que se da á conocer la dispersión, se efectúa del modo siguiente: se hace penetrar un haz de luz en una habitación oscura, por un orificio practicado convenientemente en las maderas de una ventana, ó mejor por medio del porta luz fijado en la misma, y recibido á cierta distancia en una pantalla blanca, resulta sobre ella un círculo luminoso; mas si se

dispone colocando paralelamente al plano del orificio un prisma refringente, dirigidas sus aristas perpendicularmente al eje del haz, al atravesar éste á aquél sale modificado de tal suerte, que al llegar sobre la pantalla no se pinta ya el círculo como en el caso anterior, sino que, en vez de él, aparece el espectro solar desviado del punto donde iba á pintarse el antedicho círculo antes de interponer el prisma.

3.ª *Se da el nombre* de espectro solar á una faja ó imagen oblongada y coloreada con los colores del arco iris, que se pinta en la pantalla colocada á cierta distancia detrás del prisma con que se descompone la luz. Se obtiene limitada en el sentido de su longitud por dos rectas paralelas, y en el de su anchura por dos arcos de círculo, con sus convexidades hacia fuera, resultando en el sentido de su longitud perpendicular á las aristas del prisma, cualquiera que sea la situación de éste, y su anchura paralelamente á las mismas.

4.ª *Para obtener* el espectro lo mejor posible, de modo que los colores resulten bastante extendidos y determinados, se recibe la luz por un orificio circular de pocos milímetros, se hace uso de un prisma de grande ángulo refringente, y se coloca la pantalla á bastante distancia tras de aquél, á 5 ó 6 metros si el ángulo refringente es de 60°.

La anchura del espectro, cualquiera que sea el prisma, viene á ser igual á la del haz primitivo sin la interposición del prisma, pero su longitud, extensión y limitación de las secciones ocupadas por cada color dependen, en igualdad del ángulo refringente del prisma, de la materia de éste y, vice versa, en igualdad de su materia, del mayor ó menor ángulo refringente.

La influencia del ángulo se demuestra con prismas de ángulo variable, y la de la materia del prisma con los poliprismas.

Para operar con líquidos se construyen prismas huecos, con láminas de vidrio bien planas y paralelas, los cuales se llenan con los diferentes líquidos con que se haya de experimentar.

Se dice que las sustancias de los prismas refringentes son tanto más dispersivas, cuanto producen un espectro de mayor longitud con igual ángulo.

La dispersión se mide por la diferencia de los índices de refracción de los rayos de los colores extremos del espectro. La dispersión del flint-glass es próximamente doble de la del crown-glass.

5.ª *Los colores del arco iris*, que constituyen el espectro solar, se hallan colocados en el mismo por bandas paralelas en el sentido de su anchura, ó paralelamente á las aristas del prisma, en el orden siguiente: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, índigo ó añil y violado.

Estas bandas no se hallan bien limitadas ni determinadas, porque cada color va á perderse ó desvanecerse en el color inmediato cual las sombras en un buen dibujo. El color rojo se halla siempre hacia la parte del vértice del prisma y el violado hacia la base.

6.ª *La dispersión* luminosa es debida á que los rayos de luz ordinaria ó natural no son simples, sino que están compuestos de otros secundarios, elementales, indescomponibles, heterogéneos y desigualmente refrangibles.

Esta desigualdad, como las diferentes propiedades de los siete colores, ó diferentes órdenes de rayos que los producen, se puede decir dependen de las diferentes longitudes de sus respectivas ondas etéreas y velocidades ó número de vibraciones por segundo con que se originan, semejantemente á la producción de las intensidades y tonos de los sonidos y sus gamas por la amplitud y número de las vibraciones de las moléculas de los cuerpos que engendran las ondas sonoras.

En la imposibilidad de entrar oportunamente en más pormenores, se podrá formar idea de lo indicado por la inspección del siguiente cuadro:

Colores del espectro.	Longitud en milímetros de sus respectivas ondas luminosas por el aire.	Número de vibraciones por segundo con que respectivamente son producidas.
Rojo.....	0,^{mm}000 620	480 billones.
Anaranjado.....	0, 000 583	511 »
Amarillo.....	0, 000 551	540 »
Verde.....	0, 000 512	583 »
Azul.....	0, 000 475	628 »
Índigo ó añil.....	0, 000 449	663 »
Violado.....	0, 000 423	704 »

7.ª *Entre los medios* que hay para poder hacer ver la desigual refrangibilidad de los diferentes rayos ó colores del espectro, se puede citar el de aislar sucesivamente, por medio de una pantalla con orificios convenientemente dispuestos, los rayos de cada color, y observar su desviación mínimum haciéndole pasar por un segundo prisma; pues se ve que cada cual presenta un desvío mínimum diferente, prueba de que tiene desigual refrangibilidad.

Apreciado el orden de la diferente refrangibilidad de los rayos que dan los siete colores, se ve que el menos refrangible es el rojo y el más

el violado, y que los demás están en el orden sucesivo intermedio. Lo primero se comprueba fácilmente pegando sobre un cartón negro, en una misma dirección, dos tiras estrechas de papel, la primera roja y la segunda de color violado; pues mirándolas á través de un prisma, se las ve desviadas en totalidad de su posición verdadera y, además la una de la otra, de suerte que la violada se ve menos aproximada al vertice que la roja: lo que manifiesta que los rayos rojos se desvían menos y los violados más.

8.ª *Que los colores* del espectro son simples se puede demostrar con varios hechos; pero es suficiente para convencerse de ello aislar sucesivamente, como es posible con la pantalla de orificios, un haz de cada color, y hacerle atravesar un segundo prisma; pues se verá que no es posible descomponerlos en colores distintos del respectivo.

9.ª *Los rayos* que dan los diferentes colores, no sólo son diferentemente refrangibles, sino que los de un mismo color lo son también; pues que teniendo cierta anchura las bandas de los diferentes colores, podemos considerar á éstas divididas en otras menores, y, por consiguiente, que los rayos de un mismo color que las forman, estando diferentemente desviados del vértice ó de la base del prisma, tienen diferente refrangibilidad.

10. *Recomposición* de la luz es la operación, inversa de su descomposición, en virtud de la cual, haciendo concurrir á un mismo espacio los rayos de los siete colores obtenidos en la descomposición, se vuelve á formar la luz natural, ordinaria ó blanca.

La descomposición de la luz es como su análisis y la recomposición su síntesis.

Esto comprueba que la luz se compone de los siete colores del arco iris, esto es, de los siete órdenes de rayos que producen aquéllos, puesto que con los mismos, en iguales proporciones que en el espectro, se reproduce la luz blanca.

11. *La recomposición* de la luz se puede ejecutar con un segundo prisma, ya por medio de una lente convergente ó de un espejo cóncavo, bien empleando el aparatito de los siete espejos ó haciendo uso del disco de Newton.

12. *La recomposición* de la luz con un segundo prisma se ejecuta del modo siguiente: descompuesta la luz por un primer prisma, se toma otro enteramente igual y se coloca detrás, á corta distancia y á igual altura que el primero, con las aristas parale-

las á las de éste y con su vértice en posición inversa, de modo que la luz descompuesta en el primero pase al través del segundo; con lo que se ve salir aquélla reducida á un nuevo haz de luz blanca paralelo al incidente sobre el primer prisma.

13. *Se recompone* la luz con una lente convergente, recibiendo con ella los rayos de los diferentes colores producidos por la descomposición con el prisma; pues se ve reaparecer en el foco la luz blanca, aunque resulten alrededor aureolas de colores, efecto de la aberración de esfericidad, que impide vayan á reunirse en el mismo espacio todos los rayos que la atraviesan.

Semejantemente se puede verificar la recomposición, valiéndose de un espejo cóncavo.

14. *Se recompone* con el aparatito de los siete espejos, disponiendo éste y el prisma de modo que moviendo é inclinando aquéllos convenientemente, según la disposición que para ello tienen, se logre recibir en cada espejo uno de los siete colores que salen del prisma, y que reflejados respectivamente, vayan á proyectarse las siete imágenes sobre un mismo punto ó espacio de una pantalla; pues en este caso se reducen todos á uno solo y aparece la luz blanca.

16. *El disco* de Newton es una chapa circular de metal, dispuesta para poder girar con rapidez alrededor de su centro y apoyada en éste por una de sus caras: en la otra lleva pintado de negro un círculo concéntrico al total, pero de un radio que viene á ser igual á un tercio del primero; la corona ó anillo intermedio se divide en trapecios circulares, y éstos en otros siete secundarios y en la proporción que tienen en el espectro, con los colores que se pintan aquéllos. Mediante esta disposición, y haciendo girar el disco con gran rapidez, el círculo negro permanece en este mismo estado, pero en la corona desaparecen los diferentes colores y aparece teñida de blanco.

Éste resulta tanto más limpio, cuanto más puros son los colores con que está pintado el disco, que nunca lo son tanto como los del espectro, verdadero y único tipo de ellos.

17. *Admitida* la descomposición de la luz en siete colores simples elementales, el blanco no es verdadero color, sino el efecto de los rayos lumínicos sin descomponer.

17. *La luz blanca* es el efecto que produce la reunión de los siete colores en conjunto, como se efectúa de ordinario.

18. *La variedad de colores* que ofrece la naturaleza no son verdaderos colores, pues que en la luz, de que todos proceden, no hay más que los siete del espectro, únicos verdaderos y distintos.

19. *Los llamados* colores de la naturaleza, no siendo los del espectro, se deben llamar tintas ó matices, atendido su origen.

20. *El origen de todas las tintas*, llamadas variados colores de la naturaleza, es la propiedad que poseen los rayos de los distintos colores del espectro de producir, al reunirse dos ó más, una sensación diferente á la de los componentes, como resulta la del blanco al reunirse todos en la proporción del espectro solar.

21. *Brewster* llegó á suponer que todos los rayos del espectro se podrían considerar reducidos á tres, porque viendo que la reunión de los colores del mismo dos á dos, el primero con el tercero, el segundo con el cuarto, etc. daban los colores intermedios, y que haciendo ciertos experimentos parecía resultar en todos los rayos del espectro los tres colores rojo, amarillo y azul, creyó que en todos los puntos de aquél existían combinados en diferente proporción, y, por consiguiente, que los siete colores del espectro eran compuestos por dichos tres, aunque de la manera siguiente: que el espectro se componía de tres bandas de igual extensión, una roja, otra amarilla y azul la tercera; que teniendo desigual intensidad en sus diferentes puntos, al coincidir en la superposición, si bien se combinaban los tres colores, lo hacían con intensidades diferentes, predominando uno de ellos ó la reunión de los otros dos; lo que daba los tres colores en todo el espectro, aunque predominando por lo dicho y en los lugares correspondientes los tres indicados, solos, y en los suyos respectivos los otros cuatro resultantes de la combinación de los primeros.

22. *La hipótesis* de Brewster es inadmisible, porque sus experimentos no ofrecen toda la seguridad necesaria; porque hasta cierto punto no estaría conforme con la de las ondulaciones, por medio de la cual se explican los siete colores y la gradación de sus elementos, á la manera que resulta en acústica la gama y la escala musical por las ondulaciones del aire, y porque además de los hechos que prueban la simplicidad de los siete colores y

su individualidad respectiva, resulta que en realidad no es posible formar la luz blanca pura con dichos tres colores, como se efectúa por el concurso de los siete en las proporciones del espectro.

II.

23. *Colores complementarios* son los del espectro que reunidos producen la luz blanca. Cada color tiene su complementario, que puede ser otro de los del espectro ó el formado por la reunión de dos de los simples ó de las mil tintas ó matices, vulgarmente *medios colores,* resultantes de la combinación de varios del espectro en cuyo total no resulten los siete en las misma proporciones que en aquél.

Entre otros ejemplos de colores simples que forman la luz blanca se pueden citar los siguientes: violado y amarillo verdoso, índigo ó añil y amarillo, azul y anaranjado, azul verdoso y rojo, por más que, según Helmholtz, sólo hay dos colores perfectamente complementarios, el índigo y el amarillo, siendo de advertir que las tintas ó matices que producen los colores del espectro no siempre se obtienen lo mismo al mezclar iguales colores materiales de los que se usan en la pintura.

Por lo expuesto se comprenderá cuán grande debe ser el número posible de colores, como se observa en la contemplación de las plantas y sus flores, plumaje de las aves, alas de los insectos, etc. por cuya razón, y sabiéndose que el número de las tintas usadas por los romanos en la formación de mosaicos excedía de treinta mil, se comprende la dificultad de una clasificación y nomenclatura de los colores, tan vaga aun en los pocos de que se habla en los usos vulgares; sin embargo, Mr. Chevreul se ha ocupado de esta cuestión de un modo admirable, estudiando la manera como un mismo color varía de aspecto, aclarándose ú oscureciéndose por la adición ó mezcla gradual de él y el blanco en el primer caso, hasta aparecer absolutamente blanco, ó del mismo y el negro en el segundo caso, hasta resultar completamente negro, formando sus ingeniosos círculos y gamas cromáticas y estableciendo la nomenclatura de tonos, gamas, gradación y gamas oscurecidas, llegando á formar como una escala en que se determinan unos 14.420 matices.

Este estudio de los colores, con el contraste de los mismos, ha de producir nociones importantísimas al estudio teórico y práctico de la pintura y ramos de ornamentación relacionados con ella.

24. *El color* de los cuerpos trasparentes se puede explicar se-

gún la teoría de Newton, admitiendo que al pasar la luz al través de ellos se descompone y, según la naturaleza de cada cual, deja pasar rayos de uno ó más colores, absorbiendo, consumiendo ó destruyendo los demás; así es que, si pasan de un solo color, aparece el rojo, anaranjado, etc., y si de dos ó más, se percibe la tinta que produce su combinación.

De esta manera, preparar ó formar un cuerpo trasparente rojo, etc. es hacer que, por las sustancias de su composición, su naturaleza sea tal, que sólo permita el tránsito de los rayos rojos, etc., absorbiendo los demás.

25. *El color* de los cuerpos opacos se explica de una manera semejante, suponiendo que al caer la luz natural sobre la superficie de aquéllos, ó penetrando hasta una cierta profundidad, se descompone, reflejando los diferentes rayos en totalidad ó absorbiendo los de alguna clase de ellos.

De este modo, reflejados todos ó solamente los de uno ó más colores en disposición conveniente, si el ojo recibe los siete á la vez, ve blancos los cuerpos; si percibe uno solo de los diferentes órdenes que producen los siete, los ve de aquel color, y si dos ó más, los percibe con la tinta correspondiente á la combinación de los mismos.

Según esto, los colores de los cuerpos no residen en éstos, sino en la luz y en el modo con que dejan pasar ó reflejar la totalidad de los rayos de los siete colores ó solamente los de uno ó más de ellos.

26. *El negro* de los cuerpos es el resultado de la absorción total de los siete colores de la luz que penetra en ellos, ó que cae sobre los mismos, deteniéndola toda é impidiendo llegue parte alguna de ella al ojo del observador.

27. *Hablando con propiedad*, no se debería decir color negro, porque en realidad éste es la extinción completa de la luz blanca y, por consiguiente, de sus colores y tintas resultantes de la combinación de los mismos.

Puede decirse que el verdadero color negro de los cuerpos es el que nos presentan todos en la oscuridad completa, como la de una habitación sin luz alguna, pues la mayoría de los cuerpos que se llaman negros, en realidad no lo son, sino tintas más ó menos oscuras,

28. *Las regiones del espectro solar*, ó los diferentes órdenes de rayos, que producen sus siete colores, tienen propiedades muy distintas, según se refieren á su intensidad luminosa y calorífica

ó á su acción química, por cuya razón aquél se considera bajo tres diferentes aspectos, estudiando, además del *espectro luminoso* ó de los colores, otro con el nombre de *espectro calorífico*, y otro denominado *espectro químico*.

29. *El espectro luminoso* lo constituyen las diferencias de intensidad luminosa ó iluminatriz (claridad) de unos colores á otros. De su estudio resulta que el máximum de intensidad luminosa se presenta en la región del amarillo y el mínimum en la del violado.

30. *El espectro calorífico* lo constituyen las diferencias de intensidad calorífica ó diferentes resultados termométricos obtenidos de unas regiones á otras del espectro luminoso. De su estudio resulta que no es fácil precisar sus límites; pues, según Leslie, se obtienen temperaturas crecientes desde el violado al rojo; según Herchel, el máximum debía estar en la banda oscura que termina el rojo, y según Berard en el rojo mismo.

Esta diferencia depende tal vez de que, según los experimentos de Seebeck, los resultados de los experimentos referentes á la cuestión varían con la naturaleza del prisma, pues con uno de agua resulta el máximum en el amarillo; si es de alcohol en el amarillo anaranjado, y si de crown-glas en el rojo medio.

Según los experimentos de Melloni resulta, que el máximum de calor en el espectro se obtiene alejándose del amarillo hacia el rojo á medida que el prisma es de sustancia más diatermana, de modo que con uno de sal gemma se produce más allá y fuera del espacio donde se halla el rojo.

31. *El espectro químico* lo constituyen las diferencias de acción química sobre la materia de los cuerpos, que resultan en las diferentes regiones del espectro ó que se producen por los rayos de los diferentes colores. De este estudio resulta que la luz solar no sirve en la naturaleza solamente para la visión de los objetos, como se puede creer vulgarmente, sino que obra como un agente químico, tan esencial como el calor y la electricidad para la producción y sostenimiento de la vida animal y vegetal, así como maravilloso reactivo en la fotografía y en la química.

Como ejemplos de la acción química de la luz se pueden citar, además de otros muchos, los hechos siguientes: el protocloruro de mercurio y el cloruro de plata se ennegrecen por la acción de la luz; el fósforo diá-

fano se vuelve opaco; los principios colorantes de origen vegetal se destruyen; la luz por sí sola basta para determinar ciertas combinaciones, como sucede con una mezcla de cloro é hidrógeno; y, por último, es también la que contribuye muy principalmente á la producción de la materia verde de las plantas.

Además, según observó ya Scheele en 1770, el cloruro de plata, expuesto á la luz solar, adquiere un tinte violáceo, y el mismo reconoció que los rayos violados del espectro son los únicos que producen este efecto. Wollaston observó en seguida que dicha acción se extiende también fuera del espectro visible más allá del violado, con la misma intensidad que en éste, de lo cual dedujo que además de los rayos que impresionan la retina, existen otros que son invisibles y más refrangibles.

Según esto y lo observado por Becquerel y Stokes, se clasificaron los rayos del espectro denominando á unos *rayos químicos*, *eficaces* ó *excitadores;* á otros *rayos continuadores*, y á otros *fosforogénicos* y *fluorescentes*. Los primeros son los que, como los violados y de más allá, *ultra-violados*, ejercen por sí solos acción química. Los segundos son los que, no ejerciéndola por sí solos, tienen la propiedad de continuar la iniciada por los rayos excitadores. Los terceros ó fosforogénicos son los que poseen la propiedad de hacer luminosos en la oscuridad á ciertos cuerpos después de haber estado expuestos algún tiempo á la luz solar, como sucede con el sulfuro de bario: se extienden desde el índigo hasta mucho más allá del violado. Últimamente, los fluorescentes son los que, más allá de los ultra-violados, su refrangibilidad es tal, que aunque el número de sus correspondientes ondulaciones excede el límite de la visibilidad, se hacen visibles por la interposición de ciertas disoluciones, como las de quinina y las de erculina, ó de ciertos cristales como los de Urano: propiedad que hace suponer que al atravesar dichos rayos por estas sustancias disminuye su refrangibilidad.

Según Tyndall, se observa también que los rayos oscuros que aparecen más allá del rojo, recibidos en el vacío sobre una hoja de estaño ó de carbón, en el aire, ó en el vacío, sobre otra hoja de platino platinizada, es decir, recubierta de platino en estado pulverulento, aumenta su refrangibilidad y producen una imagen visible.

32. *Se da el nombre de rayas del espectro solar* á un considerable número de estrechas bandas que se observan en el mismo, según el sentido trasversal ó paralelo á las aristas del prisma refringente con que se efectúa la descomposición y donde resulta como falta de luz ó de color. De ellas, unas, que se pueden considerar como principales, son más fuertes y perceptibles, y otras, que se pueden tomar por secundarias, resultan más finas y menos aparentes.

Fueron descubiertas por Fraünofer en 1817, ignorando que en 1802 Wollaston había observado algunas, y así como ellas indican que de sus puntos no salen rayos luminosos, de la misma manera se observan en el espectro calorífico bandas de cuyos puntos no se desprenden rayos de calor, cuyas bandas se les ha llamado *bandas* ó *rayas de frío:* nuevo hecho que confirma la analogía ó semejanza entre los fenómenos caloríficos y los luminosos.

Del estudio de las rayas por Fraünofer resulta: que hay ocho más fuertes y perceptibles, denominadas *rayas de Fraünofer*, que se toman como tipos para relacionar con ellas la posición de las demás; que si bien aquél contó 600, Brewster llegó á contar 2000, y se consideran hasta 3000 por haberse llegado á conocer que muchas de las consideradas como simples están compuestas de otras secundarias.

Además de las ocho llamadas de Fraünofer, existen otras bastante perceptibles también, que se utilizan como límites ó tipos secundarios para facilitar más la división y subdivisión de la totalidad.

Para fijar y facilitar el estudio de las rayas, Fraünofer y otros continuaron su estudio y el primero señaló en el dibujo del espectro las ocho principales con las letras mayúsculas *A*, *B*,... *H*, y sucesivamente, con otras, algunas más cuya situación ha sido conveniente fijar también.

La raya *A* está en el límite del rojo, *B* en su medio y *C* en el límite común del rojo y anaranjado: *D* en el anaranjado, *E* en el verde, *F* en el azul, *G* en el índigo y *H* en el violado: en el rojo hay también otra línea notable que se señala con *A* de otro carácter, é igualmente hay otra en el verde que se señala con *B* del mismo carácter que la anterior.

33. *Las rayas oscuras* del espectro solar puro unas son constantes en posición, como las de Fraünofer; pero entre las pequeñas las hay cuya aparición ó situación varía según la altura del sol sobre el horizonte y el estado de la atmósfera. Las rayas fijas son debidas á dicho astro, pero las variables se atribuyen á la absorción por el aire, razón por la cual se denominan *rayas telúricas*.

Las rayas de los espectros producidos por la luz de la atmósfera, de las nubes, de los planetas y de la luna, cuyo origen común es la del sol, resultan como las del espectro de aquél, si bien menos fuertes.

En los espectros formados por la luz de los focos artificiales ó por la de las estrellas, la posición relativa de sus rayas oscuras varía respecto á las del sol.

Con la luz eléctrica los espectros resultan con rayas brillantes en vez de oscuras.

En los espectros producidos por llamas coloradas, ó en las que se vaporizan sustancias como los metales ó sales metálicas, aparecen rayas de matices brillantes y variados en regiones determinadas.

34. *Los espectros*, con relación á sus rayas y orígenes de la luz de que resultan al descomponerse ésta por los prismas, se pueden clasificar, según las diferencias que ofrecen, por el orden siguiente: 1.° Espectros discontinuos de rayas opacas, como el solar; 2.° Espectros discontinuos de rayas brillantes formadas por rayas coloradas y separadas por intervalos opacos, como los de la luz de gases ó vapores incandescentes en los que los matices y posiciones de sus rayas varían según la naturaleza de aquéllas; 3.° Espectros continuos, es decir, sin intervalos oscuros, que son los producidos por las luces que emiten ciertos sólidos ó líquidos incandescentes y resultan muy brillantes.

35. *Del estudio de las rayas del espectro* resultó el nuevo hecho de que las sustancias volatilizadas en una llama daban á las rayas del espectro coloraciones determinadas que caracterizaban dichas sustancias.

Esta propiedad hizo deducir la facilidad de reconocer las sustancias volatilizadas en una llama, conduciendo á la invención del análisis espectral, como ventajoso auxiliar del análisis químico cualitativo. Sus métodos y aparatos con que se practica, llamados espectrómetros, se han perfeccionado sucesivamente y simplificado más y más desde su invención en 1860 por los señores Kirchhoff y Bunsen, cuyos pormenores serían impropios é incompletos en estas lecciones.

Últimamente el estudio espectroscópico ha conducido á la grandiosa aplicación del análisis de los cuerpos celestes, con el que se ha adquirido conocimiento de la constitución del sol y estrellas fijas, y de que tanto en uno como en otras existe un núcleo sólido ó líquido y una atmósfera en que hay, al estado de vapor, potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, níkel, cromo, zinc y también hidrógeno.

36. *El análisis espectral de los astros* se fundó en la deducción hecha por Kirchhoff de que las rayas opacas no provienen precisamente del origen de luz, sino de los vapores al través de los cuales pasa el haz luminoso que produce el espectro, los cuales amortiguan los colores debidos á determinado número de vibraciones, y que las rayas opacas originadas de este modo por un vapor cualquiera corresponden exactamente en posición y nú-

mero á las rayas brillantes que produce el mismo vapor en estado incandescente: fenómeno que se conoce con la denominación de *inversión de las rayas* ó *inversión de los espectros*.

37. *Se da el nombre de acromatismo* á la posibilidad de poder hacer pasar la luz al través de las caras no paralelas de los cuerpos diáfanos, refractándose sin descomponerse.

Aunque Newton dedujo de sus investigaciones sobre la descomposición, que no era posible el desvío de la luz al través de los cuerpos diáfanos, sin que á la vez hubiese dispersión, vuelto á estudiar este problema por otros físicos, se llegó á encontrar el medio de la desviación sin descomposición, como se consigue efectuándolo del modo siguiente: se hace pasar la luz por un primer prisma, que la desvía y descompone; se combina con él otro segundo prisma hueco y de ángulo variable, que se llena con un líquido incoloro, y haciendo variar dicho ángulo, se llega á un valor, para cada líquido, con el cual al pasar la luz desviada y descompuesta por el primero al través del segundo, sale conservando su desvío y sin coloración.

38. *Acromatizar* los prismas ó las lentes es disponerlos de modo que la luz pueda atravesarlos, desviándose y produciendo los efectos consiguientes, sin descomposición, resultando la luz emergente sin colores.

El acromatismo se puede presentar y demostrar experimentalmente, combinando un prisma refringente ordinario con el de ángulo variable lleno de un líquido incoloro, y abriendo ó cerrando convenientemente el ángulo variable, ó con el aparato denominado prisma para demostrar el acromatismo.

39. *Se da el nombre de prismas acromáticos* á los formados por la reunión, convenientemente dispuesta, de dos ó más prismas de sustancias y ángulos diferentes, y que producen el desvío de la luz que los atraviesa, impidiendo total ó parcialmente la coloración de la luz emergente ó de los objetos mirados con ellos.

40. *Lentes acromáticas* son las formadas por la reunión, convenientemente dispuesta, de dos ó más de ellas, de materia y curvatura diferentes, que produciendo la convergencia de los rayos luminosos y sus consecuencias, impiden total ó parcialmente la coloración de la luz emergente ó de las imágenes que producen.

Están formadas con dos convergentes montadas en una misma armadura, ó sobrepuestas y unidas por una sustancia líquida

trasparente, como el bálsamo de canadá, que produce una adherencia tan fuerte y perfecta, que las hace aparecer como de una sola pieza.

42. *Para formar lentes* completamente acromáticas sería necesario en realidad la combinación de siete de ellas, pero en general se forman con dos solamente, una biconvexa de crown-glass y otra cóncavo-convexa divergente de flint, en cuya concavidad se introduce la primera, resultando como una sola biconvexa.

43. *Las lentes* que se usan en los instrumentos de óptica con el nombre de acromáticas, se construyen combinando dos solamente, porque con la disposición que se les da, se consigue desaparezcan el rojo y amarillo, que son los que más impiden la visión limpia y clara de los objetos.

44. *Se da el nombre de aberración* de refrangibilidad al defecto que presentan las lentes, especialmente las convergentes, que consiste en producir las imágenes irizadas ó rodeadas de franjas coloreadas.

Es debida á la refrangibilidad de los colores, en virtud de la cual no es posible que al reunirse los rayos para formar las imágenes, lo efectúen todos en el mismo espacio.

Se corrige usando prismas ó lentes acromáticos convenientemente dispuestos ó combinados entre sí.

LECCIÓN LXXVI.

Fenómenos meteorológicos cuyo origen es la luz solar.—Espejismo.—Crepúsculos.—Color de la atmósfera.—Arco iris y halos.

1.ª *Se da el nombre de espejismo* al fenómeno óptico que se observa en localidades y circunstancias especiales, que consiste en percibir las imágenes inversas y aun directas de objetos lejanos, ya en las capas superiores de la atmósfera, como las aéreas producidas por los espejos, ó en sus inferiores, cual si éstas fuesen las aguas de un lago.

2.ª El espejismo no sólo se puede observar en las capas inferiores ó superiores del aire, sino que también sobre las inmediatas á la superficie de los mares.

Se observa generalmente en las llanuras arenosas y calentadas por un sol fuerte, por cuya razón es muy frecuente en Arabia y Egipto, donde es conocido desde tan antiguo que en el Korán se compara con dicho fenómeno todo lo que es engañoso.

El primero que dió una teoría ó explicación completa de este fenómeno fué Monge, físico francés que tuvo ocasión de observarlo en el bajo Egipto, cuando estuvo en este país formando parte de la expedición francesa en 1798.

Conocida su explicación, se produce experimentalmente y comprende es fácil su reproducción en muchos más lugares de los que se pudiera creer, pues que se suele producir en las carreteras y cerca de muros fuertemente calentados por el sol.

3.ª *Este fenómeno*, aunque tan vario como puede ser, se explica fácilmente por la reflexión total, haciendo las suposiciones propias de los casos que pueden ocurrir.

Como ejemplo más determinado y fácil de precisar, se explica generalmente el espejismo de Egipto construyendo la figura correspondiente, que se halla en casi todos los textos. Por consideraciones análogas se comprenden todos los demás casos de espejismo en el mar, espejismo lateral, suspensión de imágenes en la atmósfera, como viene á ser la fatamorgana, las apariciones, en el aire, de poblaciones ó edificios, de ejércitos y batallas, etc.

4.ª *Se da el nombre de fatamorgana* al fenómeno de espejismo que se observa principalmente en el estrecho de Mesina, y consiste en lo siguiente: cuando se mira al mar, desde las colinas que dominan dicha ciudad, y la altura del sol es de unos 45°, en ocasiones dadas, se ven en el aire y á grande distancia edificios, ruinas y buques más ó menos deformados, derechos, inclinados ó invertidos y cambiando de posición de un instante á otro. También es visible el mismo fenómeno en Nápoles y varios puntos de la costa de Sicilia.

5.ª *Se da el nombre de crepúsculos* á la luz difusa que ilumina á una zona ó punto de la tierra antes del orto y después del ocaso del sol, hallándose éste bajo el horizonte de dicho punto.

6.ª *Los crepúsculos* son dos, y se denominan matutino el uno y vespertino el otro.

7.ª *Crepúsculo matutino* es el que se observa antes de la salida del sol.

8.ª *Crepúsculo vespertino* es el que se observa después de la puesta del sol.

9.ª *El crepúsculo matutino* se llama también aurora.

10. *Los crepúsculos* se explican y comprenden fácilmente por la refracción de los rayos solares, que debiendo atravesar la atmósfera, son desviados de su dirección y llegan hasta los puntos de la tierra á donde no llegaría directamente ninguno de los emitidos desde la posición del astro bajo el horizonte.

11. *La duración del crepúsculo* es muy variable de unos puntos á otros de la tierra, y aun, en uno mismo, de unas estaciones á otras y hasta de uno á otro día, pues depende del estado de humedad y densidad de la atmósfera.

Son más largos cuanto más dilatada está la atmósfera y es mayor la humedad del aire, por cuya razón en nuestros climas es de mayor duración el vespertino que el matutino.

Son de mayor duración en invierno que en verano, muy largos en las regiones polares y casi nulos entre los trópicos, donde hallándose el aire generalmente seco, se pasa tan rápidamente del día á la noche, que causa gran sorpresa á los viajeros que ignoran la causa.

12. *La aurora* en nuestros climas empieza cuando el sol se halla aún debajo del horizonte cerca de 17°.

13. *El vespertino* dura hasta que el sol desciende bajo el horizonte entre 17° y 18° por término medio.

Los límites de los crepúsculos no son fáciles de precisar, pero, astronómicamente considerados, vienen á ser, para el vespertino el instante en que se empieza á distinguir en el zenit, al oscurecer, las estrellas de 6.ª magnitud, y para el matutino aquel en que desaparecen dichos astros.

14. *Es algo más largo el vespertino* que el matutino, porque siendo la temperatura de la atmósfera al amanecer la menor, se halla menos dilatada y con menos vapor que á la puesta del sol, en que, por el calor del día y temperatura que entonces posee, se halla más dilatada y más cargada de vapores con los elevados durante el día.

15. *El color del cielo* visto desde la cima de las altas montañas es más oscuro que observado desde las llanuras, por el estado de menor densidad que tienen las capas de aire en aquellas alturas y la menor humedad que poseen; pues proviniendo la cla-

ridad de la atmósfera de la reflexión de la luz que la atraviesa, no sólo en las moléculas del aire, sino en las del vapor, cuanto mayor es la cantidad de éste, tanto más grande es la reflexión y la claridad ó brillo.

16. *La coloración* del aire ó de la atmósfera y la de las nubes no se puede explicar fácilmente con exactitud, por ser fenómeno bastante complejo. Se reduce esencialmente á que el aire no es completamente diáfano y mucho menos el vapor que en más ó menos cantidad contiene, por cuya razón la luz que le atraviesa y se difunde en la atmósfera, no sólo sufre la trasmisión con la correspondiente refracción, sino que también experimenta en las moléculas del aire y del vapor reflexiones y descomposiciones, que dan lugar en las capas de aire de alguna extensión á absorción de unos colores y trasmisión de otros; en cuya consecuencia, recibiendo nosotros los más refrangibles, vemos aquélla con el color más ó menos azulado, y las nubes con esa variedad de tintas resultantes por la combinación de los rayos de diferente color que nos trasmiten al descomponer la luz blanca y detener los colores que absorben.

17. *El ver al sol con más brillo* hacia el zenit que hacia el horizonte, tanto en su orto como en su ocaso, de tal manera que en su primera posición no es posible fijar la vista en él, cuando en la segunda se puede mirar impunemente, se explica del modo siguiente. Al hallarse en el zenit, los rayos luminosos atraviesan, hasta llegar á nosotros, una distancia vertical de menor longitud que cuando vienen de más abajo que el horizonte y por capas próximas á la superficie de la tierra, y como las por donde van pasando hasta llegar á las de cierta proximidad á la tierra se hallan poco cargadas de vapor, resulta que hay poco desvío ó dispersión y poca absorción de luz, por cuya razón impresionan más fuertemente el órgano de la visión. Al hallarse próximo al horizonte, los rayos luminosos teniendo que atravesar, hasta llegar á nosotros, una extensión de atmósfera de mayor espesor, más próxima á la superficie de la tierra, y, por consiguiente, más cargada de vapor que cuando vienen del zenit, resulta mayor descomposición y absorción de luz, y, por todo ello, la menor cantidad de rayos y colores que llega á nuestra vista, nos la im-

presiona más suavemente y nos ofrece esas tintas más ó menos rojizas y características de la salida y puesta del sol, que relacionadas con la cantidad y estado de vapor existente en la atmósfera, suelen servir de señales para predecir el tiempo: pormenores que, por su vaguedad, complicación y variedad, constituyen una cuestión de Meteorología más ó menos incierta é impropia de estas lecciones.

18. *El arco iris* es un metéoro luminoso que se observa en ocasiones y circunstancias dadas, y consiste en una banda ó trozo de corona circular, subdividida en siete fajas concéntricas, teñidas respectivamente con los siete colores del espectro, empezando por el rojo en la parte superior exterior y concluyendo con el violado en la parte inferior é interior.

19. *El arco iris* se produce en días de lluvia ó nublados, cuando el sol se halla poco elevado, ó bastante distante del zenit, y la atmósfera en disposición de permitir la entrada de los rayos solares por puntos despejados y de impedir su libre paso por la parte opuesta, interceptada con nubes que se están resolviendo en lluvia.

El arco iris no siempre se presenta solo ó aislado, sino que muchas veces se ven dos, uno principal ó exterior, y otro interior y contiguo con los colores en orden inverso que los del primero: algunas veces, aunque menos frecuentemente, se ven tres, y si bien pudieran verse en mayor número, la cantidad de rayos que pueden formarlos es ya tan pequeña que su impresión resulta muy débil é imperceptible.

20. *La producción del arco iris* es debida á la descomposición de los rayos solares al atravesar las gotas de agua que se desprenden de las nubes, de los cuales unos pasan á la parte opuesta y se pierden para el observador, y otros, sufriendo la reflexión total una ó más veces, retroceden y salen de las respectivas gotas, yendo á penetrar en el ojo de aquél los rayos rojos procedentes de un orden de ellas, lo mismo que los anaranjados, amarillos, etc., que se desprenden de hileras de dichas gotas en el orden sucesivo é inferior respectivo.

21. *La formación del arco principal* exterior ó superior se explica, en lo esencial, describiendo, con la figura correspondiente, la marcha de la luz en las gotas de agua que atraviesa, y viendo

cómo se verifica la salida del color que de cada una de las que ocupan las diferentes alturas debe llegar al ojo del observador; en cuyo caso se ve que la luz entra, se refracta y descompone en cada gota, y que de sus rayos unos pasan á la parte opuesta, y otros, sufriendo la reflexión total una vez, retroceden y salen por la parte anterior por donde se efectuó la entrada.

22. *La explicación del arco interior* es semejante á la del exterior, con la sola diferencia de que se produce por rayos, que entran en las gotas de agua con una inclinación tal, que saliendo después de haber sufrido en su interior dos veces la reflexión total, se cortan con las direcciones de su entrada, lo que hace se nos presenten los colores en orden inverso al caso en que no habiendo más que una reflexión total, no há lugar al corte de rayos. El orden de éstos en tal caso resulta de modo que el rojo aparecerá en el borde interior, ó sea en la parte inferior ó borde cóncavo.

23. *El arco interior ó inverso* no se debe confudir con los secundarios ó suplementarios, que son unas bandas coloreadas ó arcos imperfectos, que se suelen presentar en el interior del arco principal ó fuera del interior ó inverso, cuando éste ó aquél son muy brillantes; siendo los más frecuentes los interiores al arco principal, pues que los que rodean al arco interior se ven raras veces.

Estas bandas ó arcos secundarios se suelen explicar, por unos, suponiendo son debidas á la desigualdad de los radios de las gotas de agua y á no ser éstas perfectamente esféricas; atribuyéndose por Young, Arago y Babinet á efectos de difracción.

24. *Para ver el arco iris* es necesario que el sol no esté muy elevado; que á la parte opuesta haya nubes resolviéndose en lluvia, y que el observador se halle interpuesto entre el sol y la nube, mirando á ésta y vuelta su espalda al sol.

25. *El arco iris* se puede formar también con la luz de la luna, en iguales condiciones que las indicadas para la producción del mismo por el sol; pero en tales arcos sus colores resultan tan poco vivos ó intensos, que raras veces se perciben y casi es imposible distinguir los del interior ó intermedios.

El arco iris también se puede producir al atravesar los rayos luminosos las gotas de agua que se desprenden de las grandes cascadas y saltadores de agua.

26. *El arco iris* producido por la luna se ve tan pocas veces y tan difícilmente, porque siendo sus rayos luminosos los del sol reflejados por ella hacia la tierra, llegan á ésta muy divididos y en pequeño número, y por lo tanto son muy escasos los que llegan á formarlo.

27. *El arco iris de la luna* no se debe confundir con los círculos ó coronas que tan frecuentemente parece que la rodean, porque esto es otro fenómeno distinto; pues se producen de otra manera y en circunstancias muy diferentes de las que son necesarias para la producción de aquél.

28. *Los halos solares* son dos círculos verticales, que se observan en ocasiones dadas, concéntricos al sol, de un rojo pálido en su interior y blancos ó azulados en su exterior, por donde el contorno aparece muy difuso: tienen un diámetro aparente constante, siendo el del interno ó halo menor de 22° á 33°, y el del exterior ó halo mayor de 46°.

29. *Círculo parhelio*, según Babinet, es un círculo blanco horizontal y, por consiguiente, perpendicular á los halos, que pasando por el centro del sol, corta á los mismos.

30. *Parhelios* son imágenes del sol, generalmente difusas, que se presentan en los extremos del diámetro horizontal del halo menor, exteriormente á este círculo, ó también, aunque más raramente, en situación semejante respecto del halo mayor. No se deben confundir con los falsos soles, que son dos imágenes del sol, blancas y bien contorneadas, situadas encima y debajo de aquél, como tocándolo, y que sólo se observan cuando el sol está cercano al horizonte.

31. *Se da el nombre de anthelio* á una imagen muy difusa del sol, de su mismo color y que aparece sobre el círculo parhelio á la parte opuesta del astro.

Algunas veces se cortan sobre el anthelio dos arcos blancos, que se suelen extender á grandes distancias. Otras veces el anthelio aparece acompañado de los paranthelios, que son imágenes débiles y difusas del sol, situadas simétricamente á uno y otro lado del mismo sobre dicho círculo parhelio.

Es de advertir que estos fenómenos, que pueden resultar acompañados con otras apariencias y detalles difícil de enumerar, no siempre se verifican simultáneamente y con toda perfección; siendo lo más frecuente ver el halo menor, los parhelios y el círculo parhelio.

32. *Los halos lunares* son círculos semejantes á los solares, que, aunque muy raras veces, resultan por la luz de la luna acompañados de las demás apariencias que las producidas por el sol en su caso, si bien su brillo es muy débil y los diferentes colores poco distinguibles.

33. *Paraselenes y falsas lunas* son imágenes de la luna, producidas y situadas relativamente á ella y sus halos, como los parhelios y falsos soles respecto de los halos solares.

34. *La explicación de este fenómeno* no es fácil de hacer sucinta y sencillamente, por estar basada en hipótesis, cálculos y experimentos que no es posible resumir para acomodarlos á lecciones elementales; pero, en lo esencial, se puede decir que los halos y demás apariencias que acompañan tanto á los solares como á los lunares, consisten en las descomposiciones y modificaciones que sufren los rayos de dichos astros al atravesar el agua en vapor contenida en la atmósfera, que, congelada en pequeñas agujas ó cristales, puede flotar en la misma, sirviendo como de numerosos y pequeños prismas refringentes.

La formación de las coronas solares y lunares se viene á explicar por la dispersión y difracción de los rayos luminosos al atravesar el agua en vapor contenida en capas superiores de la atmósfera, cuando se interpone en estado vesicular más ó menos dilatado.

35. *Las coronas lunares y solares* son círculos más ó menos coloreados por tintas, que no son los colores puros y aislados del iris, y de diámetro más ó menos considerable, los cuales parece rodean á dichos astros, aun cuando en realidad sólo están interpuestos, pues que el fenómeno se produce en la atmósfera.

36. *Las coronas*, tanto lunares como solares, son diferentes de los halos, no sólo por su forma y aspecto, sino que también por el modo esencial de producirse.

37. *Las coronas* que se observan más frecuentemente son las lunares, así como de los halos los más visibles son los solares.

38. *El fenómeno de los halos,* como algunos otros análogos, no sólo es raro, sino que generalmente se produce más bien en las regiones polares. Entre los otros fenómenos análogos que se suelen observar en la atmósfera, se pueden citar los siguientes: en

la cima de la montaña Hartz se observa el denominado espectro de Brocken, que consiste en ver el observador, colocado frente á dicha cima y en condiciones convenientes, su imagen formada con los rayos reflejados por su cuerpo hacia las nubes, colocadas entre él y el sol poniente. El círculo de Ulloa es otro fenómeno análogo complicado con un halo.

LECCIÓN LXXVII.

I. Aparatos de óptica.—Su clasificación.—Órgano de la visión.—Partes de que consta.—Mecanismo de la visión.—II. Visión biocular.—Adaptación del ojo á las distancias.—Visión distinta.—Visión distinta y clara.—Distancia de una y otra.—Campo de la visión.—Apreciación de las distancias y tamaños de los objetos.—Ilusiones ópticas.

I.

1.ª *Instrumentos ó aparatos* de óptica son los formados con espejos, lentes y prismas, ó por la combinación de ellos entre sí, y que sirven para dirigir y aprovechar convenientemente los rayos luminosos en las variadas aplicaciones á que se destinan.

2.ª *Los aparatos de óptica* se pueden clasificar de dos modos: 1.° Según los resultados que producen al modificar los rayos luminosos que en ellos tocan ó que por ellos pasan; y 2.° Según los usos á que se los aplica.

3.ª *Los aparatos de óptica*, según modifican los rayos luminosos que en ellos tocan ó que por ellos pasan, se dividen en catóptricos, dióptricos y catadióptricos. Catóptricos son los que, construídos con espejos, modifican los rayos luminosos por reflexión; dióptricos los que, construídos con lentes ó prismas, los modifican por refracción; y catadióptricos los construídos combinando convenientemente espejos, lentes y aun prismas.

4.ª *Los aparatos de óptica*, según los usos á que se los destina, pueden ser de tres clases: de amplificación, de aproximación y de proyección. Son de amplificación los que sirven para producir las imágenes con mayor tamaño que el de los objetos, como los microscopios; de aproximación los que sirven para percibir á corta distancia las imágenes de objetos distantes, como los anteojos y telescopios; y de proyección los que sirven para hacer vi-

sibles las imágenes sobre la superficie de pantallas convenientemente colocadas, como la cámara oscura, el microscopio solar y otros.

5.ª *El aparato* que bajo cierto punto de vista debe ser estudiado como el primero de los de óptica, toda vez que interviene en el uso de todos los demás, es el de la visión, que constituye en el hombre el sentido de la vista.

6.ª *El aparato de la visión* en el hombre se halla situado en la parte superior de la cara y es par, esto es, que consta de dos órganos simétricamente colocados respecto del plano medio, cada uno de los cuales constituye lo que se llama ojo humano.

7.ª *El ojo humano* consta de las partes siguientes: globo del ojo, nervio óptico, partes motoras y partes protectoras.

8.ª *El globo del ojo*, de forma esférica próximamente según unos y elipsoidal según otros, se halla colocado en el tercio superior de la cara, en la correspondiente cavidad huesosa llamada órbita, y se compone esencialmente de la córnea y esclerótica, de la coroides, retina, membrana hialoides, procesos ciliares, del iris con su pupila, del cristalino y de los humores ácueo y vítreo.

La disposición de estas partes es la siguiente: 1.° Se encuentra la cubierta que encierra las demás y se halla formada por dos partes secundarias, de las cuales, la primera ó anterior es la membrana dura y diáfana llamada córnea, y la segunda ó posterior, la blanca y opaca, denominada esclerótica. 2.° Un diafragma ó tabique circular, interior y posterior á la córnea, llamado iris, que se halla en posición vertical y perpendicular al eje del ojo; dándose el nombre de pupila á la abertura circular y dilatable situada en la parte central de aquél y concéntrica con los bordes del mismo: el color del iris, más ó menos claro ú oscuro, es el que produce el de los ojos azules, negros, etc., que percibido al través de la córnea constituye lo que se llama la niña del ojo. 3.° El cristalino ó cuerpo lenticular, que viene á ser una pequeña lente biconvexa encerrada en una bolsa membranosa, y diáfana como la lente, llamada cápsula del cristalino, colocada á corta distancia del iris, en posición casi como la de éste, y adherida por los bordes á la corona anular y anterior formada por los procesos ciliares. El cristalino divide al interior del globo en dos cavidades incomunicadas, comprendidas entre él y la córnea, la primera, y entre el mismo y el fondo del globo la segunda; la primera resulta dividida á su vez por el iris en dos cámaras, que se comunican por la pupila, llamada cámara anterior la comprendida entre la córnea y el iris, y posterior la situada entre éste y el

cristalino. 4.° El humor acuoso, líquido diáfano y del aspecto del agua, que llena la primera cavidad, tanto en su cámara anterior como en la posterior. 5.° El humor vítreo, sustancia diáfana, gelatinosa y semejante á la clara del huevo, que llena la segunda cavidad del globo del ojo. 6.° De la membrana hialoides, que, siendo sumamente fina y trasparente, rodea ó sirve de envoltorio al humor vítreo. 7.° La retina, membrana sumamente fina y delicada, como destinada á recibir la impresión de la luz, que está formada por la espansión del nervio óptico y se extiende sobre la hialoides. 8.° La coroides, que es otra membrana, también fina y teñida de negro, menos en los albinos, interpuesta entre la retina y la esclerótica, y que va á terminar en los procesos ciliares.

9.° *Eje óptico principal* del globo del ojo es su eje de figura, ó sea la recta con relación á la cual es simétrico. Viene á ser, en un ojo bien formado, la recta que pasa por el centro de la pupila y el centro óptico del cristalino, y cuya dirección es en la que el ojo ve con más limpieza.

10. *Ejes secundarios* son las rectas que van desde el centro óptico del cristalino á un punto del objeto á que se mira.

11. *Ángulo óptico* es el formado por los ejes ópticos principales de los dos ojos en el punto á que ambos se dirigen á la vez. Es tanto menor cuanto mayor es la distancia entre dicho punto y los ojos del observador.

12. *Ángulo visual*, ó bajo el cual se ve un objeto, es el formado por los ejes secundarios, que pasando por el centro óptico de un ojo, lo efectúan á la vez por las extremidades opuestas del objeto á que se mira. Es tanto menor cuanto éste es menor ó se halla á mayor distancia, y tanto mayor cuanto lo es dicho objeto ó es menor la distancia á que el mismo se halla.

13. *Se da el nombre de diámetro aparente* de un cuerpo al valor numérico del ángulo visual bajo el cual se le ve.

14. *Nervio óptico* es cada uno de los del segundo par craneal que, atravesando el fondo de la esclerótica y formando por la espansión de sus filetes la retina, conduce hasta el encéfalo ó centro de las sensaciones la impresión ó vibración que en los diferentes puntos de la retina producen los rayos luminosos.

15. *Las partes motoras* de cada ojo son los seis pequeños músculos que se insertan por una de sus extremidades en la escleró-

tica y por otra en los huesos de la cavidad orbitaria, de los cuales cuatro se denominan rectos y los otros dos oblicuos.

16. *Partes protectoras* de cada ojo son las órbitas, los párpados, las pestañas, las cejas y el aparato lagrimal. Sirven para resguardar al globo del ojo de la acción, entrada ó encuentro de cuerpos extraños, y aun para modificar ó arreglar la entrada de los rayos luminosos.

Además se puede citar como medio protector ó de defensa del ojo la propiedad descubierta en los medios que constituyen aquél, consistente en no trasmitir los rayos ultra-violados del espectro perjudiciales á la retina, ni los oscuros ó caloríficos que acompañan á la luz, que también perjudican á aquélla.

17. *La marcha de los rayos* de luz, que, partiendo de los cuerpos luminosos ó alumbrados, penetran en el ojo y nos hacen visibles á aquéllos, se efectúa como al través de las lentes, del modo siguiente: De los haces de luz incidentes sobre la córnea, unos son reflejados y los restantes que la atraviesan pasan por el humor acuoso de la cámara anterior, sufriendo desde luego una primera y pequeña convergencia á consecuencia de las refracciones en dichos medios; los rayos que caen sobre el iris son absorbidos unos y reflejados otros, y los que corresponden con la pupila, según se halle más ó menos dilatada, pasan á la cámara posterior, continuando su marcha en el humor acuoso de la misma hasta llegar al cristalino; al atravesar á éste, aumentan sus convergencias por las refracciones en el mismo, saliendo y marchando por el humor vítreo hasta efectuarse sobre la retina la formación de los focos respectivos á cada punto del objeto y resultar formada la correspondiente imagen, como las producidas por las lentes esféricas sobre cualquier pantalla, y por último, el contacto de los rayos, en los focos, con los puntos de la retina en que resulta formada la imagen, causa la impresión, que, comunicada por los correspondientes filetes del respectivo nervio óptico, llega al encéfalo ó centro de las sensaciones, experimentándose por fin la de la visión del objeto.

18. *Las imágenes sobre la retina* resultan invertidas y menores que los respectivos objetos, cual las imágenes aéreas de las lentes convergentes, por las mismas razones que en éstas. En

efecto, dirigiéndose los haces luminosos de cada punto alrededor de los correspondientes ejes ópticos secundarios del cristalino, como éstos y el principal se cortan en el centro óptico de aquél, sus prolongaciones se invierten y el foco de cada punto resulta en el eje secundario respectivo, de tal suerte que los de los puntos superiores del objeto corresponden á puntos inferiores de la retina y viceversa.

19. *La formación de las imágenes* é inversión de las mismas en la retina se demuestra experimentalmente, adelgazando por su parte posterior la esclerótica de un ojo de buey ó carnero recientemente muerto, poniendo delante la luz de una bujía y mirando á la parte adelgazada; pues se ve pintada en ésta, como en un vidrio deslustrado, una pequeña pero perfecta imagen invertida de la vela y de la luz.

20. *La visión de los objetos* en su posición directa y tamaño natural, no obstante la inversión y disminución de su imagen en la retina, se ha querido explicar de muchas maneras, aunque ninguna de las hipótesis ideadas satisface de un modo concluyente, por ignorarse en realidad la forma de percibirse las sensaciones; pero se suele considerar más probable, como más gráfica, la de referir la sensación al respectivo punto de que procede cada haz de luz, por el mismo eje secundario á cuyo rededor tiene lugar la entrada de los rayos luminosos.

II.

21. *Se entiende pór visión biocular* la circunstancia de percibir una sola imagen de cada objeto, no obstante resultar dos impresiones al producirse una en cada retina.

22. *La visión biocular* se ha explicado por varias hipótesis, pero la que hoy se considera más admisible, porque está en armonía con ciertos hechos, es la de suponer que las dos imágenes y sus impresiones, una en cada retina, corresponden á puntos perfectamente simétricos en ambas y equidistantes respecto del centro de las sensaciones; por cuya razón, trasmitidas á éste ambas impresiones con simetría, llegan á la vez, y las dos sensaciones se reducen á una.

23. *Que el ver un solo objeto* con los dos ojos es efecto de las

impresiones en puntos simétricos de ambas retinas, parece probarlo bien el hecho siguiente, fácil de observar. Si se desarregla la posición de uno de los dos ojos respecto del otro, aplicando un dedo sobre el párpado inferior de aquél y comprimiéndolo oblicua y suavemente, se ven dos imágenes del objeto que se mira; mas si se cierra uno de los dos ojos, desaparece una de las dos imágenes y sólo se ve una, resultando que la más fija y perfecta es la del ojo que mira naturalmente; lo que también sucede cuando se dirigen los dos á un objeto, pero procurando darles inclinaciones diferentes.

24. *Cuando se mira un objeto* con los dos ojos, no siempre se le ve por completo con cada uno de ellos, pues á veces con el uno se ve una parte, con el otro la restante y sin embargo se ve el total: prueba de que la visión se forma mediante la coincidencia, en una sola, de las dos sensaciones resultantes por la impresión que cada parte causa en el respectivo ojo. Prueba de lo mismo es el que si, mirando á un conjunto de objetos, cerramos el ojo izquierdo, desaparecen algunos de aquéllos de los colocados hacia dicha mano, y si por el contrario se cierra el derecho, desaparecen los colocados hacia esta dirección, cuando mirando con los dos á la vez, la visión es tal que parece estamos viendo todos los objetos con ambos ojos.

Prueba de lo mismo es también la observación siguiente: si interponemos verticalmente una pantalla entre los dos ojos, cerrando uno, veremos solamente cierta parte del objeto con el otro, y viceversa si se hace en orden contrario; pero si se mira con los dos á la vez, descubriremos las dos partes como si se viera el todo por uno y otro ojo.

25. *La coincidencia* de las dos imágenes en una, ó de las dos partes del conjunto que por separado ve cada ojo, cuando se mira con ambos á la vez, se puede decir es el fundamento del *estereoscopio*, que es un pequeño aparato óptico, destinado á ver en relieve, como de bulto ó en sus tres dimensiones, la imagen de cualquier objeto dibujado sobre un mismo plano y en dos láminas ó cuadros iguales y adyacentes, en cada uno de los cuales se halla el dibujo completo de dicho objeto, ó bien el de una parte en el uno y el de otra en el otro.

26. *Se ven reducidas* á una sola las dos vistas de la lámina que se pone en el estereoscopio, porque si bien, por la disposición de éste, cada ojo ve la de enfrente, cuando ambos se colocan con simetría, las dos sensaciones resultantes de la impresión causada á la vez en los puntos simétricos de las retinas, se confunden en una como al mirar un solo objeto.

27. *Se ven los dibujos de los objetos* con el estereoscopio como si fuesen de bulto ó con sus tres dimensiones, porque, tomadas ambas vistas fotográficamente, una con los rayos que, partiendo del objeto con ciertas inclinaciones, formarían la imagen en uno de los ojos, y la segunda con los que la producirían en el otro, al colocar la lámina en el aparato y reflejarse la luz que ilumina cada una de las dos vistas, cada ojo recibe los mismos rayos con que fueron dibujadas ó fijadas, y, por consiguiente, como si los recibiese de los respectivos puntos del objeto mirado directamente y con ambos ojos.

28. *Se comprueba* también la hipótesis indicada respecto de la visión biocular, con el sencillo experimento siguiente: se dibuja una lámina, que en vez de dos vistas tenga dos circunferencias iguales y bien simétricas respecto de la línea divisoria entre los dos dibujos; se le traza á cada cual un diámetro con diferente color, de modo que la dirección del uno sea perpendicular á la del otro, y, mirando por el estereoscopio, se ven las dos como si fueran una sola con dos diámetros perpendiculares entre sí y con su respectivo color.

29. *Explicada la visión* de los objetos por la formación de sus imágenes sobre las respectivas retinas de cada ojo mediante el cristalino, como si éste fuera una lente esférica biconvexa, y dependiendo la distancia de las imágenes á la lente de la comprendida entre ésta y los objetos, ocurre la objeción de que siendo variables las distancias de aquéllos respecto del ojo del observador y pareciendo ser una misma la de la retina al cristalino, ¿cómo puede ser el que se pinten ó resulten siempre con igual claridad y tamaño las imágenes en la retina? Esta objeción se contesta explicando la propiedad denominada adaptación del ojo á todas las distancias.

30. *La adaptación del ojo* á las distancias no es fácil expli-

carla de un modo terminante, pero de todas las hipótesis ideadas la más probable es sin duda la que se comprende por todos, si nos examinamos á nosotros mismos cuando hacemos la comparación de las aptitudes del ojo de uno á otro caso: consiste en suponer que el ojo, por su constitución orgánica, puede avanzar ó retroceder un tanto más ó menos imperceptiblemente respecto de su posición normal, y cambiar de densidad y curvatura su cristalino y hasta los humores vítreo y acuoso; equivaliendo tal operación á un cambio de lente y por lo mismo de distancia focal, é influyendo notablemente, por otra parte, la mayor ó menor abertura que puede tomar la pupila: pormenores que no es dable especificar en estas lecciones, como tampoco los referentes á la falta de acromatismo del cristalino en contra de lo que se venía suponiendo.

31. *Aunque se vea casi lo mismo* un objeto que otro algo más distante, sin embargo, esto sucede mirando primero al uno y luego al otro, y cambiando por tanto la aptitud del ojo; pero si se miran los dos á la vez, en realidad se ve mejor y con más pormenores al más próximo ó al más lejano, según la aptitud de los ojos al fijarlos con preferencia en uno ú otro de los dos objetos.

32. *La visión puede ser natural* y artificial. La primera es la que se efectúa por medio de los ojos, y la segunda la que se ejecuta con los mismos auxiliados por aparatos ópticos.

La natural es de diferentes maneras, según la distancia, número y magnitud de los objetos, y la mayor ó menor intensidad de su iluminación; razón por la cual se debe precisar bien las condiciones en que se efectúa y con las que se debe diferenciar; pues así como no es posible ver los objetos por completo cuando por sus grandes dimensiones exceden el campo de la visión general, así tampoco se pueden ver bien cuando aquéllas llegan á cierto grado de pequeñez menor que 0,001 de pulgada. Asimismo dejan de poder ser vistos los objetos cuando se acercan ó alejan más allá de ciertos límites, que si bien no se pueden determinar, su conocimiento no es tan indispensable como el de la llamada distancia de la visión distinta ó clara.

33. *Entre las diferentes gradaciones* de la visión conviene determinar y diferenciar bien lo que se llama visión distinta y visión clara ó limpia; la primera es la de los objetos en conjunto,

sin fatigar la vista ni percibir los detalles de ellos; y la segunda es la de los objetos de un conjunto individualmente, percibiendo por separado sus perfiles sin asperezas ni vaguedad en sus contornos. El tipo de la visión distinta y de la clara es la de los caracteres ordinarios en las páginas de los impresos. La primera se verifica cuando, colocada la página á cierta distancia, podemos leer sin fatigar la vista, pero sin percibir con limpieza los perfiles y detalles de cada letra; y la segunda cuando no sólo podemos leer, sino que se percibe cada letra limpia y perfectamente, ó lo que es igual, distinguiendo por separado á cada cual de ellas.

La primera se puede efectuar á distancias comprendidas entre ciertos límites para cada individuo, difíciles de determinar aun para uno mismo. La segunda se ejecuta á distancias, aunque variables para cada individuo, comprendidas para uno mismo entre límites tan próximos que se puede considerar una fija y determinada.

34. *La distancia de la visión distinta*, denominada también punto próximo (puntum proximum), se halla comprendida entre 15 y 20 centímetros, tratándose de la lectura y operaciones semejantes: disminuída esta distancia, la visión resulta oscura y confusa y la lectura imposible; pero aumentada, la visión se hace más clara cada vez, hasta que, excediendo cierto límite, se vuelve á ver oscura y confusamente, haciendo imposible otra vez aquélla.

La distancia mayor á que no es posible ya leer, puede llamarse límite mayor de la distancia de la visión ó punto remoto (puntum remotum): su valor es tan indeterminado que no es posible fijarlo.

La distancia de la visión clara y limpia, respecto de la lectura y operaciones semejantes, viene á ser de unos 25 á 30 centímetros. Ésta, que es la que sirve para caracterizar la presbicia y miopía, se suele llamar, por la generalidad, distancia de la visión distinta en vez de su verdadero calificativo de clara y limpia, como se denomina por otros: confusión que procede de no diferenciar bien una de otra.

35. *Campo de la visión general* es el mayor espacio angular en que se pueden colocar, mover ó extender ante nosotros los objetos, sin dejar de ser vistos en una posición fija de ambos ojos.

Viene á ser el espacio angular por donde los rayos luminosos

emanados de los cuerpos pueden llegar á penetrar en ambos ojos, con una posición fija de los mismos, no entrando en ellos los que exceden los límites de dicho ángulo.

Los objetos que por su tamaño exceden los límites del expresado ángulo, no se pueden ver totalmente y sólo se descubre la parte de ellos comprendida dentro de aquellos límites.

El campo de la visión general, si se considera en el sentido horizontal, es de unos 150° y en el vertical 120°, no debiendo confundir estos valores con el del campo de la visión distinta, que es mucho más reducido y viene á ser de 2° á 4°.

36. *El sentido de la vista*, si bien es el que extiende su dominio á límites más extensos que los otros, en cambio es sumamente falaz, por las ilusiones que resultan al juzgar de la posición, distancia y magnitud de los objetos, á causa del modo de apreciar dichas circunstancias.

37. *La apreciación del tamaño*, distancia, situación y aun forma de los objetos es cuestión menos fácil de apreciar que lo que puede parecer, y más difícil en lecciones elementales; pero se puede decir que depende, según los casos, de la combinación parcial ó total de las circunstancias siguientes: ángulos ópticos y visuales bajo que se miran ó que resultan los objetos; distancias de éstos al ojo y de los mismos entre sí; mayor ó menor iluminación que ofrecen; el conocimiento de las distancias de los objetos en unas ocasiones ó del tamaño determinado de los mismos en otras, y aun de cierto hábito comparativo adquirido por el sentido del tacto.

Por esta razón las apreciaciones de la vista exigen cierta educación del ojo, á la manera que es necesaria la del oído para ciertas apreciaciones de los sonidos. Como ejemplo de esto se puede citar el del ciego de Chedelsen en el siglo XVIII, esto es, el de un joven de trece años á quien el cirujano francés de aquel nombre operó primero en un ojo y al año siguiente en el otro, y le dió vista, pues su ceguera sólo procedía de cataratas. Dicho joven, en los primeros tiempos después de adquirir la vista, no podía apreciar la magnitud de los objetos, pues le parecían todos grandes y sólo comprendía la pequeñez de unos cuando los comparaba con otros mayores. Lo mismo le sucedía respecto de las distancias, pues todos los objetos le parecían igualmente próximos, no llegando á juzgar bien de sus magnitudes y distancias sino después de mucho tiempo de experiencia.

38. *Las filas largas y paralelas* de árboles aparecen convergentes, porque vista su abertura ó distancia entre los primeros bajo un diámetro aparente mayor que el correspondiente á la de los últimos, resulta que, por una especie de abstracción respecto de la diferencia de distancias, juzgamos á una misma los primeros y los últimos y que éstos distan menos entre sí por el menor diámetro aparente que nos presenta la distancia que los separa.

39. *Los objetos á grandes distancias* ó elevaciones nos parecen más pequeños por razones semejantes á las anteriores, en atención á que cuanto más lejos ó elevado se halla el objeto, se le ve con menor diámetro aparente.

LECCIÓN LXXVIII.

Circunstancias que es necesario considerar respecto de la retina del ojo humano.—Su sensibilidad.—Persistencia de la sensación luminosa y fenómenos y aplicaciones que por ella se explican.—Punto ciego (puntum cœcum).—Irradiación luminosa en la retina.—Colores é imágenes accidentales.—Accidentes é imperfecciones que puede ofrecer el ojo humano.—Defectos del cristalino.—Presbicia y miopía; lentes necesarias á los presbitas y miopes, y grados de las mismas.—Otros defectos del ojo, como son: la hemiopía, diplopía, triplopía, ampliopía y acromatopsia.

1.ª *La retina del ojo* humano está constituída y funciona de modo que ofrece las circunstancias siguientes: su sensibilidad, persistencia de la sensación luminosa, el punto ciego y sus irradiaciones.

2.ª *La sensibilidad de la retina* es tal, que las acciones mecánicas pueden impresionarla pasajeramente, produciéndose ciertos resplandores, especie de pequeños relámpagos que á veces se notan en la oscuridad á causa de choques ó compresiones, ó también por la acción química de algunas sustancias; mas la acción de los rayos luminosos la excitan de modo que las sensaciones resultantes, productoras de la visión, no son instantáneas, sino persistentes durante un tiempo, que varía con la intensidad luminosa, colores de la luz, tiempo que ésta obra sobre la retina y grado de sensibilidad de la de cada observador.

3.ª *Persistencia de la sensación* luminosa es el hecho de no ser instantánea y sí durar un tiempo medible después de la impre-

sión; razón por la cual es posible continuar viendo los objetos algún tiempo después de haber cambiado de lugar ó desaparecido de aquél en que se hallaban: tiempo que, aun cuando no es fácil determinarlo exactamente, resulta ser por término medio de dos á cinco décimas de segundo.

4.ª *La persistencia de la sensación* luminosa explica varios hechos y en ella se funda el uso de algunos aparatos sumamente curiosos, como el fenaquisticopio en sus variadas formas, caleidófono, el traumatropio, cuadros cromátropos y otros fáciles de dar á conocer verbal y experimentalmente.

5.ª *Se denomina punto ciego* (puntum cœcum) la extremidad del nervio óptico ó sea su sección ó punto por donde penetra en el globo del ojo para verificar su espansión y formar la retina.

Dicho punto se denomina así por resultar insensible á la acción de la luz, como se prueba por el experimento siguiente: trazando sobre el papel en una misma línea un pequeño círculo negro, á la izquierda, y una cruz negra también, á la derecha, distantes entre sí unos diez centímetros, si se cierra el ojo derecho y mira fijamente á la cruz con el izquierdo, elevando la cabeza perpendicularmente, se llega á notar que el círculo desaparece al estar á unos treinta centímetros de distancia, sin dejarse de ver la cruz, la que reaparece aproximando más ó alejando el dibujo: operando á la inversa, desaparece la cruz sin dejarse de ver el círculo.

6.ª *Irradiación es el fenómeno* en cuya virtud, al mirar los objetos blancos ó de color muy vivo sobre fondo negro, sus dimensiones aparecen aumentadas, sucediendo lo contrario si se mira uno negro sobre fondo blanco. Por ejemplo, si se mira un cuadrado blanco trazado en el interior de otro mayor negro, el interior blanco parece mayor de lo que es, y si uno negro dentro de otro mayor y blanco, el negro interior resulta como disminuído; lo que se advierte mirando á la vez las indicadas figuras, reunidas en una sola.

7.ª *La irradiación es dependiente* de diferentes circunstancias, pues varía notablemente de una persona á otra y aun respecto de un mismo individuo: aumenta con la luz del objeto y con la persistente duración de la observación, aumentando también mediante las lentes convergentes y disminuyendo con las divergentes, pero efectuándose á todas las distancias.

8.ª *Imágenes accidentales* se denominan las que percibimos con la forma y color complementario de el de los objetos, cuando se cierran los ojos ó se fija la vista repentinamente sobre una pantalla blanca después de haber estado mirando fijamente á dichos objetos un cierto tiempo.

Este hecho, en que se funda la espectrofia y la explicacion de los colores complementarios, aureolas y contrastes de los colores, se suele explicar, aunque no de un modo completamente satisfactorio, por la persistencia de la sensación luminosa, irradiaciones é insensibilidad resultante en puntos de la retina por el cansancio producido en virtud de la contínua impresión de ciertos rayos luminosos.

9.ª *Los accidentes*, enfermedades é imperfecciones que suele ofrecer el ojo humano son muchas y muy diferentes; pero los más principales, por referirse á la deformación de una parte del órgano, cual si se tratase de un aparato óptico y, por consiguiente, de cuestión propia de la Física, son la presbicia y miopía.

10. *Presbicia* es el defecto de la vista, que consiste en no percibir con claridad los objetos cercanos, sino á mayor distancia que la de la visión distinta, llamando presbitas á los individuos que la padecen, denominados vulgarmente de vista cansada.

11. *La presbicia consiste* en la disminución del espesor y curvatura del cristalino, y aun de la cornea, en virtud de las pérdidas de su materia por la edad y falta de flexibilidad para adaptarse á las menores distancias, á causa, tal vez, de la pérdida de elasticidad con su uso contínuo en ciertos trabajos y ejercicios. Se remedia con el uso de lentes convergentes.

12. *Las lentes* para los presbitas son convergentes, porque con la convergencia que imprimen á los rayos luminosos, antes de su entrada en el ojo, se compensa la que se produce de menos por éste á causa de la disminución de convexidad de su cristalino.

De esta manera se logra que con la convergencia producida sucesivamente por la lente y el cristalino en los rayos que lo atraviesan, lleguen éstos á dar sus focos sobre la retina; pues que consistiendo la presbicia en la falta de convexidad del cristalino, y por consiguiente, en la de convergencia de aquéllos, sin tal compensación dan dichos focos más allá de la expresada retina, en cuyo caso, impresionada ésta por los rayos antes de cortarse y cuando no están aún bastante compactos, resulta una visión confusa, que impide ver los objetos con claridad y distinción.

13. *Miopía* es el defecto de la vista, que consiste en no ver con claridad los objetos sino á menor distancia que la de la visión distinta, llamando miopes á los individuos que la padecen, denominados vulgarmente cortos de vista.

14. *La miopía* consiste principalmente en la demasiada convexidad del cristalino y de la córnea. Se remedia con el uso de lentes divergentes.

15. *Las lentes* para los miopes son divergentes, porque con la divergencia que comunican á los rayos luminosos antes de su entrada en el ojo, se compensa el exceso de convergencia que se produce en la marcha de aquéllos por el interior del ojo.

De esta manera se logra que con la divergencia de los rayos luminosos, producida por la lente divergente antes de la entrada en el ojo, se compense el exceso de convergencia producida al atravesar aquél, y que los focos vengan á resultar sobre la retina; pues que consistiendo la miopía en el exceso de convexidad del ojo, y por consiguiente, de la demasiada convergencia de los rayos, sin tal compensación dan dichos focos antes de alcanzar la expresada retina, en cuyo caso, impresionada ésta por los expresados rayos después de su intersección y cuando vueltos á separar resultan más ó menos difusos, producen una visión confusa, que impide ver los objetos con la debida claridad y distinción.

16. *Se da el nombre* de lentes periscópicas á las construídas con vidrios cavo-convexos, en disposición de dirigir su convexidad á los objetos, aplicando el ojo á la concavidad.

Las lentes periscópicas no son otra cosa que el menisco convergente á propósito para los presbitas, con el radio de la cara convexa menor que el de la cóncava, ó el divergente á propósito para los miopes con el radio de la convexa mayor que el de la cóncava. Cuando los radios de ambas curvaturas son iguales, resultando las caras paralelas, vienen á ser como vidrios planos y, por consiguiente, de vista natural, pues no siendo convergentes ni divergentes, no sirven para los presbitas ni para los miopes.

17. *Grados de las lentes* son los números con que se las señala y expresa las pulgadas ó centímetros de su distancia focal principal.

Para determinar el grado de la lente de un presbita ó de un miope, hay dos fórmulas sumamente sencillas, cuales son: para los primeros $n=p \times d : (d-p)$. y para los segundos $n=p \times d : (p-d)$.

En estas fórmulas, p es la distancia ordinaria ó natural de la visión distinta, que es 25 á 30 centímetros, y d aquella que corresponde al

individuo cuyo grado de la lente que necesita se quiere calcular: el valor de la distancia *d* se halla con el aparato llamado optómetro, ó por algún otro medio posible.

Determinado y sustituído el valor *d* en la fórmula, así como el de *p*, se multiplican ambos valores entre sí y se divide su producto por la diferencia de los mismos.

No se debe confundir el optómetro con el oftalmoscopio, pues éste es un aparato que se usa en cirugía para reconocer el interior del ojo.

18. *Que el defecto* de los presbitas consiste en la falta de convexidad del cristalino y de poder refringente del ojo, que hacen se pinten las imágenes más allá de la retina y hace necesario el uso de lentes convergentes, se prueba por medio del aparatito denominado, aunque algo impropiamente, ojo artificial, con el que se hace ver también que el defecto de los miopes consiste en la demasiada convexidad del cristalino, que produciendo mayor convergencia, hace se pinten las imágenes antes de llegar los rayos á la retina y se necesite hacer uso de lentes divergentes.

19. *El ojo artificial* se compone de una pequeña esfera hueca y sostenida por el correspondiente pié, la cual teniendo cortadas dos pequeñas zonas por dos planos paralelos, lleva en la circunferencia de una de dichas secciones un vidrio convergente, que representa el cristalino, y en la de la otra sección un pequeño tubo, dentro del cual hay otro que puede entrar y salir más ó menos á frotamiento y en cuya base interior lleva un vidrio deslustrado como representación de la retina. En la parte anterior, donde está el vidrio convergente, lleva fijas por medio de un eje, alrededor del cual se las puede hacer girar, un par de lentes, una convergente y otra divergente, las cuales se pueden anteponer al ojo en cada caso.

20. *Los individuos* que sufren ó padecen la presbicia son generalmente personas de bastante edad; aunque también se observa en algunas que, no siendo de edad avanzada, adquieren aquel defecto por la naturaleza de sus ocupaciones, como la de leer y escribir mucho, dibujar, grabar, coser, bordar, etc.

21. *Los individuos que sufren* ó padecen la miopía son de todas edades, porque siendo consecuencia de la imperfecta é irregular conformación del ojo, se nota desde luego á los primeros años de su edad y se perpetúa para todos los de su vida.

22. *Además de la presbicia* y miopía, aunque no tan generalmente, ofrece también el ojo, entre otros, los accidentes ó imperfecciones notables siguientes: hemiopía, diplopía, triplopía, ampliopía y la acromatopsia.

23. *Hemiopía* es una afección de la vista, que no permite ver más que la mitad de los objetos, ya se mire con los dos ojos ó con uno solo, esto es, que si se ve la mitad de la derecha con un ojo, con el otro también se ve solamente la misma mitad.

24. *Diplopía* es una afección de la vista, que hace ver los objetos duplicados, bien se miren con los dos ojos ó con uno solo.

25. *Triplopía* es una afección del ojo, que hace ver triplicados los objetos, ya se miren con los dos ojos ó con uno solo.

26. *Ampliopía* de los lectores, según la *Gaceta de los hospitales* de Guatemala, es otro defecto ó alteración de la visión en las personas dedicadas con demasía á la lectura y que consiste en variados fenómenos de perturbación en la visión, que aumenta de tiempo en tiempo hasta el caso de no poder ver los objetos pequeños.

27. *Acromatopsia* es la afección de la vista en virtud de la cual los individuos que la padecen son incapaces de apreciar y distinguir los colores, ó algunos de estos, considerándolos todos iguales. Se suele llamar también daltonismo, por haberla padecido el renombrado físico Dalton: también la padeció algún tiempo el físico Wollaston.

LECCIÓN LXXIX.

Instrumentos ópticos que deben ser conocidos por su uso general é interesante.—Portaluz, heliostato y megascopio.— Cámara oscura é indicaciones respecto de su aplicación á la fotografía.

1.ª *Los instrumentos ópticos* son tantos y tan variados, que no es fácil su completa enumeración ni aun en los tratados más extensos; pero algunos son de uso tan general é interesante que es imprescindible darlos á conocer aunque sea superficialmente: tales son el portaluz, la cámara oscura y su aplicación á la fotografía; los microscopios y anteojos y los telescopios.

2.ª *Portaluz es un aparato* que sirve para hacer entrar al

local que se quiera, un haz de rayos solares en dirección determinada, á fin de utilizar aquéllos en experimentos y aplicaciones de óptica, como la descomposición de la luz y uso del microscopio solar.

Se compone de una plancha gruesa cuadrangular de latón, con orificios en sus vértices para fijarla con los correspondientes tornillos sobre la abertura conveniente de la ventana por donde se quiera entre la luz; en su interior lleva una abertura circular, cuyo centro coincide con el del cuadrado de dicha plancha; sobre la cara que ha de quedar fuera de la ventana, lleva un espejo, que por medio de un botón situado en la cara opuesta, que ha de quedar en el interior, puede ser movido alrededor del centro de la expresada abertura, y por otro, situado en la misma del interior, se puede mover con un tornillo sin fin, que, engranando con una rueda dentada, le comunica un movimiento giratorio al rededor de su eje de suspensión: finalmente, tiene atornillado á la tuerca que existe en la abertura circular de la plancha un tubo, en cuya base inferior lleva una buena lente convergente y dentro de él otro, que puede entrar y salir á frotación, en cuya base superior gira una lámina negra con diferentes orificios, que permiten variar la forma y tamaño del que existe en el centro de dicha base superior, y por el cual han de pasar á la habitación los rayos luminosos. Se usa haciendo girar al espejo, en los sentidos que es posible, por medio de los dos botones colocados sobre la cara de la plancha situada al interior, hasta recibir los rayos luminosos con la inclinación conveniente, para que, mediante su reflexión, se dirijan al centro de la lente y, concentrados con ésta, salgan por el eje del tubo y centro del orificio que se elija de los de dicha lámina giratoria, moviendo ésta según sea necesario.

3.ª *El uso del portaluz* tiene el inconveniente de que es necesario ir variando la inclinación del espejo á causa de lo que varía la de los rayos solares en virtud del movimiento de la tierra ó el aparente del sol. Para evitar este inconveniente se ha ideado el heliostato, al que se han dado disposiciones varias por diferentes autores.

4.ª *Heliostatos* son aparatos destinados á dar por reflexión una dirección fija á los rayos del sol, no obstante el movimiento aparente del mismo.

5.ª *La cámara oscura* es un aparato reducido á un espacio cerrado á que no puede entrar la luz, sino por una pequeña abertura, donde se coloca una lente convergente; la cual, reconcen-

trando los rayos que llegan á ella de los objetos exteriores, proyecta las imágenes de éstos sobre el fondo del aparato; por cuya razón se usó siempre como instrumento auxiliar del dibujante.

6.ª *La cámara oscura* puede tener diferentes disposiciones; pero la de la primitiva se reduce á una caja de forma de prisma recto rectangular, pintada de negro interiormente, que se apoya por una de sus caras mayores; en una de sus dos menores lleva una lente convergente, que por un mecanismo á propósito se puede acercar ó alejar de la cara opuesta, y apoyada sobre ésta y con una inclinación de 45.°, lleva un espejo, que recibe los rayos trasmitidos por la lente, para reflejarlos en dirección perpendicular á la cara superior y pintar las imágenes en un vidrio deslustrado y embutido en la parte posterior de dicha cara.

7.ª *Las imágenes* van á pintarse invertidas en el fondo de la cámara oscura; pero resultan directas sobre su vidrio deslustrado, mediante la reflexión de los rayos que van á formarla sobre el espejo inclinado.

8.ª *La cámara oscura*, que, como el megascopio, sirvió de instrumento auxiliar del dibujante, se ha llegado á aplicar á la maravillosa invención de la fotografía, si bien modificando variada y convenientemente sus formas, dimensiones y disposición.

9.ª *Fotografía* es el arte de fijar por la acción de la luz, y mediante las manipulaciones necesarias, las imágenes producidas en la cámara oscura sobre placas ó papeles preparados convenientemente.

10. *La fotografía*, por razón de las superficies sobre que principalmente se ha operado y fijado las imágenes, se suele denominar fotografía en placa, fotografía en vidrio y fotografía en papel.

11. *Se llama fotografía* en placa cuando las imágenes se obtienen y fijan sobre una lámina de cobre recubierta de un finísimo baño de plata, que preparada después con ciertas sustancias, se hace sensible á la acción de la luz.

12. *Los retratos* en placa se llamaron al daguerreotipo, derivando esta denominación del apellido Daguerre, que fué quien, en Francia y después de diez años de ensayos desde 1829 á 1839, perfeccionó y dió á conocer tan admirable invento.

Este problema iniciado por Charles, en Francia, y por Wedwood y Davy, en Inglaterra, en vista de la acción de la luz sobre el cloruro de plata, descubierta por el célebre químico sueco Scheele en 1770, puede decirse fué realmente resuelta por Niepce, francés también, que con sus trabajos desde 1814 á 1829 trazó el camino y evidenció la posibilidad de llegar á la solución del problema.

Los retratos al daguerreotipo, si bien se perfeccionaron mucho (y con los trabajos hechos para lograrlo se han obtenido maravillosos progresos efectuados en fotografía) dejaban tanto que desear, que cayeron en desuso y han quedado relegados á la historia.

13. *La fotografía en vidrio* se llama así, no porque se conserven ó circulen los retratos ó vistas en láminas de aquella materia, como los al daguerreotipo en láminas de cobre plateadas, sino porque las manipulaciones que se ejecutan, empiezan por tomar una lámina de vidrio y formar adherida á una de sus caras una película muy fina, con sustancias convenientes, que se expone á la luz para obtener primero la prueba negativa, y con ella, después, la positiva sobre el papel correspondiente que, sobrepuesta á una lámina de cartulina, barnizada, satinada, etc., se entrega á la circulación.

14. *La fotografía en vidrio* puede ser al colodión y á la albúmina.

15. *La fotografía en vidrio* se llama al colodión cuando se emplea esta sustancia para formar la película que se adhiere al vidrio, la cual se hace sensible á la luz sumergiéndola en un baño de nitrato de plata, solo ó con la cantidad conveniente de ácido acético.

16. *La fotografía se llama sobre albúmina* cuando, para formar la película que se adhiere al vidrio, se emplea la clara de huevo con la correspondiente disolución de yoduro de potasio y bromuro de cadmio que se baten bien.

17. *La fotografía se llama sobre papel* cuando, en vez de lámina de cobre ó de lámina de vidrio, con la película en que se saca la prueba negativa, se usa desde luego, al mismo objeto, papel á propósito convenientemente preparado.

18. *Prueba negativa* ó clisé (en francés), tanto en la fotografía al vidrio como en la de papel, es la imagen que se obtiene al exponer en la cámara fotográfica el vidrio con la película de colo-

dión ó de albúmina, ó el papel preparado para este fin, cuya imagen presenta sus tintas en orden inverso que el objeto, esto es, claras las partes que corresponden á los puntos negros ú oscuros de aquél, y oscuras las que corresponden á su blancos ó puntos claros.

Su explicación es la siguiente: consistiendo la impresión de la imagen en la alteración, ó principio de descomposición, que por influencia de la luz se produce sobre los puntos de la capa impresionable de la placa, donde se pinta la imágen, y por el ennegrecimiento que se efectúa después en los mismos mediante las correspondientes manipulaciones y reacciones químicas; como los puntos más atacados y, por consiguiente, más oscurecidos son los en que la luz obra más, èstos serán los correspondientes á los claros del objeto de donde se refleja mayor cantidad de luz: razón por la cual, resultando más oscuros los puntos de la prueba correspondientes á los claros del objeto y, vice versa, más claros los correspondientes á los más oscuros, la imagen que se obtiene primeramente resulta con sus sombras ó claro oscuro invertido respecto de los objetos, esto es, negativa.

19. *Pruebas positivas* son los verdaderos retratos y vistas que la fotografía pone en circulación, con las imágenes enteramente semejantes á los objetos, y sus sombras ó claro-oscuro en el mismo orden que en aquéllos: se obtienen generalmente por medio de la negativa, aunque también se puedan sacar directamente con cierta inversión en las manipulaciones.

20. *Las pruebas positivas* se obtienen por medio de las negativas, haciendo uso de una caja bastidor, descubierto por una de sus dos bases mayores y cerrada la otra con una tapa dividida en dos partes que se pueden abrir y cerrar.

Al efecto se procede del modo siguiente: se coloca la negativa sobre un papel de fabricación especial, llamado positivo, y preparado convenientemente por una de sus caras, de manera que la del vidrio ó papel en que está la negativa toque á la del papel positivo. En esta actitud, se pone el todo en la caja de modo que el papel positivo insista sobre el forro de la tapa, dejando cubierto el vidrio de la negativa con otro, que sirve como de tapa superior, para que por su trasparencia permita el paso de la luz, que atravesando la negativa, llega á impresionar al papel positivo. Últimamente, asegurados la tapa y el vidrio entre los cuales queda la negativa y el papel positivo, se expone la caja á la luz por la cara cubierta con el vidrio.

En este caso, la luz que atraviesa por dicho vidrio y prueba negativa, se modifica de modo que, pasando en mayor cantidad por los claros

de aquélla procedentes de los puntos negros ú oscuros del objeto, ataca con más energía al papel positivo que la llegada en menos cantidad por las partes negras ú oscuras correspondientes á las claras de los objetos, é impresiona á aquél con mayor energía. Conseguida así la inversión en la impresión de las sombras, resultan éstas sobre el papel positivo en el mismo orden que en los objetos, por cuya razón toman el nombre de pruebas positivas.

II.

21. *Prescindiendo* del modo de operar en la práctica al daguerreotipo, por no usarse ya y pertenecer sólo á la historia, cualquiera que sea la clase de fotografía que se quiera adoptar, sus operaciones se pueden reducir á las siguientes. 1.ª Preparación del vidrio ó papel negativo.—2.ª Enfoque.—3.ª Exposición á la luz.—4.ª Revelación ó desenvolvimiento de la imagen.—5.ª Su fijación.

22. *La preparación de láminas* consiste en la serie de manipulaciones y reacciones químicas practicadas con las sustancias convenientes, para formar sobre una cara del vidrio ó papel negativo, que haya de recibir la luz, una finísima película impresionable á aquélla, en cuya disposición se encierra en una caja bastidor (chasis de los franceses) para preservarla de la acción de la luz hasta su exposición á la misma.

23. *Enfoque* es la operación que se practica antes de colocar en la máquina fotográfica el vidrio ó papel preparado para la prueba negativa. Consiste en situar aquélla frente al objeto que se haya de fotografiar, alejándola ó acercándola al mismo, así como la lente respecto del fondo de la máquina, donde se coloca un bastidor con una lámina de vidrio deslustrado, y tanteando convenientemente hasta llegar á ver dibujada en aquél la imagen de los objetos en la disposición y magnitud que se desee.

Esta operación, como la de colocar bien á las personas que se haya de retratar, se puede decir es la más importante y difícil, y por lo mismo la menos bien entendida ó ejecutada por los prácticos; pues aunque las manipulaciones químicas necesarias exigen grande esmero, sin un buen enfoque, la fotografía por bella que se consiga, carecerá de su más esencial carácter, que debe ser la exactitud geométrica.

24. *La exposición á la luz* consiste en colocar el chasis en el fondo de la cámara fotográfica, después de enfocada ésta y estan-

do cubierta su lente; levantar la tapa del chasis para dejar al descubierto la placa ó papel, y en descubrir asimismo la lente por donde se deja penetrar la luz, á fin de que, actuando sobre la película sensible á su acción, la ataque químicamente: conseguido esto en el tiempo que se deba dejar actuar la luz, se vuelve á tapar la lente y el chasis para llevarlo al laboratorio y continuar las manipulaciones restantes.

El tiempo de la exposición es tan vario como las clases de fotografías, intensidad de la luz con que se opera, calidad de las sustancias empleadas en la preparación del vidrio ó papel negativo, potencia refractiva de la lente, extensión de la imagen y clase de los objetos, por cuya razón no es posible fijarlo; bastando saber que puede variar entre un corto número de segundos y un corto número de minutos, según se trate de retratos ó de vistas. Hoy es posible fotografiar en fracciones de segundo tan pequeñas, que se puede decir es en un tiempo instantáneo, habiéndose llegado á las fotografías denominadas instantáneas, cuya circunstancia hace posible fotografiar los objetos en movimiento.

25. *Revelación ó desenvolvimiento* de la imagen es la serie de lavados y reacciones que se hace sufrir á la prueba sacada del chasis, hasta que resulten las tintas que forman la imagen en el orden invertido que constituye la negativa.

26. *La fijación de la imagen* consiste en la serie de lavados y reacciones químicas que, destruyendo la sensibilidad de las partes de la película no atacadas por la luz durante la exposición á ésta, impiden que impresionándose después, se alteren é igualen más ó menos las tintas de la imagen, pues de lo contrario ésta se destruiría ó dejaría de distinguirse bien.

Fija la imagen negativa, se conserva para sacar después el número de positivas que se quiera, operando esencialmente como se ha indicado al explicar el método de sacar éstas, con las cuales se ejecutan por último las demás operaciones industriales de pegarlas sobre cartulinas, barnizarlas y satinarlas, etc.

27. *Las operaciones de la fotografía* son más químicas que físicas, y algunas simplemeute industriales, que exigen un aprendizaje y bien cimentada práctica para llegar á la perfección.

Por esta razón no es dable exponer las tan diferentes y variadas fórmulas para la preparación de baños, ni explicar todas las modificaciones que efectúa la luz sobre las láminas sensibilizadas ni las reacciones químicas que se producen por los diferentes lavados que se practican para la revelación y fijación de las imágenes, tanto negativas como positivas.

Tampoco es posible especificar en estas lecciones todo lo relativo á las diferentes clases de fotografías denominadas al hule, al carbón, martilotípicas, ferrotípicas, microscópicas, mágicas, estereoscópicas, de paisaje, astronómicas, etc., ni el dar noticia de los muchísimos casos en que se aplica y podría utilizarse más y más la fotografía. Sin embargo, para que se comprenda el valor de sus aplicaciones y que no es la principal la de los retratos, como cree la generalidad, bastará indicar que su gran importancia consiste en el auxilio que presta y puede prestar, en sus prácticas é investigaciones, á los viajeros en sus escursiones científicas, á los geólogos, astrónomos, geógrafos y naturalistas, y lo mismo á la medicina, pintura y tipografía.

Aparte de esto, su aplicación servirá cada día más á los encargados de la administración de justicia en lo criminal y en lo contensioso, así como en otros ramos de la gobernación del Estado.

Finalmente, no se debe confundir el arte de dar colores ó iluminar las pruebas positivas, con el problema de la obtención de imágenes con los mismos colores de los objetos como resultan sobre el vidrio de enfoque de la cámara. Lo primero es cuestión de pincel que, si bien era difícil en los retratos al daguerreotipo, se ha podido llevar á la perfección en las positivas de papel y otras sustancias. Lo segundo, el problema titulado *los colores en fotografía*, aunque imposible al parecer en un principio, ensayado primero por los señores Niepce de Saint-Victor, Becquerell y B. Potevin, si bien no lograron la apetecida solución, crearon halagüeñas esperanzas, que si no están realizadas completamente, hoy se puede considerar resuelto el problema; siendo de esperar que en tiempo tal vez muy próximo, simplificados y perfeccionados los métodos, se consiga el apetecido resultado y logre su generalización en toda clase de fotografías. La razón de esto es que ya en 1869, M. Ch. Cros y M. Ducos du Haurón dieron á conocer procedimientos de su respectiva invención, con la diferencia de que el primero solamente indicó la teoría, cuando el segundo no sólo hizo lo mismo, sino que la demostró con los resultados prácticos por él conseguidos, aunque necesitando muchas complicadas y dispendiosas operaciones, pues el procedimiento, á que se ha dado el nombre de *heliocromía*, se hizo consistir no en obtener el resultado en una sola prueba, sino sacando separadamente, mediante sus correspondientes negativas, tres pruebas positivas, una azul, otra roja y otra amarilla, y por la conveniente é ingeniosa superposición de las tres y las necesarias manipulaciones, una positiva con los colores de los objetos fotografiados.

Según lo indicado, el problema está resuelto y sólo falta el que, perfeccionados y simplificados tantos pormenores, dificultades y dispendios, se pueda facilitar y generalizar el modo de operar, reduciendo el tiempo y el gasto á límites convenientes.

LECCIÓN LXXX.

I. Conocimiento de los microscopios en general y su clasificación.—Microscopio simple.—Microscopio compuesto y microscopio solar.—Anteojos en general y su clasificación.—Anteojo astronómico, anteojo terrestre y anteojo de Galileo.—II. Telescopios en general é indicación de los de Gregori, Newton y Herchel.—Indicación de algunos otros aparatos ópticos, como linternas mágicas, fantasmagorías, aparato de proyección, cosmoramas y dioramas.

I.

1.ª *Microscopios* son los aparatos de óptica que sirven para producir las imágenes de los objetos con el aumento conveniente, á fin de poder ver aquellos que por su extremada pequeñez se hacen imperceptibles, ó para hacer distinguir los últimos pormenores de las más pequeñas partes de los cuerpos. Pueden ser simples y compuestos.

2.ª *Microscopios simples* son los que constan esencialmente de una lente convergente de corto foco, esto es, de corta distancia focal principal y que, montada de la manera más conveniente, se coloca entre el ojo y el objeto, de modo que éste quede entre ella y su foco principal.

Aunque todo microscopio simple es una sola lente, una sola de éstas no siempre será verdadero microscopio si su distancia focal es grande.

Los microscopios simples se reducen siempre, en lo esencial, á una sola lente; pues aunque les acompañe algún espejo y estén montados con accesorios más ó menos complicados, no se altera la clase del aparato, porque todo ello no tiene otro objeto sino el de iluminar mejor los cuerpos, facilitar su colocación y sostén, así como el de la lente.

La explicación del aumento de los microscopios simples es la dada (LXXIV—39) para las imágenes virtuales de las lentes convergentes; siendo tantos los que de aquéllos existen y con tan variadas formas, que no es dado ni aun enumerarlos.

3.ª *Microscopios compuestos* son los que constan de más de una lente. Tienen por lo menos las dos esenciales, llamadas objetiva y ocular, montadas en un mismo tubo á una distancia invariable y coincidiendo sus ejes. Ambas son convergentes, de foco corto la primera y mayor distancia focal ó menos convergente la segunda; sirviendo ésta para ver amplificada, invertida y mayor que el objeto, la imagen real ó aérea producida por aquélla.

4.ª *Lente ocular*, tanto en los microscopios como en los ante-

ojos, es á la que se aplica ó aproxima el ojo del observador, y *objetiva* la que se dirige ó aproxima al objeto que se quiere examinar.

5.ª *El aumento* del microscopio compuesto se efectúa del modo siguiente: colocado el objeto muy próximo al foco de la objetiva, pero nunca á menor distancia de ésta que su focal principal, á cuyo fin es necesario acercarla mucho al objeto por ser aquélla de corto foco, se forma á su parte opuesta, entre ella y la ocular, la imagen correspondiente real ó aérea, invertida y mayor que el objeto, según se explicó (LXXIV—37); de esta manera, montada la ocular á una distancia de la objetiva, tal que la imagen dada por ésta se forme más próxima á aquélla que su foco, resultará que haciendo de objeto para la ocular, dará (LXXIV—39) una imagen virtual directa y amplificada; por cuya razón, al mirar por la ocular se ve aproximada á ella la imagen del objeto invertido y mucho mayor que éste.

6.ª *Los microscopios compuestos* pueden llevar, además de la ocular y la objetiva, alguna otra lente intermedia, así como prismas refringentes, espejos y lentes para iluminar los objetos y cambiar la dirección de la luz, con otros accesorios que los hacen más y más perfectos, complicados y costosos, según los usos para que se construyen.

7.ª *El microscopio solar* se puede considerar como el microscopio simple más complicado, si se atiende á que la amplificación de las imágenes que produce se efectúa por medio de una lente de corto foco; pues el espejo y demás lentes no son sino accesorios para dirigir y concentrar los rayos solares á fin de iluminar fuertemente el objeto trasparente que se quiere observar; mas si se atiende al efecto de proyectar las imágenes amplificadas sobre un plano ó pantalla, entonces se puede considerar que no es más que un aparato óptico de proyección como la linterna mágica.

8.ª *El microscopio solar* consta de un portaluz, que en la base superior de su tubo lleva una especie de pequeña prensa, llamada porta objetos, la cual sirve para aplicar éstos á un orificio, cuyo centro corresponde con el eje de la lente colocada en la base opuesta: en el interior de dicho tubo hay otra lente muy convergente, que por medio de una cremallera se puede aproximar más ó me-

nos al porta objetos y, por consiguiente, al colocado en él para su examen: en el montante en que se halla el porta objetos se apoya una varilla, perpendicular al plano de aquél, con una cremallera, por cuyo medio se puede aproximar convenientemente al objeto la lente objetiva, que termina el aparato.

Se usa montando su portaluz como para la descomposición de ésta, colocando en su sitio el vidrio que lleva el objeto, moviendo el espejo y aproximando la lente movible en el interior del tubo según convenga; acercando asimismo al objeto la objetiva, cual corresponda, y recibiendo por último sobre una pantalla blanca la imagen real producida por aquélla.

El microscopio solar tiene el inconveniente de no poderse usar sino en habitaciones, días y horas en que sea dable utilizar los rayos directos del sol, aparte de la poca fijeza de los rayos luminosos, si en vez de un portaluz no le acompaña un heliostato.

Los inconvenientes del microscopio solar se evitan reemplazando la luz del sol por la eléctrica ó por la de Drumon. En el primer caso el microscopio solar se denomina foto-eléctrico y en el segundo de gas ó foto-génico.

El microscopio foto-eléctrico se reduce á fijar el microscopio solar á una de las caras de una caja prismática, en cuyo interior va el aparato productor de la luz eléctrica, mediante la comunicación oportuna con la correspondiente pila.

El foto-génico consiste en producir la llamada luz de Drumón en el interior de la caja, mediante la combustión del hidrógeno con el oxígeno en contacto con un cilindro de carbonato de cal: dichos gases preparados y obtenidos en depósitos separados, se conducen de fuera á dentro por dos mangas ó tubos hasta el mechero en que se inflaman.

El problema de iluminar convenientemente el microscopio solar, lo mismo que los aparatos de proyección, sin tantas dificultades y riesgos como ofrece la luz de Drumón y aun la eléctrica y cuantas se han ensayado, ha hecho se trabaje con empeño para hallar medios de facilitar y perfeccionar los sistemas ideados; y aunque mucho se ha conseguido, no es todo lo apetecible, pues se debe advertir que, aunque parezca problema sencillo, ofrece muchas dificultades, por cuya razón no es posible mayor indicación.

El uso del microscopio es de tanto interés en las ciencias y en las artes que no es fácil hacerlo comprender á la generalidad, pues siendo necesario un difícil aprendizaje de su manejo y la consiguiente educación del ojo, no á todos es fácil su uso; de donde resulta que hasta personas científicas dudan de la posibilidad y verdad de los resultados maravillosos que con él se obtienen. Sin embargo, aunque en algunos

casos pueda haber algo de exageración ó de error, esto no es razón bastante para tal duda.

9.ª *Microscopios estereoscópicos ó bioculares*, cuya invención es debida á Mr. Nachet, que tantas mejoras ha ideado en los microscopios, son los formados por una sola objetiva y dos tubos paralelos con sus respectivos oculares, en disposición de aplicar á la vez en ellos los dos ojos y ver simultáneamente la imagen del objeto en relieve, como en los estereoscopios: también ha inventado otros para que puedan mirar por ellos dos ó más observadores á la vez y ver el mismo objeto.

10. *Anteojos* son instrumentos ópticos que sirven para observar los objetos más ó menos distantes y lo mismo los astros, y ver aproximadas sus imágenes.

11. *Los anteojos*, aunque los hay de muy variadas formas, disposiciones y usos, se pueden reducir á tres clases, que son: el astronómico, el terrestre y el de Galileo.

12. *El astronómico ó de Kepler* es el destinado á observar los astros.

13. *El anteojo astronómico* consta en lo esencial de dos lentes convergentes, una objetiva y otra ocular, montadas en dos tubos, de los cuales uno puede entrar y salir á frotamiento en el otro.

La objetiva es acromática, de bastante abertura, poco convergente y, en su consecuencia, de larga distancia focal, y la ocular es de menor abertura, muy convergente y por lo mismo de muy corto foco.

14. *El anteojo astronómico* presenta al observador las imágenes de los objetos invertidas, pero esta circunstancia no ofrece inconveniente tratándose de la observación de los astros, atendida la forma de éstos, sino que por el contrario, evitando el empleo de mayor número de vidrios, se consume por los que lleva menos luz que en el terrestre, y resulta una visión mucho más clara.

15. *El anteojo astronómico* nos presenta invertidas las imágenes por iguales razones que el microscopio compuesto, pues, por su disposición casi igual á la de éste se producen los hechos de un modo semejante.

16. *El anteojo terrestre* ó de Rehite es el que, como su nom-

bre indica, sirve para ver aproximados los objetos de la superficie de la tierra con claridad y distinción.

17. *El anteojo terrestre* se diferencia del astronómico en que, además de la objetiva y de la ocular, lleva otras dos lentes intermedias, también convergentes, separadas entre sí por una distancia invariable y doble de la focal, y en que las imágenes que produce resultan directas.

18. *Los anteojos terrestres* producen las imágenes aproximadas y directas, porque así como con el juego de las dos lentes, en el astronómico, resultan invertidas, con el de las dos interiores en aquél se efectúa otra inversión que deshace la primera.

19. *Las oculares de los anteojos*, tanto astronómico como terrestre y del microscopio compuesto, lo mismo que las lentes objetivas, no se deben considerar reducidas á un solo vidrio, pues están formadas, generalmente, de dos ó más reunidos unos á otros, como se forman las objetivas acromáticas, ó montadas en un pequeño tubo á una distancia constante, con lo que se corrije la aberración de refrangibilidad y esfericidad resultantes cuando aquellas lentes son vidrios sencillos.

20. *El anteojo de Galileo*, llamado también de espectáculo, es el más sencillo y menos voluminoso de todos los anteojos, y sirve para ver aproximados, con claridad y distinción, los objetos separados de nosotros por distancias no muy considerables.

Consta de una objetiva convergente, más ó menos grande y de foco largo, y de una ocular divergente, la cual, montada en un tubo de menor diámetro que el en que lo está la primera, se puede acercar á ésta más ó menos, haciendo entrar ó salir ludiendo uno en otro.

Presenta la imagen de los objetos aproximadas, directas y en su mismo tamaño.

21. *El anteojo de Galileo* se usa en los teatros y espectáculos públicos para poder ver los objetos que los constituyen, ó que concurren á ellos, como si estuviesen cerca, con la misma distinción y claridad y aún mejor que estando á su inmediación.

Los gemelos de teatro son dos anteojos de Galileo apareados, con un mecanismo en medio de ambos para hacer salir y entrar los tubos en que van los oculares, y dar á éstos la debida distancia respecto de las

correspondientes objetivas, con cuya disposición se hace más cómodo y perfecto su uso, tanto más, reducidos á las pequeñas dimensiones que hoy se les da, y los hacen tan manejables.

Aunque no tan reducidos, se construyen también hoy con una ingeniosa modificación, que permite, moviendo un eje por medio de un botón, cambiar de oculares según se quieren usar en los espectáculos, en el campo, como anteojo de larga vista, ó en la marina para alcanzar mayores distancias.

II.

22. *Telescopios* son aparatos catadióptricos que, además del anteojo astronómico, se emplean para observar los astros.

Sus partes esenciales son: un espejo cóncavo donde se reciben los rayos del astro y un ocular para ver su imagen, cuyas partes montadas en un tuvo metálico, de la conveniente magnitud y disposición, forman un todo que se sostiene por un sustentáculo, de más ó menos coste y complicación, para poder hacerles girar convenientemente en todos sentidos.

De los telescopios ideados los principales son los siguientes: El de Gregory, el de Newton y el de Herschel.

23. *El telescopio de Gregory*, inventado hacia el 1650, consta de un espejo metálico cóncavo, que, colocado en una de las dos bases del correspondiente tubo, cierra á éste por aquel extremo, quedando abierto por el otro para dar entrada á los rayos luminosos del astro: de otro espejo metálico cóncavo, de menor radio de curvatura que el primero, y de abertura algo mayor que el diámetro de un orificio que aquél lleva en su vértice y da entrada á un pequeño tubo en que va montada una lente: el espejo pequeño presenta su concavidad frente á la del mayor, coincidiendo los ejes de ambos con el del tubo, y se halla montado de modo que se puede mover, alejándolo ó separándolo del primero por medio de una cremallera, sobre cuya varilla se apoya perpendicularmente otra que lo sostiene.

24. *La marcha de la luz* en el telescopio de Gregory es la siguiente: los rayos del astro á que se dirige el aparato, que se pueden considerar paralelos, penetran por el extremo abierto del tubo y caen sobre el espejo de su fondo, de donde, reflejándose, retroceden convergentes para ir á formar en su foco real principal la imagen real del astro, menor é invertida: mas aproximado el segundo espejo á ésta imagen, á menor distancia que su focal

principal, de modo que dicha imagen resulte situada entre su centro de curvatura y su foco principal, recibe los rayos de ella como de un nuevo objeto, y reflejándolos produce una segunda imagen real, mayor que la primera, invertida respecto de ésta (LXXI—37) y, por consiguiente, directa respecto del astro, la que se hace resulte entre la lente y su foco principal: finalmente, esta imagen situada entre la lente ocular y su foco se observa mirando por el ocular, semejantemente que con el microscopio simple, esto es, resultando una imagen virtual de la misma, directa y amplificada.

El de Newton sólo se diferencia del de Gregory en que el espejo se dispone con cierta inclinación al eje, por cuyo medio su imagen se mira por una ocular colocada en el lado del tubo.

El del Herschel tiene el espejo colocado en el fondo de su tubo, inclinado respecto del eje de éste y en disposición de dar su imagen de modo que se pueda mirar inmediatamente con la ocular situada á un lado de la base abierta, por donde entra la luz sin interceptarle su paso.

25. *Los telescopios*, inventados para reemplazar á los anteojos á fin de evitar los defectos de aberracion de refrangibilidad y esfericidad de sus lentes, ofrecían la desventaja de necesitar en vez de los de vidrio azogado, espejos metálicos, que los hacían pesados y costosos.

26. *Se necesitaban espejos metálicos* en los telescopios, porque reflejando los de vidrio los rayos luminosos no sólo en el azogado de su cara inferior, sino también en la superior, refractandose además la luz al atravesar el vidrio, resultaba pérdida de aquélla y hasta imágenes secundarias, que hacían imperfecta la formación y visión de la principal.

Por esta razón, perfeccionados admirablemente los anteojos, se usaron casi de preferencia en vez de los telescopios; pero, mejorados á su vez éstos, por haber logrado poder emplear en vez de los espejos metálicos los de vidrio plateado, sin los inconvenientes que producían los azogados, vuelven á usarse con generalidad.

27. *Los espejos de metal* se reemplazan con los de vidrio en los telescopios por la posibilidad obtenida de platear convenientemente la cara superior, quedando como un verdadero espejo metálico.

28. *La linterna mágica*, inventada en 1680 por el P. Kirker,

es un aparato de física recreativa, que sirve para producir en una habitación oscura, sobre el plano de una pared ó pantalla blanca, las imágenes amplificadas de pequeños objetos pintados con tintas ó colores sobre láminas de vidrio.

Consta de una caja prismática, con una lámpara en su interior, cuya luz ocupa el foco principal de un espejo cóncavo colocado en una de las caras de la caja: el espejo refleja paralelamente al eje toda la luz que recibe, y la manda sobre una lente convergente colocada en el correspondiente orificio de la cara opuesta á la del reflector; cuya lente reconcentra la columna de luz que la atraviesa, é ilumina fuertemente las vistas que se hacen pasar, mediante la separación y aberturas laterales convenientes, por entre la expresada lente y otra también convergente que hay delante de ella, montada en un tubo donde se puede mover para enfocar, y que produce la imagen de los objetos pintados en el vidrio ó vista, en posición invertida respecto de aquéllos: razón por la cual, para que resulten en la misma, se coloca la lámina en sentido inverso del en que tiene pintados los objetos.

La linterna mágica, en su forma y construcción primitiva, se puede considerar como un aparato juguete de física recreativa, pero perfeccionada después ha llegado á constituir el aparato de proyección por excelencia, denominado simplemente *aparato de proyección*. Éste es hoy uno de los de mayor importancia por el gran auxilio que presta á las ciencias, cuyas explicaciones y demostraciones se hacen, por medio de él, perceptibles á la vez á todos los oyentes, no sólo en las lecciones de las clases experimentales de Física, Química, Ciencias médicas y natules, Astronomía, Geografía, Historia y otras, sino que también en las brillantes conferencias que se suelen dar en otras naciones.

29. *Fantasmagoría* es el arte de producir, por ilusión óptica, fantasmas ó imágenes de objetos sorprendentes mediante el fantascopio: éste se denomina más generalmente fantasmagoría, tomando el efecto por el instrumento productor.

El fantascopio ó fantasmagoría, es una linterna mágica, montada sobre un carretón ó mesita con ruedas forradas de cuerpos blandos para que, girando sin ruido, se pueda alejar ó acercar de una manera imperceptible á una gran pantalla ó lienzo trasparente, interpuesto entre los espectadores y el local donde se opera con el aparato y sus variados accesorios, luz eléctrica, etc. con que se presentan los variados espectáculos de polioramas, cuadros disolventes y cuadros cromátropos.

El espectáculo de los cuadros disolventes no se debe confundir con el más moderno y no menos sorprendente de los espectros vivos, cuya descripcion y detalles, lo mismo que la de los primeros y de cuanto hace referencia á tantos aparatos de óptica recreativa, no es posible en estas lecciones.

30. *Cosmoramas* son cajas ó departamentos dispuestos en cualquier local para ver en su completa perspectiva, por medio de lentes convergentes, los cuadros pintados é iluminados convenientemente que se colocan en su fondo á la debida distancia de aquéllas.

31. *Dioramas son*, cosmoramas y polioramas cuyos cuadros están pintados con tal artificio, que, variando insensiblemente su iluminación, presentan el doble efecto de verse, primero como de día ó alumbrados por la luz del sol, y despues como de noche ó alumbrados por la de la luna ó por luces artificiales.

32. *Panoramas* son especie de cosmoramas dispuestos para mirar cuadros ó pinturas situados circularmente, de modo que su punto de vista coincida con el centro de la lente; pero sus detalles y distinciones, así como los de tantos otros aparatos ópticos y aplicaciones, cual la de los faros, lentes en escalones que en ellos se usan, etc. no pueden tener cabida en lecciones tan elementales.

LECCIÓN LXXXI.

Doble refracción.—Cristales birrefringentes.—Modo de dar á conocer la doble refracción con el espato de Islandia.—Imágenes ordinaria y extraordinaria, y rayos ordinario y extraordinario.—Cristales en que se observa la doble refracción.—Ejes ópticos y sección principal en los cristales birrefringentes.—Cristales birrefringentes atractivos y repulsivos, hoy positivos y negativos.—Cristales birrefringentes de dos ejes y grupos cristalinos á que pertenecen.—Línea media y complementaria de los cristales birrefringentes de dos ejes.—Posibilidad de convertir en cuerpos birrefringentes los sólidos trasparentes.

1.ª *Se da el nombre* dedoble refracción á la propiedad que poseen los haces luminosos de dividirse cada uno en dos, al atravesar algunas sustancias cristalinas, y producir dos imágenes de cada objeto.

De éstas una se llama ordinaria y la otra extraordinaria, así como los dos rayos en que se dividen los incidentes al refractarse se llama ordinario el uno y extraordinario el otro.

La doble refracción fué descubierta en 1869 por Erasmo Bartholin, médico dinamarqués de Copenhague, al examinar unos cristales de espato de Islandia, que de este punto le llevaron unos amigos. Estudiada 20 años después por Huyhgens, éste formuló sus leyes y dió su teoría.

2.ª *Cristales birrefringentes* son las sustancias cristalizadas que producen la doble refracción, como el espato de Islandia y otras.

3.ª *La doble refracción* se puede dar á conocer con el espato de Islandia por dos métodos diferentes: El primero consiste en mirar, al través de un romboedro de espato de Islandia, una raya ó línea negra trazada sobre un papel blanco; pues se ve que, excepto en cierta disposición especial del cristal, en todas las demás resulta duplicada la raya, esto es, que se perciben dos imágenes de la misma. El segundo se reduce á hacer pasar á un aposento oscuro, por medio del portaluz, un haz luminoso, y que atraviese un romboedro de espato de Islandia; pues recibido tras de éste sobre una pantalla blanca, en vez de una imagen se pintan dos, en cuyo caso si se hace girar el cristal al rededor del eje del haz luminoso, se observa que de las dos imágenes una permanece fija, mientras la otra se aproxima ó acerca á la primera.

4.ª *Se llama imagen ordinaria* á la que permanece fija al girar el cristal de espato de Islandia, que, por su intercepción al paso de un haz luminoso, produce dos imágenes en la pantalla blanca que se coloca tras de aquél, é imagen extraordinaria la que en el mismo experimento no permanece fija, sino que gira alrededor de la ordinaria á medida que lo ejecuta el cristal de espato: la imagen ordinaria es la producida por el rayo ordinario y la extraordinaria por el extraordinario; denominándose rayo ordinario el que sigue las leyes de la refracción sencilla y extraordinario el que sigue otras diferentes.

5.ª *La doble refracción* se observa con las sustancias cristalizadas de todos los tipos cristalinos, menos con los correspondientes al tipo cúbico.

Los cuerpos amorfos tampoco producen la doble refracción naturalmente, pero es posible lograr se hagan birrefringentes por medios artificiales.

6.ª *Se da el nombre de eje óptico* ó de doble refracción, aunque impropiamente, á la dirección del cristal birrefringente por

donde pueden pasar los rayos luminosos sin dividirse y sin dar más de una imagen.

Esta dirección no es una línea fija como los ejes cristalinos, los cuales son líneas respecto de las que se hallan colocadas simétricamente las caras de los cristales.

7.ª *Las sustancias cristalinas* birrefringentes pueden tener uno ó dos ejes ópticos, por cuya razón se dice que los cristales birrefringentes pueden ser de uno ó de dos ejes. Los primeros son aquellos en que no se observa doble refracción en una dirección determinada ni por sus paralelas. En los cristales birrefringentes de un solo eje óptico, éste coincide con el de cristalización según M. Brewester. Los cristales de un eje pertenecen ó al sistema romboédrico ó al prismático recto de base cuadrada.

8.ª *El eje óptico* del espato de Islandia viene á ser su eje principal cristalino y todas las líneas que en aquél se pueden considerar paralelas á dicho eje.

El eje principal cristalino del espato de Islandia viene á ser la diagonal que en el romboedro une los vértices de los ángulos triedros opuestos y obtusos, formados por tres ángulos planos de igual clase.

9.ª *El eje óptico* en cualquier cristal de un eje se puede hallar observando las direcciones por donde no se percibe más que una sola imagen, pues aquella respecto de la cual resultan simétricas las demás será el eje del cristal.

10. *Sección principal*, en los cristales birrefringentes de un eje, es todo plano que pasa por su eje principal cristalino perpendicularmente á una de las caras del cristal, ya sea natural ó artificial, como se puede conseguir por el tallado.

11. *La sección principal* de un cristal birrefringente no es un plano fijo, sino que puede tomar distintas posiciones, girando alrededor del eje y determinando así el sentido en que no es posible observar la doble refracción.

Si se corta un romboedro de espato de Islandia por un plano perpendicular al eje, tendremos que, mirando normalmente á la seccion resultante, nunca se percibirá más que una imagen y no habrá doble refracción; pues que los rayos recibidos por el ojo llegan normales á dicha sección y, por consiguiente, paralelos al eje cristalino, esto es, en la dirección del eje óptico. Por esta razón, cortando los ángulos triedros

obtusos de un romboedro de espato de Islandia, con planos perpendiculares á su eje cristalino principal, resultan caras triangulares paralelas tales, que, colocando el cristal sobre la una y mirando por la otra, no resulta duplicación de imágenes.

12. *El rayo extraordinario* no sigue leyes fijas como el ordinario, sino en casos determinados.

13. *Los casos en que el rayo extraordinario* sigue las leyes fijas son dos solamente: 1.° Cuando la luz incidente está en una sección perpendicular al eje óptico. 2.° Cuando la luz incidente está en la sección principal del cristal ó sea en cualquier dirección paralela á dicho eje.

En el caso de pasar la luz según una sección perpendicular al eje óptico, el rayo extraordinario sigue las leyes de Descartes ó de la refracción sencilla (LXXII—11). Cuando la luz incidente se halla en la sección principal del cristal, ó paralela al eje, el rayo extraordinario sigue tambien la segunda ley de Descartes, mas no la primera; pues resulta que los índices de refracción del rayo ordinario y extraordinario se hallan en razón inversa de las tangentes trigométricas de sus ángulos de refracción, siguiendo la hipótesis de Newton.

14. *Los cristales birrefringentes* se suelen dividir en atractivos y repulsivos.

Esta división se hizo considerando la refracción, en la hipótesis de la emisión, como efecto de una atracción ó repulsión de los cuerpos sobre los rayos luminosos, y que el ser, según las sustancias, mayor ó menor el índice de refracción del rayo extraordinario que el del ordinario, por ser el ángulo de refracción del primero menor ó mayor que el del segundo, consistía en que unos cuerpos atraían más al rayo extraordinario que al ordinario; apareciendo así en este último caso como una atracción y en el caso inverso como una repulsión.

15. *Los cristales birrefringentes* denominados atractivos son aquellos con los que el índice de refracción del rayo extraordinario resulta mayor que el ordinario, á causa de que el ángulo de refracción del primero es menor que el del segundo, y, por consiguiente, comparando la marcha de uno y otro con la normal al punto de incidencia, parece como atraído respecto de ella el rayo extraordinario.

16. *Los denominados repulsivos* son aquellos con los que el índice del rayo extraordinario resulta menor que el del ordinario, á causa de ser el ángulo de refracción del primero mayor que el

del segundo, y, por cuya razón, comparando la marcha de uno y otro con la normal al punto de incidencia, parece como rechazado respecto de ella el rayo extraordinario.

17. *Los cristales birrefringentes* se suelen denominar positivos y negativos, cuya denominación fué adoptada por Fresnel, en el supuesto de que en la hipótesis de Descartes la refracción se considera como efecto de los cambios de velocidad de los rayos luminosos al pasar de unos medios á otros; de que el rayo extraordinario en unas sustancias proviene de ser su velocidad, al atravesar el cristal, mayor que la del rayo ordinario y en otras de ser menor, y, por consiguiente, de resultar positiva en el primer caso y negativa en el segundo.

18. *Los cristales birrefringentes*, llamados positivos, son los denominados antes atractivos, y los negativos los denominados antes repulsivos.

19. *Cristales birrefringentes* de á dos ejes son aquellos en que hay dos direcciones por donde no se observa más que una sola imagen y, por consiguiente, no se produce doble refracción.

20. *Los cristales birrefringentes* de á dos ejes ópticos no pueden pertenecer al sistema cúbico, que sólo produce la refracción sencilla, ni al romboédrico, ni al prismático recto de base cuadrada, en que son de un solo eje, y sí á cualquiera de los tres restantes de los seis grupos cristalinos. Muchos son los cristales birrefringentes que hoy se conocen tanto de uno como de dos ejes ópticos, pero se ignora que los haya de tres.

21. *Los cristales de dos ejes ópticos* no presentan rayo ordinario, sino dos extraordinarios, y por lo mismo no se observa con ellos imagen ordinaria, sino dos que son extraordinarias.

22. *Los rayos extraordinarios* en los cristales de dos ejes ópticos siguen leyes más complicadas que el extraordinario en los cristales de uno solo, pero de aquéllos uno sigue las leyes de Descartes en dos casos determinados. 1.° Cuando la luz incidente atraviesa el cristal perpendicularmente á su línea media. 2.° Cuando lo ejecuta del mismo modo con relacion á su línea complementaria.

23. *Línea media de un cristal* birrefringente de dos ejes ópticos es la bisectriz de los ángulos agudos que forman dichos ejes, y

línea complementaria la bisectriz de los ángulos obtusos que forman los mismos ejes.

24. Se pueden convertir en cristales birrefringentes los cuerpos sólidos trasparentes, que no tienen aquella propiedad, ejecutando sobre ellos alguna acción, como el templado ó la presión, que varíe desigualmente ó en diferentes sentidos su primitivo arreglo molecular.

25. Esta trasformación no es posible en los líquidos ni en los gases, pues que gozando de la propiedad denominada principio de igualdad de presión, no es fácil modificar desigualmente y en diferente sentido su arreglo molecular.

La doble refracción de la luz con la polarización, interferencias luminosas, anillos coloreados y difracción, y sus fenómenos, desconocidos antiguamente, forman hoy, aparte de lo expuesto hasta llegar á esta lección *Óptica geométrica* (LXVIII—4.ª), un conjunto que constituye la nueva parte *Óptica física* (LXVIII—4.ª) en que se explica perfectamente y con toda generalidad todo lo relativo á los fenómenos de reflexión, refracción y dispersión de los rayos luminosos. Este estudio, aunque admirable y muy importante, es casi imposible en estas lecciones, tanto por su índole y extensión como por el grado de instrucción de los alumnos á que se dedican, por cuya razón sólo será oportuno indicar las nociones más indispensables para completar el cuadro general de la Fotología.

LECCIÓN LXXXII.

Polarización de la luz.—Polarización por reflexión, por refracción y cromática.—Máximos y mínimos de luz polarizada por reflexión.—Polarización por doble refracción.—Pilas polarizantes.—Polariscopios.—Interferencias luminosas.—Difracción.—Radiofonía y fotofonía.

1.ª *Polarización de la luz* es la modificación que experimentan los rayos luminosos ordinarios, en virtud de la cual, reflejados ó refractados una vez con ciertas condiciones por una lámina no metálica, adquieren nuevas propiedades, como la de no poder ser reflejados de nuevo completamente por otra segunda, la de no dar dos imágenes al atravesar en ciertas posiciones los cristales birrefringentes, y otras. Puede ser por reflexión y por refracción, por doble refracción, circular ó rotatoria y cromática.

Fué descubierta por Mallus en 1810, y aunque su nombre se adoptó en consonancia con la hipótesis de la emisión, considerando que las moléculas luminosas, dotadas de dos especies de polos como en los ima-

nes al girar y colocarse aquéllos en ciertas posiciones relativas, producían el fenómeno, hoy, si bien éste conserva la misma denominación, no se toma en aquel concepto.

2.ª *Se denomina polarización por reflexión* cuando la luz natural incidente sobre una superficie pulimentada y no metálica, llegando á ésta con cierta inclinación y reflejada una vez por ella, pierde la propiedad de poderse reflejar por completo de nuevo sobre otra placa y la de dar dos imágenes al atravesar cristales birrefringentes en posiciones determinadas.

3.ª *Se denomina polarización por refracción* cuando una parte de la luz natural, que cae con cierta inclinación sobre una primera lámina pulimentada y trasparente, refractada por la misma, pierde la propiedad de poder ser reflejada de nuevo por otra segunda, y la de dar dos imágenes al atravesar los cristales birrefringentes en posiciones determinadas.

4.ª *Polarización rotatoria* es el desvío que se observa en el plano de polarización de los rayos de luz polarizada, en su emergencia al atravesar ciertas sustancias diáfanas, respecto del plano de polarización primitivo antes de su tránsito por aquélla; llamando sustancias destrógiras á las que producen dicho desvío á la derecha y levógiras á las que lo efectúan á la izquierda.

El conocimiento de la polarización rotatoria descubierta por Arago en 1811, si bien pudo parecer, como tantos otros fenómenos de poca importancia y mirarse como cosa curiosa, estudiadas sus leyes por Biot, resultaron de gran valor como un auxiliar del análisis químico y fundamento de la *sacarimetría* y uso del *sacarímetro de Soleil*, aparato destinado al análisis de las sustancias sacaríferas.

5.ª *Se suele dar el nombre de polarización cromática* al conjunto de los variados efectos de coloración que produce la luz polarizada al atravesar láminas de cuerpos trasparentes, con especialidad sustancias cristalinas en ciertas condiciones.

6.ª La polarización por reflexión sobre el vidrio se verifica cuando la luz que cae sobre sus caras, forma un ángulo de incidencia de 54° y 35' con la normal al punto donde aquélla se efectúa.

Cuando se dice que aquel ángulo es de 35° y 25' es porque no se considera formado con la normal al punto de incidencia, sino con la cara de la placa ó lámina donde cae la luz.

7.ª *La polarización* no se produce por todas las sustancias bajo igual ángulo de incidencia, sino que hay uno diferente para cada una de ellas, por cuya razón hay tablas que contienen los ángulos de polarización de los diferentes cuerpos, como las formadas con los pesos específicos, índices de refracción, etc. denominándose ángulo de polarización de una sustancia el que debe formar la luz natural, incidente sobre una placa de la misma, con la normal al punto de incidencia para que el rayo en su reflexión resulte polarizado lo más completamente posible.

El del vidrio es de 54° y 35', el del agua es 52° y 45', el del cuarzo 57° y 32', etc. Si el ángulo no se considera formado con la normal, sino con la cara de la lámina, entonces son sus complementarios como 35° y 25', 37° y 15', 32° y 28', etc.

8.ª *Plano de polarización* por reflexión es el de reflexión en que se polariza la luz, el cual coincide con el del ángulo de incidencia y, por consiguiente, contiene al ángulo de polarización.

9.ª *La polarización por reflexión* puede llegar á ser completa como sucede en ciertos casos, pero no siempre, porque puede variar entre ciertos límites, ó sea entre un máximum y un mínimum.

Se dice máximum de polarización por reflexión cuando es tal la modificación de la luz sobre una primera lámina, que la reflexión sobre otra segunda se hace nula; y mínimum cuando resulta mayor la cantidad de luz reflejada sobre la antedicha segunda lámina.

El máximum de polarización por reflexión sobre el vidrio se verifica cuando los rayos incidentes sobre una primera lámina, formando el ángulo de 54° y 35' con la normal y reflejados bajo otro igual, caen sobre otra con igual inclinación, y de tal suerte que el ángulo de incidencia sobre ésta es perpendicular al de reflexión sobre la primera. El mínimum se efectúa en iguales condiciones que el máximum, pero con la diferencia de haber de ser paralelos ó coincidir en uno solo el ángulo de incidencia sobre la segunda lámina y el de reflexión sobre la primera.

10. *La polarización por refracción*, aunque nunca es completa, varía también entre un máximum y un mínimun.

Máximum de polarización por refracción es el caso en que resulta la menor cantidad de luz reflejada, en una segunda lámina, después de la incidencia y refracción en la primera, y mínimum cuando resulta la mayor cantidad de luz reflejada, en la segunda lámina, después de la incidencia y refracción sobre la primera. El máximum de polarización

por refracción en el vidrio se produce cuando el plano de la refracción en la primera lámina es paralelo al de incidencia sobre la segunda, y el mínimum cuando el plano de refracción en la primera lámina es perpendicular al de incidencia sobre la segunda.

11. *Cuando la luz polarizada* por reflexión en una primera lámina de vidrio pasa perpendicularmente por un romboedro de espato de Islandia, desaparece la duplicación de la imagen en ciertas posiciones y sólo se percibe una, que es la ordinaria en cierto caso, y la extraordinaria en otro.

Los rayos polarizados por reflexión en una lámina de vidrio al atravesar perpendicularmente un romboedro de espato de Islandia, dan la imagen ordinaria sola cuando la sección principal del romboedro es paralela al plano de reflexión sobre la lámina de vidrio, y la extraordinaria cuando, por el contrario, son perpendiculares dicha sección y el expresado plano.

12. *Los rayos polarizados por refracción*, si atraviesan un romboedro de espato de Islandia, tampoco producen más que una imagen en dos casos determinados, dando en el uno la imagen ordinaria y la extraordinaria en el otro. La ordinaria cuando la sección principal del romboedro y el plano de refracción son perpendiculares, y la extraordinaria en el caso de ser paralelos dicha sección y el expresado plano.

13. *Pilas polarizantes* son conjuntos de láminas paralelas de un mismo cuerpo cristalino y trasparente, que sobrepuestas unas á otras, forman un todo á propósito para obtener la mayor cantidad de luz polarizada por refracción.

El efecto de las pilas polarizantes es el siguiente: de la luz que penetra en la primera lámina y se refracta, parte pasa polarizada, y la restante natural y sin polarizar; la polarizada, no pudiendo reflejarse en la segunda lámina, la atraviesa y lo mismo á las restantes, pero de la natural una parte se refleja, sin poder pasar ya más adelante, y la otra se refracta, polarizándose, como en la primera lámina, una parte y quedando otra natural; de modo que reproduciéndose los mismos hechos con la luz trasmitida por la segunda lámina, al llegar á la tercera, semejantemente á lo sucedido en la segunda con la trasmitida por la primera y así sucesivamente, se llega á una lámina en que, resultando polarizada ya toda la luz, no se puede reflejar cantidad ninguna de ella al atravesar las restantes y sigue adelante sin pérdida alguna.

El efecto de las pilas polarizantes explica el por qué los cuerpos diáfanos no pueden llegar nunca á ser opacos completamente, por grande

que sea su espesor, y lo mismo el que siempre llegue al fondo de los rios y mares alguna luz, por grande que sea la profundidad, considerando los cuerpos diáfanos como formados por un conjunto de capas paralelas.

14. *Se da el nombre de polariscopios*, ó de analizadores, á los aparatos que sirven para estudiar y reconocer la luz polarizada y sus efectos, y aunque los más completos son el de Malus, perfeccionado por Biot, y el de Norremberg, no siendo fácil ocuparse de ellos, se puede citar como ejemplo de los más sencillos el de pinzas de turmalina, que consta de dos laminitas de aquella sustancia, cortadas paralelamente al eje y montadas en unos discos circulares de latón ennegrecidos como las monturas de las lentes en los oculares de los anteojos: estos discos á su vez se sostienen por dos anillos en que terminan unas pinzas de alambre, dentro de los cuales pueden girar aquéllos según conviene.

15. *El polariscopio de pinzas con turmalina* sirve para interponer entre sus láminas otras sustancias cristalinas montadas en discos de corcho, y mirar al través como con una lente. Por este medio se observan fenómenos notables de anillos coloreados, ó sin colorear, en disposiciones diferentes según dos posiciones de una de las turmalinas, que pasa de una á otra haciéndole dar un cuarto de revolución, ó lo que es igual, según están con sus ejes de doble refracción paralelos ó perpendiculares; pues como sustancias cortadas paralelamente al eje, cada cual de ellas se puede considerar que contiene su eje de doble refracción. Con este aparato es fácil reconocer si una sustancia cristalina es birrefringente, y si tiene uno ó dos ejes.

16. *Se da el nombre* de interferencias luminosas al fenómeno que resulta por la acción mutua de los rayos luminosos homogéneos, esto es, de igual color, que partiendo de un mismo punto, ó de puntos muy próximos de un mismo cuerpo luminoso, y recorriendo caminos desiguales, casi en una misma dirección, se cortan formando ángulos muy agudos.

Constituye este fenómeno el aumento de intensidad ó la extinción completa de la luz en los puntos de intersección de los rayos luminosos cuando se hallan en ciertos estados al cortarse, resultando que luz añadida á luz aumenta su intensidad ó da mayor luz en unos casos, y que luz añadida á luz produce en otros oscuridad.

17. *El principio de las interferencias luminosas* se enuncia diciendo: que si dos rayos de luz homogénea, procedentes de un punto luminoso ó de puntos muy próximos, se cortan formando un ángulo bien agudo después de haber andado caminos desiguales, semejantemente á lo que sucede con las ondulaciones sonoras (XLV—32), se refuerzan ó dan mayor luz si dichos caminos se diferencian en un número par de semiondulaciones etéreas, ó se destruyen y producen la oscuridad cuando dicha diferencia es de un número impar de aquéllas.

Este principio se puede demostrar experimentalmente, haciendo entrar en una habitación oscura, por dos orificios circulares practicados en su ventana, y no muy distantes entre sí, dos haces de luz que, si se reciben sobre una pantalla blanca, colocada más allá del punto de concurso de los conos luminosos introducidos, darán dos círculos perfectamente iluminados; mas colocando la pantalla en posición conveniente, de modo que los círculos se sobrepongan, resulta la parte común, ó en que se sobreponen, sembrada de fajas ó rayas alternadas, oscuras unas y brillantes otras.

Este experimento se hace fácil y perfectamente con los espejos de Fresnel fáciles de observar y describir.

18. *El centelleo de las estrellas* se puede explicar por interferencias entre los rayos que, saliendo de puntos próximos de sus bordes, sufren en su largo trayecto, antes llegar á nosotros, retrasos ó aceleraciones de números pares ó impares de semiondulaciones y causan refuerzos y extinciones de luz, cuyas alternativas producen el fenómeno.

19. *Los anillos de Newton* y algunos otros fenómenos semejantes, como las irisaciones de las burbujas de jabón, de las alas de muchos insectos y de las superficies de los metales oxidados, así como el denominado de las redes ó enrejados (reseaux de los franceses), se explican igualmente por la teoría de las interferencias luminosas y de la difracción.

20. *Difracción es la modificación* que esperimentan los rayos lumínicos, tanto al pasar rasando por los bordes de los cuerpos opacos de poco espesor ó anchura, como al atravesar pequeñas ó estrechas aberturas, en cuya virtud las sombras resultantes, en el primer caso, tras los cuerpos opacos, no aparecen perfectas ni lo es tampoco la iluminación producida por la abertura en el segundo: pues, en el primero, dentro de las sombras resultan franjas ó rayas de luz, y en el segundo franjas ó rayas oscuras.

21. *La difracción se puede estudiar* con aparatos apropiados, como el denominado banco para la difracción; mas para formar idea del fenómeno basta hacer en una tarjeta, con la punta de un cortaplumas, una hendidura muy delgada y mirar, al través de ésta, al sol ó á la llama de una bujía, pues se verá en el espacio comprendido entre dichos bordes una serie de franjas ó rayas alternativamente claras y oscuras.

22. *La difracción se explica* suponiendo que los rayos luminosos, al tocar en los bordes de las pantallas ó de los orificios, sufren desviaciones y dispersiones, que produciendo en ellos retrasos ó aceleraciones hasta volver á encontrarse, los hacen interferirse, según el principio de las interferencias luminosas, y dar las expresadas rayas claras ó coloreadas y oscuras.

Además de los nuevos conocimientos ópticos indicados en esta lección, desconocidos de los antiguos, entre las variadas invenciones y aplicaciones del reciente período de unos cuantos años, se ha llegado al descubrimiento *del sonido por la luz* y á la invención del *fotófono*, aparato semejante al teléfono, correspondiente á las aplicaciones eléctricas; y aunque al terminar la Fotología no sea posible complementarla con el nuevo estudio del *radiómetro* y radiaciones caloríficas y luminosas, ó sea la *fotofonía* ó *radiofonía*, no sólo por la falta de tiempo, sino que también por ser cuestiones no completamente estudiadas y definidas, sin embargo, conviene indicar dicha invención, que es otro hecho de los que confirman la hipótesis de las ondulaciones luminosas.

El principio de la fotofonía en que se funda el fotófono, según el célebre físico americano Alejandro Graham Bell, principal inventor del teléfono, se puede enunciar así: *Siempre que un rayo de luz solar (ó eléctrica) se haga intermitente haciéndole pasar por unos orificios abiertos en un disco que gire con gran rapidez, si este rayo va á parar sobre una plancha muy delgada de una sustancia cualquiera, se produce un sonido que se percibe aplicando el oido á esta plancha, ya sea directamente, ó mejor por el intermedio de un tubo de cautchut ó una trompetilla acústica; pues el número de vibraciones de este sonido en un segundo de tiempo, es igual al de intermitencias del rayo luminoso en el mismo período.*

Este principio, utilizado ingeniosamente, es el fundamento de un nuevo aparato telefónico que se le denomina *fotófono*, más admirable que el teléfono, cuya aplicación de uno y otro en su lugar correspondiente, y que en realidad son ya aplicaciones industriales, se podrá indicar verbalmente con más facilidad según el criterio de cada profesor.

MAGNETISMO Ó MAGNETOLOGÍA.

LECCIÓN LXXXIII.

I. Concepto del magnetismo.—Imanes y su clasificación.—Sustancias magnéticas.—Péndulo magnético.—Propiedades de los imanes y modo con que se ejerce la acción magnética.—Polos de los imanes, línea neutra y eje de los mismos.—Polos de un mismo nombre.—Id. de nombre contrario.—II. Hipótesis del magnetismo.—Explicación de la imantación de los imanes y cuerpos magnéticos.—Fuerza coercitiva.—Igualdad y contrariedad de los dos polos de un imán.

I.

1.ª *Magnetismo* es la voz con que se designa la causa productora de los fenómenos que se observan en los imanes ó que los mismos pueden producir.

2.ª *La voz magnetismo* se usa también, ya para significar las propiedades de los imanes, ya para designar la parte de la Física, estudio de los mismos y de sus acciones recíprocas, que se suele denominar *Magnetología*.

3.ª *Imanes* son los cuerpos que poseen la propiedad de atraer al hierro puro, *hierro dulce*, y más facilmente á sus limaduras: se dividen en naturales y artificiales.

4.ª *Imanes naturales* son los trozos del mineral llamado vulgarmente piedra imán y por su composición química óxido de hierro magnético y óxido ferroso férrico; cuya fórmula F e^3 O^4 se puede considerar más explícitamente F *e* O, F e^2 O^3.

El imán se suele denominar también piedra de hierro, piedra de Lydia, piedra de Heraclia, piedra por excelencia, según Aristóteles, y piedra de Hércules como sinónimo de piedra Heraclia.

5.ª *Imanes artificiales* son trozos de acero templado de variadas formas, que aun cuando no poseen el magnetismo naturalmente, lo adquieren por medios artificiales denominados métodos de imantación.

6.ª *Los imanes artificiales* toman los nombres de barras mag-

néticas, imanes en herradura, manojos magnéticos y agujas imantadas, según su forma y construcción.

7.ª *Se llaman imanes en barra* ó barras magnéticas los imanes artificiales que tienen la forma cilíndrica ó de paralelipípedo recto rectangular, y en herradura los que, siendo artificiales, tienen próximamente la forma de dicho objeto.

8.ª *Llámanse manojos ó haces magneticos* los imanes artificiales formados por un número más ó menos considerable de alambres, barras ó herraduras magnéticas, unidas paralelamente por sus polos de igual nombre.

9.ª *Agujas magnéticas* ó imantadas son los imanes artificiales construídos con láminas delgadas de forma de rombos, de cuyas diagonales una es de longitud mucho mayor que la otra y que se hallan dispuestos para girar libremente cuando se los suspende ó apoya por su centro de figura.

La forma de rombo se suele sustituir algunas veces por la rectangular, en cuyo caso la suspensión es de corte y no de plano.

10. *Se ha convenido* en llamar cuerpos magnéticos á los que, como el hierro, atraen ó son atraídos por los imanes, entre los que se citan principalmente, además del hierro y acero, el níkel, cobalto, cromo y el manganeso á la temperatura de—20°.

11. *El principal de los cuerpos magnéticos* es el hierro dulce, que si bien adquiere el magnetismo fácil é instantáneamente, del mismo modo lo pierde; sucediendo lo contrario en el acero, que no adquiere fácilmente el magnetismo, pero lo conserva permanentemente despues de verificada su imantación.

12. *Péndulo magnético* es un pequeño aparato compuesto de una esferita de hierro dulce, suspendida de un apoyo por medio de un hilo; sirve para reconocer la acción de los imanes y algunas de sus propiedades y circunstancias especiales.

13. *Las principales propiedades* que se reconocen con el péndulo magnético son: sus atracciones por los imanes, la existencia en éstos de sus polos y la línea neutra, y otras.

14. *El magnetismo* no es inherente á la materia de los cuerpos, no es proporcional á su masa, ni reside aisladamente en sus polos, sino distribuído sobre todas sus moléculas. Lo primero se prueba calentando fuertemente una aguja ó barrita imantada,

pues pierde su magnetismo; lo segundo resulta demostrado al ver que unos con menor masa que otros suelen tener mayor potencia magnética, y lo tercero dividiendo un imán artificial, á propósito, en dos partes por su línea media, cada una de ellas en otras dos y así sucesivamente, pues se observa que todas las partes resultan imanes como el primero, con sus dos polos y línea neutra; lo que no sucedería si estuviese en cada polo, pues en tal caso á la primera división resultaría cada parte con su polo único y aislado.

El hierro deja de ser magnético á la temperatura del rojo cereza, su fundición á la del rojo blanco, el níkel á los 350° y el manganeso sólo es magnético á temperaturas bajo 0, hacia los —20°.

15. *La acción magnética* de los polos de los imanes sobre otro imán, el hierro y el acero no sólo se ejerce á distancias más ó menos considerables, sino que también á través del vacío y de los cuerpos de cualquier estado, siempre que no sean de los llamados magnéticos. Lo primero se prueba tocando con uno de los polos de un imán el extremo de una barra de hierro, pues se ve que ésta se convierte en imán. Lo segundo presentando un imán ú objeto de hierro á diferentes distancias respecto de otro imán ó aguja magnética, que, colocado en un punto dado, pueda girar libremente, pues se verá que la acción magnética alcanza á dichas distancias. Para probar lo tercero basta colocar un péndulo magnético ó una aguja imantada, bajo la campana de la máquina neumática y extraer el aire, pues aproximando el polo de un imán, el péndulo ó aguja con sus movimientos dará señal de la acción ejercida. Finalmente, para probar que la acción magnética se ejerce á través de los cuerpos no magnéticos, además de poderse ejecutar con el aparato correspondiente, basta colocar entre el imán y el péndulo ó aguja uno de dichos cuerpos, como láminas de vidrio, madera, cartón, etc., pues se ve que aquella acción no se interrumpe; lo que explica la formación de las líneas de fuerza y el espectro magnético.

16. *Polos de los imanes* son los extremos de los mismo en donde se halla como acumulada la mayor intensidad de la acción magnética, y línea neutra es la sección ó parte intermedia del imán donde la intensidad ó fuerza magnética aparece nula; denominando eje magnético de una aguja á la recta que determinan

sus polos á los que se designa con los nombres de polo Norte el uno y polo Sur el otro.

17. *Se observa* que aun cuando los dos polos de un imán atraen siempre é igualmente al péndulo magnético, no por esto su acción sobre otros imanes es idéntica en ambos; pues si se presentan á un mismo polo de un primer imán los de un segundo, el uno lo atrae y el otro lo rechaza, por cuya razón se estableció la denominación de polos de un mismo nombre y de nombre contrario.

18. *Polos de un mismo nombre* en dos ó más imanes, son los que se portan igualmente respecto de uno determinado de los de otro imán móvil; así los polos que atraen ó rechazan al determinado del imán móvil son del mismo nombre, y de nombre contrario los que se portan de un modo inverso respecto de uno determinado de otro imán móvil; de modo que cuando uno atrae y otro rechaza al mismo polo del dicho imán serán de nombre contrario.

19. *Se observa* respecto de las atracciones y repulsiones de los imanes la ley que se enuncia diciendo: *polos del mismo nombre se rechazan y los de nombre contrario se atraen.* Esto se prueba experimentalmente señalando los polos de los imanes por comparación con un tercero, que debe ser móvil; pues presentando á cada polo de éste uno de los del otro, se ve confirmada dicha ley.

II.

20. *En vista* de la contrariedad de acción en los polos de un mismo imán, se consideró el magnetismo como un fluido compuesto de dos secundarios que en un mismo imán se hallaban en igual cantidad con acción contraria en cada polo y se estableció la hipótesis de los dos fluidos para la explicación de los imanes y fenómenos magnéticos, atribuida á Coulomb.

No obstante que el magnetismo era conocido ya en tiempo de Thales, 400 años antes de la era cristiana, como los antiguos sólo conocían la atracción del hierro por el imán, no pudieron emitir sino supuestos confusos y sin fundamento sobre la causa de este fenómeno; y aunque se tiene noticia del uso de la brújula por los marinos occidentales del siglo XI ó XII y de su perfeccionamiento á principios del siglo XIV por Flavio Gioja, sin embargo, hasta la nueva era de la Física en que se adoptó el método experimental, no se llegaron á formular verdaderas hipótesis, de las que subsistió la de los dos fluidos como más á propósito para la explicación de los fenómenos magnéticos. Por esto se si-

gue todavía en la generalidad de los textos, no obstante que hoy se explica el magnetismo por las teorías eléctricas como se verá en su lugar correspondiente, y que su estudio se incluye ya, en algunas obras de Física, en el de la electricidad, formando un solo tratado. Según esto, aunque se siga usando de las expresiones fluido boreal y austral, no se ha de entender que existen tales fluídos y sí dos fuerzas ó corrientes de direcciones opuestas.

Además, el hecho de perder los imanes su magnetismo, y el no ser magnéticas ciertas sustancias sino á temperaturas determinadas, así como los efectos ópticos de los imanes de gran potencia descubiertos por Faraday en 1845, son circunstancias que hacen ver, no solamente que el magnetismo y la electricidad son dependientes de una misma causa ó faz de la energía, como lo son bajo otra el calórico y el lumínico, sino que conducen á corroborar la idea de que los cuatro agentes, que se denominaron imponderados, están ligados á una causa común, aunque bajo diferentes aspectos y, por consiguiente, á confirmar la hipótesis de la unidad de la fuerza.

21. *Por la hipótesis de los dos fluidos* para la explicación de las propiedades de los imanes y fenómenos magnéticos, que si no esencial es como su expresión gráfica, se admitió: que el magnetismo es un fluido compuesto de otros dos simples, dotados de propiedades diferentes ó contrarias, repeliéndose los elementos de cada uno y atrayéndose mútuamente los de ambos, y tales que cuando se hallan en equilibrio no producen efecto, como sucede con los cuerpos magnéticos, pero que por el contrario se hace perceptible y constante su acción cuando se hallan separados ó sacados de su equilibrio en virtud de cierta descomposición, como se admite que está sucediendo en los imanes.

22. *Por la hipótesis de los dos fluidos* se explica la existencia de los polos y de la línea neutra, sin dejar de estar á la vez ambos fluidos en todo el imán, del modo siguiente: cuando un cuerpo como el acero ó el hierro dulce es influenciado por la acción de un polo de un imán, ó por otra fuerza á propósito, sus dos fluidos supuestos en equilibrio en cada molécula, obedeciendo á las acciones contrarias que reciben del polo ó fuerza actuante, atractivas sobre el uno y repulsivas sobre el otro, rompen el equilibrio, venciendo su mutua atracción por una especie de repulsión originada en virtud de aquellas acciones contrarias ejercidas sobre ellos, y libres las de uno y otro fluido, que vienen á obrar como

fuerzas en sentido opuesto, se producen resultantes que, aplicadas hacia los extremos y en opuestos sentidos, engendran los dos polos con su contraria acción. La línea neutra se puede considerar entonces como el conjunto de puntos intermedios á los polos y en que los fluidos permanecen en equilibrio, por resultar compensadas y destruídas las acciones que sobre ellos producen el polo ó fuerza influyente con las contrarias que á la vez sufren de las resultantes ó fuerzas libres que originan los polos.

La imantación del hierro dulce y demás cuerpos magnéticos se verifica de la misma manera que la indicada para explicar, en general y en la hipótesis de los dos fluidos, el orígen de los polos y línea neutra sin dejar de estar ambos en todo el cuerpo. La única diferencia que hay entre la imantación de los cuerpos magnéticos y la de los que se llaman imanes consiste, en que la de aquéllos se verifica instantáneamente, pero de un modo transitorio, pues desaparece tan luego como cesa la acción del polo ó fuerza influyente, y en la de los imanes ofrece cierta dificultad la descomposición de los fluidos, si bien, en cambio, una vez conseguida aquella descomposición ó separación, resulta igual dificultad para la recomposición de los mismos fluidos y la imantación es permanente.

23. *Se da el nombre de fuerza coercitiva* á la resistencia que, por su naturaleza, opone una sustancia á la separación ó descomposición de sus dos fluidos magnéticos cuando se hallan equilibrados ó en estado neutro, y también á la que impide la recomposición cuando se hallan separados: fuerza que se puede considerar nula en el hierro dulce, muy considerable en el acero templado y tanto mayor cuanto lo sea su temperatura.

24. *Aunque según la hipótesis* de los dos fluidos, éstos se consideran al redador de cada molécula, ya reunidos y equilibrados, como en las sustancias magnéticas, ó ya separados y libres como en los imanes, por la manera de obrar los mismos se puede considerar como existente y aislada en cada polo la potencia magnética de cada uno de los dos fluidos, y que en un mismo imán existe una cantidad igual de cada uno de los mismos y con acción contraria.

25. *Que en un mismo imán* sus polo poseen dos fuerza magnéticas iguales y opuestas, se demuestra con el experimento siguiente, que se puede denominar paradoja magnética: tómense

dos imanes iguales, suspéndase por un polo de uno de ellos un péndulo magnético ó cualquier cuerpo de hierro dulce de poco peso, y preséntese en seguida á dicho polo el de nombre contrario del otro imán, pues en este caso se verá que al aproximarse lo bastante ó ponerse ambos en contacto, el hierro se desprende y cae, lo que no sucedería si no hubiese contrariedad, como no sucede cuando se reunen polos de igual nombre; ni tampoco aunque hubiese contrariedad, si no existiese á la vez igualdad, pues si el polo que se aproxima, aunque de nombre contrario, no es igual, no se desprende el cuerpo suspendido.

LECCION LXXXIV.

Magnetismo terrestre y su acción directriz.—Meridiano magnético.—Declinación é inclinación de las agujas imantadas.—Brújulas y su clasificación.=Medida de la declinación de las agujas imantadas y sus nombres.—Líneas sin declinación, líneas isogónicas y líneas isodinámicas.—Medida de la inclinación de las agujas magnéticas y sus nombres.—Ecuador magnético de la tierra.—Líneas isoclínicas.—Aplicaciones de las brújulas, error que puede resultar al usarlas y modo de evitarlo.

1.ª *Se considera que la tierra* posee una acción ó fuerza magnética como la de los imanes, por el hecho particular y constante que se observa cuando se suspende uno de aquéllos en disposición de girar libremente y se abandona á sí mismo; pues se le ve oscilar y que no queda nunca en equilibrio hasta no tomar su eje de imantación una dirección más ó menos próxima á la norte-sur que conserva después, y á la cual se restituye cuantas veces se le saca de ella.

2.ª *Se concibió que la tierra* se puede considerar como un grande imán con sus polos magnéticos hacia los terrestres ó geográficos, comparando la dirección de las agujas imantadas bajo la influencia de la tierra, con las que adquieren por la de los polos de los imanes en cualquier dirección que éstos se presenten á ellas.

3.ª *Se dió el nombre* de fluido norte ó boreal á uno de los dos fluidos magnéticos supuestos en los imanes, y el de austral ó sur al otro, por la semejanza observada de la acción magnética del globo con la de un grande imán; pues considerándole sus polos ó

centros de acción hacia los geográficos, y admitida la hipótesis de los dos fluidos, suponiendo, aunque impropiamente, que el uno residía en el polo norte y el otro en el polo sur, se convino en asignar á cada cual el nombre del respectivo polo de la tierra, esto es, el de fluido norte ó boreal para indicar el existente en su polo norte, y el de sur ó austral para el del polo de la misma denominación. De aquí el haber adoptado los mismos nombres para la designación de los polos de cada imán, habiendo asignado el de polo norte al que se dirige al polo norte de la tierra, y el de sur al que lo efectúa hacia el polo sur de la misma.

4.ª *Se suele dar, á la vez,* á un mismo polo de cualquier imán las dos denominaciones de polo norte ó austral al que se dirige hacia el norte, y de polo sur ó boreal al que lo efectúa hacia el sur, porque convenidos, por una parte, en llamar polo norte de un imán al que en su posición de equilibrio se dirige hacia aquel punto cardinal, y polo sur al que lo efectúa al de esta denominación, y sabido, por otra, que fluidos de igual nombre se repelen y que de nombre contrario se atraen, la dirección del extremo de la aguja hacia cada polo de la tierra debe ser á consecuencia de la atracción del fluido contrario; por lo que llamandose fluido boreal el existente en el polo norte de la tierra, el del polo del imán dirigido hacia aquel punto debe ser contrario, esto es, austral: de donde aplicando también esta denominación al polo en que aparece el fluido de nombre contrario, resulta que al polo norte de la aguja, que por dirigirse al norte de la tierra se debe llamar norte por el fluido que le pertenece, le corresponde igualmente denominarse austral. Por consideraciones semejantes se designa al otro polo denominándolo sur ó boreal.

Por esta razón es necesario fijar en cuál de los dos sentidos se ha de tomar la indicación de las letras N y S, con que van señalados los polos de las barras magnéticas, pues en unas suele ser su significado inverso que en otras, esto es, que la misma letra N puede indicar en unas el polo que se dirige al norte y en otras el que se dirige al sur, según se haya puesto para indicar que el extremo que la lleva es el que se dirige al norte, ó para significar que lleva el fluido boreal.

5.ª *La acción ó potencia magnética* del globo no se puede considerar como fuerza atractiva ni repulsiva, sino solamente como directriz, no pudiéndose representar por una sola fuerza ó resultante, sino por un par.

6.ª *Se dice que la acción magnética del globo* es directriz, porque no comunica á la aguja movimiento de traslación por repulsión ni por atracción, sino que la obliga solamente á girar sobre un punto de apoyo ó suspensión, para quedar dirigida de Norte á Sur próximamente. Se puede considerar como un par de fuerzas que origina dicho giro, en atención á que por razones semejantes á las que existen para suponer paralelas todas las acciones de la gravedad sobre puntos poco distantes, se puede admitir que también lo son las atracciones y repulsiones magnéticas de cada polo de la tierra sobre los dos de la aguja imantada, así como sus respectivas resultantes, si bien en sentido opuesto; lo que dará dos fuerzas paralelas, obrando en sentido contrario, que debiendo ser iguales por la pequeñísima diferencia entre la distancia desde el polo de la tierra que se considere á los dos diferentes de una aguja, vienen á constituir un primer par de fuerzas. De esta manera, produciendo cada polo de la tierra un par sobre los de la aguja, resultarán sobre ésta dos que, compuestos, producirán también un par final.

7.ª *Se prueba experimentalmente* que la acción magnética del globo sobre las agujas imantadas es directriz, porque colocando una de aquéllas, con su pie, sobre un corcho, si se desvía de su posición de equilibrio sin mover aquél, se ve que la aguja gira, pero no avanza ni retrocede, como podría efectuarlo por la flotación del corcho, si hubiera una fuerza atractiva ó repulsiva solamente.

8.ª *Meridiano magnético* de un punto de la superficie terrestre es el plano vertical que pasa por aquél y por el eje de imantación de una aguja imantada, cuando colocada ésta sobre dicho punto queda en completa quietud.

9.ª *Declinación* de la aguja imantada situada en un punto de la superficie terrestre, ó sea *declinación magnética* de una localidad, es la falta de coincidencia del meridiano magnético correspondiente á aquél con el meridiano astronómico del mismo, cuando situada aquélla sobre dicho punto queda en completa quietud.

10. *La declinación magnética* se mide por el ángulo que forma el meridiano magnético con el astronómico, ó sea el ángulo que

forma el eje de imantación de la aguja con la meridiana, cuando aquélla queda en completa quietud.

11. *Inclinación de una aguja imantada* situada en un punto de la superficie terrestre, ó sea *inclinación magnética de una localidad*, es la falta de coincidencia del eje de imantación de aquélla con la línea ó plano horizontal que pasa por su punto ó eje de suspensión.

12. *La inclinación magnética* se mide por el ángulo que forma el eje de la aguja con la línea ó plano horizontal que pasa por su punto ó eje de suspensión, cuando el plano vertical en que gira coincide con el meridiano magnético.

Fuera de este caso, aquel ángulo aumenta hasta llegar á valer 90° cuando dicho plano vertical resulta perpendicular al meridiano magnético; pues entonces, descomponiéndose la acción magnética terrestre en dos, una horizontal y la otra vertical, la primera actuando en la dirección del eje de suspensión se destruye y la segunda hace tomar á la aguja la posición vertical.

13. *Se da el nombre de brújulas,* en general, á los aparatos formados esencialmente por una aguja imantada, colocada en disposición de girar libre y paralelamente á un plano, que lleva la graduación circular para indicar las variaciones de aquélla. Por razón de su uso, forma y disposición pueden ser de muy variadas clases y tomar diferentes nombres; pero, reducidas á su objeto esencial, se dividen en dos clases, que son: brújulas de declinación y brújulas de inclinación.

14. *Brújulas de declinación* son las destinadas á determinar ésta, y, por consiguiente, se hallan dispuestas de modo que su aguja gira en plano horizontal; y de inclinación las destinadas á determinar ésta, y, por consiguiente, se hallan dispuestas de modo qee su aguja gira en plano vertical.

15. *La medida de la declinación magnética* se ejecuta con las brújulas de su nombre, del modo siguiente: se nivela y coloca el aparato de manera que el diámetro del círculo graduado, cuyos extremos corresponden uno con el cero y otro con el número 180° de la graduación, el cual suele estar señalado con las letras N y S, coincida con la meridiana, determinada de antemano, dirigiendo el extremo 0.°, ó señalado con la N, hacia el norte y es-

perando á que la aguja deje de oscilar y quede en equilibrio.

En este caso se toma el número de la graduación con quien coincide el polo norte de la aguja, y este número de grados será la medida de la declinación

Si se opera en el hemisferio Sur, en tal caso se procede semejantemente, y la declinación resulta señalada por el polo sur de la aguja.

16. *La declinación* puede ser de dos modos: este ú oriental y oeste ú occidental. Este ú oriental cuando el polo de la aguja que determina la declinación se dirige al este ú oriente, y oeste ú occidental cuando el polo de la aguja que la determina se dirige al oeste ú occidente. En Europa y Africa es occidental. La que resulta en Asia y América es oriental.

17. *Se da el nombre* de líneas sin declinación á las formadas por los puntos del globo donde la declinación es nula y en que, por consiguiente, coincide la dirección ó eje de la aguja con la meridiana, esto es, en que el meridiano magnético se confunde con el geográfico.

18. *Se da el nombre* de líneas isogónicas á las que pueden concebirse por los diferentes puntos del globo en que la declinación resulta igual, esto es, de igual número de grados y de igual nombre.

19. *Líneas isodinámicas* son las determinadas por los puntos de la superficie del globo en que la intensidad magnética es igual.

20. *La medida de inclinación* magnética se ejecuta con las brújulas de su nombre del modo siguiente: se nivela y coloca el aparato de manera que el plano vertical coincida con el meridiano magnético, para lo cual se debe saber la verdadera declinación; que el diámetro cuyos extremos corresponden con el cero y y 180° de la graduación resulte horizontal, y esperando á que la aguja quede en perfecto equilibrio.

En este caso se toma el número de la graduación con quien coincide el polo norte de la aguja, y este número será la declinación.

Si se operase en el hemisferio sur, en tal caso se procedería semejantemente, y la inclinación resultante sería la señalada por el polo sur de la aguja.

21. *La inclinación* puede ser también de dos modos, denominándose norte ó boreal en un caso, y sur ó austral en el otro: es

norte ó boreal cuando el polo de este nombre de la aguja se inclina hacia el suelo, quedando inferior al diámetro horizontal del círculo vertical graduado del aparato, y sur ó austral cuando el polo de este nombre de la aguja es el que se dirige hacia el suelo, quedando inferior al diámetro horizontal del círculo vertical graduado del aparato.

22. *Línea aclínica* ó ecuador magnético es la formada por los puntos de la superficie terrestre en los que la inclinación es nula, esto es, que la aguja de inclinación resulta horizontal.

Según los estudios de Mr. Duperey, el ecuador magnético corta al terrestre en dos puntos casi diametralmente opuestos, el uno en el Gran Océano y el otro en el Atlántico, los que se hallan animados de un movimiento de traslación de Oriente á Occidente.

23. *Se da el nombre* de líneas isoclínicas á la serie de puntos en que se observa igual inclinación.

24. *La aguja de declinación*, además de su uso para las observaciones magnéticas en cada localidad, tiene otros, cuales son: para el levantamiento de planos y orientación de los mismos, y para el tan notable de la navegación, en cuyo caso va dispuesta formando el aparato denominado brújula de mar ó compás marino. Finalmente, las agujas, barras y láminas magnéticas se aplican en variedad de juguetes y experimentos de Física recreativa con que tanto sorprenden al público los juglares ó jugadores de manos. También se ha tratado de aplicar el magnetismo á la terapéutica.

25. *Las agujas de las brújulas* pueden tener el defecto de que su eje magnético no coincida con la diagonal mayor ó eje de figura y que, por consiguiente, sus indicaciones den mayor ó menor valor que el de la verdadera declinación ó inclinación.

26. *Para evitar los errores* que los resultados de las observaciones pudieran producir por la imperfección de la imantación de la aguja de la brújula, se ha ideado una manera de operar, denominada método de inversión, por cuyo medio los resultados que se obtienen son siempre los verdaderos, aunque la imantación de la aguja tenga el defecto de que su eje magnético no coincida con el de figura.

El método de inversión consiste en usar brújulas, cuyas agujas ten-

gan la disposición conveniente al efecto, operando del modo siguiente: se anota el resultado que se se obtiene en una primera observación y en seguida se desmonta la aguja de su pie, se invierte y coloca otra vez sobre aquél por la cara opuesta á aquella por donde se apoyó para la primera observación; se hace otra segunda, anotando el nuevo número que indique la aguja, y con éste y el de la primera observación se tienen los datos con que se halla exactamente el verdadero resultado.

Para obtener éste se suman los resultados de las dos observaciones que se practican, y la suma se dividepor dos, esto es, que el resultado verdadero es igual á la semisuma delos valores obtenidos en las dos observaciones.

En efecto, llamando a al ángulo que el eje magnético de la aguja forma con el de su figura y x al del verdadero resultado, éste será igual al que señale la aguja, más ó menos el de los ejes, como es fácil hacerlo ver con la sencilla figura correspondiente; por lo que, si se representa por r el número que de la primera observación, y por r' el de la segunda, tendremos que $x = r \pm a$, $x = r' \mp a$, y sumando ordenadamente que $x + x = r \pm a + r' \mp a$; de donde hecha la reducción resulta $2x = r + r'$ y de aquí $x = \frac{r + r'}{2}$.

LECCIÓN LXXXV.

I. Variaciones y perturbaciones de las agujas magnéticas.— Oscilaciones de las mismas y sus diferentes clases.—Perturbaciones.—II. Indicaciones acerca de la medida de las intensidades magnéticas.—Acción recíproca entre los imanes y los demás cuerpos.—Diamagnetismo.—Acción de los cuerpos en reposo sobre los imanes en movimiento y, viceversa, la de los cuerpos en movimiento sobre los imanes en repaso.

I.

1.ª *Variaciones de las agujas imantadas* son los cambios que aquéllas experimentan en sus posiciones de equilibrio, á consecuencia de los que pueden ocurrir en la potencia magnética del globo y por algunas otras causas.

2.ª *Oscilaciones de las agujas imantadas* en las brújulas, son los movimientos de vaivén que ejecutan al rededor de sus posiciones de equilibrio en un punto dado: pueden ser regulares é irregulares. Las primeras se dividen en seculares, anuales y diurnas, y las segundas se las suele denominar también accidentales ó perturbaciones.

3.ª *Oscilaciones seculares* de la aguja imantada son las que se producen tan lentamente que se necesitan siglos para observarlas y llegar á conocerlas.

4.ª *Ejemplo de las observaciones seculares* son las observadas con la brújula de declinación en París y Londres, en el hemisferio norte, y en el Cabo de Buena Esperanza en el austral, desde 1576 hasta hoy. Los resultados de ellas hacen ver que la declinación, oriental en un principio, fué disminuyendo hasta resultar nula, pasando después á ser occidental y creciendo hasta cierto grado máximo para después decrecer, como lo continúa ejecutando en la actualidad; pues parece tiende á quedar otra vez nula, para volver después á ser oriental y crecer hasta otro máximo, como el observado en la occidental, á fin de retrogradar también y oscilar entre extensos límites, cual se ejecuta diariamente entre otros muy estrechos.

Se puede formar idea de las variaciones seculares de la declinación por el siguiente

CUADRO de las variaciones seculares de

PARÍS.		LONDRES.		CABO DE BUENA ESPERANZA.	
Años.	Declinación.	Años.	Declinación.	Años.	Declinación.
1580	11°-30' E.	1576	11°-15' E.	1605	0°-30' E.
1663	0°-00'	1657 á 1662	0°-00'	1605 á 1609	0°-00'
1814	22°-34' O.	1800	24°-36' O.	1791	25°-40' O.
1832	22°- 3'	1831	24°		

Como ejemplo más completo de variaciones seculares, se puede presentar el de las de París, que es á continuación:

Años.	Declinación.	Años.	Declinación.	Años.	Declinación.
1580	11°-30' E.	1816	22°-25' O.	1832	22°- 3' O.
1618	8°	1817	22°-19'	1835	22°- 4'
1663	0°	1818	22°-22'	1849	20°-34'
1678	1°-30' O.	1819	22°-29'	1850	20°-31'
1700	8°-10'	1822	22°-11'	1851	20°-25'
1767	19°-16'	1823	22°-23'	1854	20°-10'
1780	19°-25'	1824	22°-23'	1855	19°-57'
1785	22°-0'	1825	22°-22'	1860	19°-22'
1805	22°-5'	1827	22°-20'	1864	18°-57'
1813	22°-28'	1828	22°- 6'	1875	17°-21'2
1814	22°-34'	1829	22°-12'	1882	16°-33'

5.ª *Oscilaciones anuales* de las agujas imantadas son las que se producen sin tanta lentitud como las seculares, pero que se necesita el trascurso del año para observarlas: fueron descubiertas en 1786 por Casini.

6.ª *Ejemplo de las variaciones anuales* son las observadas en París, las cuales hacen ver que la extremidad norte de la aguja de declinación retrograda hacia el Este del meridiano magnético desde el equinoccio de primavera. durante tres meses, dirigiéndose al Oeste en los nueve meses restantes, La amplitud de la oscilación que así se ejecuta, viene á estar comprendida entre 15' y 20'.

7.ª *Oscilaciones diurnas* de la aguja imantada son las pequeñas oscilaciones que ejecuta la misma todos los días, aparte de sus variaciones anuales y seculares: fueron descubiertas por Graham en 1722.

8.ª *Las oscilaciones diurnas* de la aguja de declinación en Europa, que es Oeste, ofrecen la marcha siguiente: la extremidad norte de la aguja avanza hacia el Oeste desde el amanener hasta una ó dos horas después de mediodía, en que empieza á retroceder para volver á su posición primitiva hacia las diez de la noche, durante la cual permanece casi invariable: la amplitud de su pequeña oscilación cambia de unos dias á otros con las estaciones y con la latitud; es mayor en la primavera y verano que en el otoño é invierno; resulta de un valor comprendido entre 14' y 16' en las dos primeras estaciones y entre 8' y 10' en las otras dos, decreciendo desde los polos al ecuador, cerca del cual existen puntos que dan una línea sin variación diurna. La marcha diaria de estas variaciones, tanto de un dia á otro como de unas estaciones á otras, patentiza que influye en ellas la de la temperatura.

Las oscilaciones de las agujas imantadas son de tan poca amplitud, que no es fácil apreciarlas con cualquier clase de brújulas. Por esta razón, las destinadas á observaciones magnéticas diurnas, lo mismo que á las de las variaciones seculares y anuales tienen una construcción y disposición especial muy delicada, que las hace más costosas que las sencillas y ordinarias de una simple caja con la aguja y círculo graduado.

9.ª *Las variaciones de declinación* en las brújulas de este nombre, por razón de latitud, son las siguientes: es nula en el ecuador magnético; crece desde éste, aunque con más rapidez que la

latitud hacia las regiones polares, donde se aproxima á los 90°, y en algunos puntos de aquellas regiones la inclinación llega á dichos grados, en cuyo caso la aguja queda vertical y con el polo del nombre del hemisferio en que se observa dirigido hacia el suelo.

10. *Polos magnéticos* de la tierra son los puntos de la misma en que la declinación resulta exactamente de 90°. Existen dos, situados el uno en el hemisferio boreal, cerca de la isla de Melville á los 74° y 27' de latitud, y el otro en el hemisferio austral, en tierra de Victoria al O. del volcan Erebo, á los 77° próximamente de latitud S.

11. *La aguja de inclinación* experimenta también en un mismo punto variaciones seculares, anuales y diurnas, semejantemente á las de la declinación; si bien las diurnas en la inclinación resultan menos amplias y más difíciles de observar que las de igual clase en la declinación

Se puede formar idea de las variaciones seculares de inclinación por el siguiente

CUADRO

de las variaciones seculares de inclinación observadas en Paris.

Años.	Inclinación.	Años.	Inclinación.	Años.	Inclinación.
1671	75°- 0'	1810	68°-50'	1831	67°-41'
1754	72°-15'	1816	68°-40'	1834	67°-21'
1776	72°-25'	1818	68°-35'	1836	67°-26'
1780	71°-48'	1820	68°-20'	1839	67°-13'
1791	70°-52'	1822	68°-11'	1841	67°- 9'
1798	69°-51'	1824	68°- 7'	1849	66°-44'
1806	69°-12'	1826	68°- 0'	1859	66°-25'

12. *Se da el nombre de perturbaciones* de las brújulas á los cambios más ó menos bruscos y repentinos que accidentalmente experimentan sus agujas sin ley alguna, fuera de la dependencia ó relación entre ellas y las causas extraordinarias que las suelen producir.

13. *Las causas* á que se pueden atribuir las perturbaciones de las agujas de las brújulas son: las descargas eléctricas, las auroras boreales, las erupciones volcánicas, los terremotos y tal vez otras no bien conocidas aún.

Si los terremotos y volcanes influyen sobre las agujas de las brújulas, y el magnetismo no es sino electricidad, observada alguna coincidencia de señales eléctricas, relámpagos y tempestades en los dias en que aquéllos acaecen, ¿no es de sospechar si además de la temperatura interior del globo, acción de las aguas y reacciones químicas, la electricidad atmoférica y terrestre en circunstancias especiales podrá, como causa inmediata ó mediata, ser uno de los factores de los terremotos? De creer es que sí, por cuya razón, los que puedan dedicarse al estudio de tan complicado y oscuro problema, no debieran dejar de fijarse en tal cuestión.

II.

14. *La intensidad magnética* de los imanes, que no depende precisamente de su peso ó volumen, como se deduce midiendo y comparando la de imanes que tengan diferentes los suyos respectivos, se puede apreciar por tres medios diferentes, que son: 1.° Por la suspensión de pesos. 2.° Por el método de las oscilaciones. 3.° Por el de la torsión.

15. *Para apreciar la intensidad magnética* de un imán por el peso que pueda sostener, se pone en contacto con uno de sus polos una pieza de hierro dulce terminada en un gancho ó anillo para sostener pesos, y se cargan éstos gradual y sucesivamente hasta que se desprenda dicha pieza, en cuyo caso pesando ésta y los pesos sostenidos, su suma representará próximamente la fuerza del imán; aunque este método no da resultados exactos ni comparables, porque es posible que el mismo imán sostenga más ó menos pesos, según sea el puentecillo ó pieza que se adhiera á su polo y aun por otras causas.

16. *Se aprecia la potencia magnética de los imanes* por el método de las oscilaciones, del modo siguiente: se suspende un aaguja imantada dejandola oscilar, en igualdad de circunstancias, bajo la influencia de cada uno de los imanes, cuyas fuerzas se quieren apreciar, y comparando los diferentes números de oscilaciones de la aguja, semejantemente ó lo que se hace con las de un péndulo en puntos diferentes, se hallan relaciones que dan la de las fuerzas de los imanes.

El método de la torsión y todo lo relativo á la medida de la intensidad magnética, á la ley de las atracciones y repulsiones de los imanes y al decremento de la potencia magnética de éstos, son cuestiones im-

posibles de ser tratadas exactamente con simples indicaciones, y por lo mismo son impropias de lecciones elementales.

17. *Del estudio* hecho sobre las atracciones y repulsiones de los imanes á diferentes distancias, resulta que aquéllas se ejercen en razón inversa de los cuadrados de las distancias á que se colocan aquéllos, y, por consiguiente, que las acciones magnéticas decrecen según esta ley.

18. *Aunque la acción de los imanes* se creyó limitada á obrar solamente sobre los imanes y sobre los cuerpos denominados magnéticos, desde los experimentos de Coulomb, en 1812, se puede admitir que todos los cuerpos son magnéticos; pues que se ha probado existe una acción recíproca entre los imanes y los demás cuerpos que se consideraban sin aquel carácter.

La prueba de que todos los cuerpos se pueden considerar como magnéticos, prescindiendo de su potencia más ó menos débil, son: las experiencias de Coulomb, primeramente, y las de Lebaillif y Becquerel después. El primero operó disponiendo sucesivamente agujas muy pequeñas de cobre, plata, etc. suspendidas de un hilo de seda sin torsión, dentro de una campana á propósito para evitar el movimiento del aire y en disposición de presentar á sus polos los contrarios de dos poderosos imanes; con lo que acercando mucho los polos de éstos á los extremos de la aguja, vió que ésta giró como si estuviese imantada, para colocarse en la dirección de la recta determinada por los expresados polos de los imanes. Los segundos comprobaron estos hechos y, en su consecuencia, dedujeron la recíproca, esto es, que todos los cuerpos obran también sobre los imanes, pues introduciendo una aguja de coser bien imantada en una pajita suspendida por su parte media de un hilo fino y sin torsión, con el conveniente contrapeso para que aquélla se sostenga horizontal, y cubriéndola por medio de una caja ó campana de cristal con la abertura conveniente para introducir los diferentes cuerpos empleados, al aproximar éstos se observó que unos atraían á la aguja imantada y otros la rechazaban.

19. *Se ha convenido* en dar el nombre de cuerpos diamagnéticos á los que, sometidos á la acción de los imanes, no son atraídos, como el hierro y demás cuerpos llamados magnéticos, sino que por el contrario experimentan una repulsión.

20. *Los cuerpos en reposo* y en presencia de agujas magnéticas en movimiento, ejercen sobre ellas una acción marcada, pues alteran el número de oscilaciones que por sí solas puedan hacer sin aquella influencia.

Que los cuerpos en reposo ejercen accíón sobre los imanes en movimiento lo prueba, como observó Arago, el que una aguja imantada no oscila igualmente en el aire que á la proximidad de superficies sólidas ó líquidas; pues una placa de cobre, ú otro metal. hace disminuir notablemente la amplitud de las oscilaciones de una aguja, y reduce á 3 ó 4 igual número de cientos de ellas las que ejecuta fuera de la proximidad de las placas.

21. *Los cuerpos en movimiento* tambien ejercen acción sobre los imanes en reposo, como se hace ver con el aparato correspondiente.

Que los cuerpos en movimiento ejercen acción sobre los imanes en reposo se prueba con el aparato de la rotación magnetica, fácil de comprender con él á la vista. Se opera con él del modo siguiente: cuando se pone en movimiento ràpido de rotación la placa colocada en el aparato, la aguja magnética sale de su posición de equilibrio, abandona el meridiano magnético y forma con él un ángulo más ó menos considerable, que depende de la velocidad, distancia y naturaleza de la placa; mas si se acelera mucho la rotación de ésta, la aguja gira por fin siguiendo su movimiento rotatorio, de tal suerte que si se invierte el giro de la placa, la aguja se detiene é invierte también el suyo para seguir siempre el de aquélla.

Semejantemente se opera con diferentes placas en circunstancias variadas, y se obtienen resultados que todos confirman la acción del movimiento de los cuerpos sobre los imanes en reposo, exceptuándose solamente algunos, como el vidrio, la madera y algun otro que no dan resultados perceptibles.

LECCIÓN LXXXVI.

Métodos de imantación puramente magnéticos: 1.º, por la acción ó influencia magnética de la tierra y por la de los imanes artificiales, á distancia; 2.º por simple contacto; 3.º por fricción, que podrá ser sencilla y doble.—Puntos consecuentes.—Saturación y armaduras de los imanes.

1.ª Métodos de imantación son las diferentes maneras de convertir transitoriamente en imanes los cuerpos magnéticos y de formar los artificiales permanentes con el acero templado.

2.ª *Los métodos de imantación* pueden ser magnéticos y eléctricos. Los primeros son aquellos en que se emplea la acción magnética del globo ó de otros imanes, y los segundos los que se pueden seguir haciendo uso de las acciones eléctricas, cuyo conocimiento pertenece al estudio de la electricidad.

3.ª *Los métodos de imantación* puramente magnéticos se pueden reducir á los siguientes: por influencia de la acción magnética terrestre ó de un imán, por contacto y por fricción: ésta puede ser simple y doble, y la doble con separación ó sin ella.

4.ª *La imantación por influencia* de la acción magnética terrestre consiste en que por la sola acción de la tierra sin necesidad de ningún imán, se puede hacer que una barra de hierro dulce se convierta en uno perfecto, con sus dos polos y línea neutra, aunque esta imantación no sea permanente.

5.ª *La barra para este experimento* ha de ser de un metro de longitud próximamente, y se debe colocar en dirección del meridiano magnético, pues colocada en dicha dirección queda inmediatamente imantada, de tal suerte que la parte inferior ó que se dirige hacia el norte, en nuestro hemisferio, presenta un polo de dicho nombre, ó con fluido austral, y la otra el polo sur ó con fluido boreal.

6.ª *Se prueba que la imantación* por la influencia de la acción magnetica terrestre es instantánea, observando que así como se efectúa en un tiempo inapreciable, así también se cambia el orden de colocación de sus polos en cuanto se invierte la de la barra, por rápida que sea la inversión.

7.ª *La imantación de la barra* de hierro dulce por la acción de la tierra no es permanente fuera de la posición indicada para la imantación, pues que tan pronto como se la separa del meridiano magnético, desaparecen sus polos y toda señal de magnetismo.

8.ª *La imantación de una barra de hierro* por la influencia de la tierra se puede hacer permanente, comunicando á aquélla cierta fuerza coercitiva, que impida la recomposición de los dos fluidos; lo que se efectúa ejerciendo cualquier acción mecánica, como la de la lima, la percusión con un martillo y cualquier operación que produzca cambio en el arreglo molecular, cual el templado y la torsión.

9.ª Se puede formar manojos magnéticos por medio de la imantación por influencia de la tierra, imantando barras por este medio, haciendo su imantación permanente y reuniéndolas en la forma que se hace para la construcción de los manojos. También se puede formarlos, imantando de igual manera muchos alambres de hierro

dulce, reuniéndolos y torsiéndolos después de su imantación; pues de este modo, al hacerse permanente la de cada cual, resulta un imán permanente, si bien la intensidad del magnetismo resultante no es proporcional al número de alambres, aunque aumente con él y con el grado de torsión.

10. La imantación expontánea que experimentan algunas veces los instrumentos de hierro ó de acero en los talleres, las limas de los herreros por ejemplo, se explica por la influencia de la tierra del modo siguiente: cuando colocado por casualidad uno de dichos objetos en la dirección del meridiano magnético, se le deja tiempo suficiente para vencer la fuerza coercitiva del acero y la que suelen poseer los hierros del comercio, sobre todo los de fundición, los dos fluidos son descompuestos lo mismo que en el hierro dulce y dicho objeto queda imantado permanentemente, resultando un imán más ó menos perfecto.

11. *La imantación del hierro dulce* y del acero se puede efectuar también por influencia á distancia del polo de un imán como por la de la tierra, siendo la del primero transitoria, y permanente la del segundo si el imán es poderoso y se tiene á su proximidad el tiempo suficiente.

12. *Los métodos de imantación* por influencia, aunque posibles, no son tan expeditos como los que se puede seguir empleando el contacto ó fricción con los imanes artificiales.

13. *La imantación* por contacto de un imán se puede ejecutar del modo siguiente: colocando por bastante tiempo el extremo de la barra que se quiera imantar en contacto con el polo de un imán, ó estableciendo el de sus extremos con los polos opuestos de dos imanes, esto es, con el norte del uno y con el sur del otro. En este caso el extremo de la barra tocado por el polo norte adquiere el polo sur, y el que lo fué por el polo sur del imán resulta polo norte.

Si el contacto se establece con un polo sobre un punto intermedio á los extremos de la barra, en dicho punto resulta un polo de nombre contrario al del imán, y á cierta distancia, á uno y otro lado ó hacia cada extremo, otro del mismo nombre, resultando tres polos y aun más en algunos casos.

14. *La imantación* por simple fricción se ejecuta del modo si-

guiente: se hace deslizar el polo de un imán desde el uno al otro de los extremos de la barra que se quiera imantar, y repitiendo esto mismo varias veces, queda imantada.

Es de advertir que las fricciones se deben repetir por ambas caras de la barra muchas veces y en el mismo sentido, con lo que resulta en la extremidad por donde se concluye la fricción el polo contrario á aquél del imán con que se frota, y del mismo nombre en el otro extremo; por este metodo se produce una imantación débil, que, además, suele presentar el inconveniente de resultar el imán con puntos consecuentes.

Puntos consecuentes en las barras imantadas, son especie de polos que suelen resultar entre los de los extremos de aquellas.

15. *El método de imantación* de la doble fricción con separación ideado en Inglaterra por Knight en 1745, consiste en apoyar, perpendicularmente los polos contrarios de dos imanes, de igual potencia, en la parte media de la barra que se haya de imantar y hacerlos deslizar uno hacia un extremo de la barra y otro hacia el opuesto: al llegar á los extremos de aquélla los imanes, se levantan y llevan otra vez al medio de la barra para repetir la misma operación sucesivamente. De esta manera, después de bastantes fricciones por ambas caras de la barra, ésta resulta convertida en imán.

La modificación con que Duhamel mejoró y perfeccionó este método es la siguiente: se coloca los extremos de la barra que se quiere imantar sobre los polos contrarios de dos imanes, fijos y en la misma dirección, y separados lo necesario según la longitud de la barra; se opera sucesivamente con otros dos imanes sobre las caras de la misma como en el método de Knight, con la diferencia de que en vez de llevar aquéllas perpendicularmente á la barra, se les da una inclinación igual hacia los extremos de la misma, de unos 25° á 30°, y la de que la disposición de sus polos resulte tal que cada uno sea de nombre igual al que sirve de apoyo al extremo de la barra á que se haya de dirigir al frotar: de esta manera resulta imantada la barra, y sus polos son respectivamente de nombre contrario al del imán sobre que cada cual se apoya.

16. *El método de imantación* de Mitchell ó de doble fricción sin separación se reduce á operar en la forma siguiente: se colocan, como en el método de Knight, sobre la parte media de la barra que se va á imantar, los polos contrarios de dos imanes, en posición perpendicular á aquélla, con la diferencia de que en vez de dar las fricciones separándolos y deslizando cada cual desde el medio al extremo más inmediato de la barra, se dan llevándolos reunidos por medio de una piecesita de madera, interpuesta entre ambos, que los mantiene fijos y á una distancia invariable.

Las fricciones se dan deslizando los imanes, en la disposición indicada, desde el medio á un extremo; después, desde éste al opuesto, para volver al medio y continuar la misma marcha del medio al primer extremo, de éste al opuesto, volviendo otra vez al medio, y así sucesivamente. El número de veces que los imanes deben pasar por los extremos de la barra ha de ser igual, lo que se consigue empezando las fricciones por el medio y terminando en la misma parte, después de haberlos llevado desde ella las mismas veces á cada extremo.

La modificación con que Æpinus perfeccionó el método de Mitchell, consiste en disponer igualmente que en éste los dos imanes que en el mismo se emplean para dar las fricciones, con la diferencia de efectuarlas sin separar aquéllos, pues se deslizan, como en el método de Mitchell, llevando los polos reunidos, con la piecesita de madera interpuesta entre ellos, desde el medio á un extremo, desde éste al opuesto y así sucesivamente, pero inclinados los imanes hacia los extremos de la barra, formando con los respectivos segmentos de ésta ángulos iguales de unos 15° á 20°.

17. *El método de imantación* de Duhamel es preferible para la imantación de las agujas, porque produce aquélla con más regularidad, y el método de Æpinus se emplea para la imantación de grandes barras, que dan imanes poderosos, aunque no dejan de ofrecer algunas veces puntos consecuentes.

18. *Punto de saturación* de los imanes, ó imantación á saturación, es el límite pasado el cual no conservan más fuerza magnética.

19. *Se suele dar el nombre* de magnetismo á saturación al que resulta en un imán cuando no es susceptible de conservar mayor cantidad de dicho fluido.

Se dice que un imán está saturado, ó que está imantado á saturación, cuando sometido á una nueva imantación, valiéndose de medios más poderosos que los empleados para darle la que ya posee, no puede conservar permanentemente nueva cantidad de magnetismo libre, ó mayor potencia magnética, aun cuando de pronto la admita y conserve algún corto tiempo.

20. *Armaduras de los imanes* son las piezas ó abrazaderas de hierro dulce que se aplica á los polos de los imanes, cuya forma es diferente según se aplican á los naturales ó á los haces magnéticos.

A los imanes en herradura se les aplica sobre los dos polos una barrita de hierro dulce con un ganchito en su parte media, que sirve para suspender pesos, y, por lo mismo, se suele llamar ancla, puente ó porta-pesos.

21. *Las armaduras de los imanes* sirven para conservar y aumentar su potencia, ya porque la acción magnética de cada polo se ocupa en neutralizar la del polo contrario que la armadura le ofrece con su imantación por influencia, impidiendo así la neutralización, mayor ó menor, con la recomposición á que tienden por su atracción los fluidos contrarios dentro del imán, ya por alguna mayor descomposición en el fluido natural en virtud de la influencia recíproca de la armadura después de imantada.

Para obtener igual efecto en las barras magnéticas que apareadas se conservan y usan en los gabinetes, se colocan en su correspondiente caja, paralela una á otra, separadas por un espacio próximamente igual al ancho de ellas y con sus polos invertidos, de modo que el norte de la primera quede frente al sur de la segunda y el norte de ésta frente al sur de aquélla. Los polos opuestos de las barras que resultan á cada extremo de la caja se enlazan con los extremos de una pequeña barra de hierro dulce de igual ancho que el de los imanes y de longitud igual á la anchura de la caja. De este modo, sirviendo dichas barras de armaduras, la potencia de los imanes no se debilita, como sucedería sin esta precaución.

22. *Las agujas de las brújulas* en libertad no necesitan armaduras, porque hace el efecto de ellas la potencia magnética del globo con su acción directriz; pero por lo mismo se debe tener cuidado, al guardarlas, de dejarlas libres soltando el boton ó resorte con que se las sujeta para el trasporte, ó para fijar el ángulo de su declinación cuando se opera con ellas; porque de lo contrario, si se colocasen en sentido inverso del de su posición de equilibrio, no pudiendo girar para obedecer á las atracciones y repulsiones de los polos magnéticos de la tierra, éstos hallarían á los de la aguja en disposición de recomponer los fluidos de nombre contrario y debilitar su potencia magnética.

ELECTRICIDAD Ó ELECTROLOGÍA.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA.

LECCIÓN LXXXVII.

I. Concepto de la electricidad, su orígen y progresos de su estudio.—Clasificación de los cuerpos según su aptitud para la electrización.—Conductibilidad eléctrica.—Cuerpos buenos y malos conductores.—Cuerpos aisladores y aislados.—Cuerpos semiconductores —Depósito común.—Diferentes modos con que se puede desenvolver la electricidad y división de ésta en estática y dinámica.—II. Péndulo eléctrico, fenómenos que con él se observan en los cuerpos electrizados.—Denominaciones dadas á la electricidad.—Ley de las atracciones y repulsiones de los cuerpos electrizados.—Resultado de la electrización de dos cuerpos al frotar uno con otro.—Intensidad y tensión eléctrica.—Leyes con que se ejerce la acción eléctrica.—Hipótesis ideadas para la explicación de la electricidad y sus fenómenos.

I.

1.ª *La electricidad*, bajo cualquier aspecto de la energía que se la considere, se puede definir diciendo: es la causa ó agente desconocido productor de ciertos fenómenos, como el de la atracción de los cuerpos ligeros por el sucino ó ámbar amarillo frotado previamente con tela de lana, y de otros que por sus circunstancias, se los puede considerar de origen común con el del primero.

2.ª *La voz electricidad*, derivada de la griega *electron*, ámbar amarillo, se suele usar también para significar los hechos producidos por el agente así denominado, é igualmente para titular la parte de la Física que estudia dicho agente y sus efectos, cuyo tratado se suele denominar Electrología.

El orígen ó descubrimiento de la electricidad, como el del magnetismo, limitado al conocimiento de la atracción de los cuerpos ligeros por el ámbar amarillo ó sucino frotado con tela de lana, no se puede fijar exactamente, pues sólo se sabe que este fenómeno, lo mismo que el de la atracción del hierro por el imán, era ya conocido en tiempo de Thales de Mileto, 400 años antes de la era cristiana, y hasta 2000 años después no se consideró sino como una curiosidad.

En efecto, en 1600, William (Guillermo) Gilbert, médico de Isabel de

Inglaterra, demostró ya que la propiedad del ámbar era extensiva á otras sustancias, como el vidrio, lacre, azufre, etc., y desde entonces, con este primer impulso, se fundó el estudio de la nueva parte de la Física, la *Electrología*, cuya marcha y progresos en los dos siglos siguientes fueron tales, que en el actual, amplificado más y más su estudio, los descubrimientos y aplicaciones de esta rama de la Física se han multiplicado y sucedido tan veloz y admirablemente, que la hacen tan extensa, variada y exuberante de hechos, que es ya difícil seguir su vertiginosa marcha.

Por estas circunstancias el estudio de la Electrología se halla en un estado de transición, que dificulta su exposición aun en los tratados extensos, por cuya razón en estas lecciones sólo se expondrán los hechos y leyes más esenciales é indispensables como base de estudios y lecturas más ampliados, sin perjuicio de indicar, aunque brevemente, el nuevo modo de considerar la causa de los fenómenos eléctricos, así como el sentido en que es necesario tomar los nombres usados según la hipótesis de Symmer, seguida hasta hoy y de que puede decirse no es fácil prescindir hasta que un genio privilegiado no alcance la gloria de sintetizar y reorganizar estudio tan interesante como vario é inagotable en sus aplicaciones.

3.ª *Emprendido* el estudio de la electricidad y observado que no era el sucino el solo cuerpo electrizable, sino que también otros muchos como el vidrio, lacre etc., pero no todos, se dió el nombre de cuerpos ideoeléctricos á los que se podían electrizar por el frotamiento, y el de aneléctricos á los que no: denominaciones que cayeron en desuso al ver después que todos eran electrizables, toda vez que el no serlo algunos, en la apariencia, consistía en una circunstancia diferencial, la conductibilidad eléctrica.

4.ª *Conductibilidad eléctrica* es la propiedad de algunos cuerpos en cuya virtud la electricidad, desenvuelta y comunicada en una parte cualquiera de su superficie, se extiende instantáneamente al total de ella.

5.ª *Los cuerpos* por razón de su conductibilidad eléctrica se dividen en buenos y malos conductores: los primeros son los en que la electricidad desenvuelta en una parte de su superficie se extiende á las demás, y desde éstas á las de los cuerpos en contacto, por cuya razón se pierde y no se puede retener ni hacer perceptible; y los segundos los en que la electricidad desenvuelta aparece fija y perceptible en los puntos en que se origina, sin poder extenderse á los demás.

Como ejemplo de cuerpos buenos conductores se pueden citar principalmente por el orden de su conductibilidad decreciente, los siguientes:

Metales usuales.	Agua de fuente.	Sales solubles.
Carbón calcinado.	Id. de lluvia.	Telas de hilo.
Grafito.	Nieve.	Id. de algodón.
Ácidos.	Vejetales secos.	Y en general los buenos conductores del calor.
Disoluciones salinas.	Órganos de los animales.	
Agua de mar.		

De malos conductores, que pueden servir de aisladores, los que son á continuación;

Óxidos metálicos secos	Cuero.	Ámbar.
Aceites grasos.	Pelos.	Goma laca.
Cenizas.	Plumas.	Lacre.
Hielo á—20°.	Lana.	Aire seco.
Cautchuc.	Seda.	Gases secos.
Resinas.	Piedras preciosas.	Y en general los malos conductores del calor.
Porcelana.	Mica.	
Papel seco.	Vidrio.	
Pergamino.	Cera.	
Vegetales secos.	Azufre.	

6.ª *Cuerpos aisladores* son los malos conductores de la electricidad, que, en ocasiones dadas, sostienen á los que la conducen bien, á fin de que cuando se electrice á éstos, separados de los de igual clase y evitada la propagación de la electricidad, ésta quede retenida, fija y perceptible en el cuerpo aislado.

7.ª *Cuerpos aislados* son los buenos conductores, que conservan la electricidad desenvuelta en su superficie cuando se hallan sostenidos y separados de los demás por alguno ó algunos de los malos conductores.

8.ª *Las denominaciones* de cuerpos buenos y malos conductores de la electricidad no indican propiedades absolutas, sino relativas de unos cuerpos á otros; pues comparada la facultad conductriz de un cuerpo con las de otros dos, puede ser mal conductor respecto á uno y bueno con relación á otro. Así es, que hay cuerpos que si bien su conductibilidad no es perfecta, es necesario aislarlos y no sirven para aisladores, por lo que se les suele denominar semi-conductores.

Como cuerpos semi-conductores se pueden citar los siguientes:

Alcohol.	Flor de azufre.	Papel.
Éter.	Madera seca.	Paja.
Vidrio pulverizado.	Mármol.	

9.ª *Se denomina* depósito común al globo terrestre donde va á parar y perderse la electricidad de los cuerpos que se electrizan sin estar aislados.

10. *Los cuerpos se electrizan* no sólo por frotamiento sino que también por otros medios, como la presión, la elevación de temperatura, el contacto y las acciones químicas.

11. *La electricidad* desenvuelta en los cuerpos no se dispone ó permanece siempre sobre sus superficies del mismo modo, sino de maneras muy diferentes, según como se desenvuelve, por cuya razón se suele dividir en estática y dinámica: se llama estática cuando, desenvuelta ó comunicada á un cuerpo, permanece quieta ó en equilibrio sobre su superficie, y dinámica cuando resulta en movimiento y se utiliza conduciéndola por hilos ó láminas metálicas.

12. *La electricidad por fricción*, que es la que se desenvuelve por frotamiento, se puede obtener en todos los cuerpos, si bien con circunstancias diferentes.

13. *Se prueba* que los cuerpos malos conductores se electrizan por el frotamiento, haciendo uso del péndulo eléctrico, del modo siguiente: frótese un cuerpo mal conductor con un trozo de tela de lana, aproxímese al péndulo eléctrico y se verá cómo atrae la esferita de la médula de saúco; mas no es tan fácil probar con el péndulo eléctrico la electrización por frotamiento de los cuerpos buenos conductores, porque es necesario estén muy bien aislados, como se hace ver con un cilindro ó disco metálico aislado con un mango de vidrio.

14. *El rozamiento de los líquidos* con los sólidos á quienes no mojan, como el del mercurio con el vidrio, produce también electricidad, como se puede hacer ver agitando el mercurio de un barómetro contra las paredes de su tubo; pues la cámara barométrica aparece fosforescente, si se practica el experimento en la oscuridad: experimento que se hace más fácil con un tubo de vidrio, que contiene una pequeña cantidad de mercurio y se cierra por el extremo abierto con una armadura ó virola metálica; pues agitándolo en la oscuridad, se ven pequeñas chispas de luz que indican la electricidad.

15. *El rozamiento de los gases* con los sólidos produce tam-

bién electrización, como se hace visible soplando con un fuelle una torta resinosa ó un disco de vidrio.

II.

16. *Péndulo eléctrico* es un aparatito compuesto esencialmente de una esferita de médula de saúco, suspendida de un apoyo por medio de un hilo de seda, cuerpo aislador, ó de otro de lino cuando así conviene. En el primer caso se tiene el péndulo aislado y en el segundo el sin aislar ó en estado natural.

17. *La electricidad* ejerce su acción al través de los cuerpos malos conductores, como se prueba interponiendo entre el péndulo eléctrico y un cuerpo electrizado una lámina de vidrio, papel, etc.; pues se ve que el péndulo es atraído, aunque lo sea con menos energía.

18. *Los cuerpos electrizados* aproximados á los péndulos eléctricos producen los fenómenos siguientes: 1.° Todo cuerpo electrizado atrae una y otra vez, y siempre, al péndulo eléctrico en estado natural. 2.° Que el péndulo eléctrico suspendido por un hilo de seda, esto es, aislado, en un primer instante es atraído por cualquier cuerpo electrizado, pero en el siguiente se le ve separarse como repelido por el mismo cuerpo que antes lo atraía. 3.° Que si dos péndulos aislados se cargan con electricidad de un mismo cuerpo, así como son rechazados por éste, así también se repelen mútuamente si se aproxima el uno al otro. 4.° Que si uno de los mismos péndulos se carga con electricidad dada por el lacre y el otro por la del vidrio, aproximando uno á otro se ve que se atraen y unen formando como un todo. Estos hechos hicieron ver que la acción eléctrica no se reducía simplemente á las atracciones, sino que también produce repulsiones, y, por consiguiente, que la electricidad envuelve dos modos opuestos de obrar: razón por la cual resultó la idea de dos electricidades, que condujo por fin á la hipótesis de Symmer, y en cuya virtud se dió el nombre de vítrea á una y el de resinosa á otra.

19. *Se denominó electricidad vítrea* á la que resulta libre sobre la superficie del vidrio cuando los cuerpos de esta sustancia, sin deslustrar, son frotados con telas de lana, y electricidad resinosa la que resulta libre sobre la superficie del lacre frotado con

tela de lana: denominaciones sustituídas después respectivamente con las de electricidad positiva y electricidad negativa, más en armonía con la hipótesis de Franklin bajo un punto de vista, y con la de Symmer bajo otro, por cuya razón se dice electricidad vítrea ó positiva y electricidad resinosa ó negativa.

20. *Se denominaron* electricidades del mismo nombre las de igual naturaleza, ó que siempre producen igual efecto de atraer ó rechazar á un mismo cuerpo electrizado ó cargado de una electricidad determinada.

Si electrizados varios cuerpos, y presentados al péndulo eléctrico aislado y cargado de la electricidad dada por otro determinado, como el vidrio sin deslustrar y frotado con tela de lana, producen su repulsión, las electricidades de dichos cuerpos serán del mismo nombre: si los mismos cuerpos ú otros nuevamente electrizados se presentan á un péndulo aislado, cargado de la electricidad de otro cuerpo, como el lacre frotado con tela de lana, y producen la atracción de aquél, las electricidades de dichos cuerpos serían también del mismo nombre, aunque del contrario á las del caso anterior.

Si dichos cuerpos se presentasen á un péndulo no aislado, ó en estado natural, aunque todos lo atrajesen, no por esto podríamos asegurar que sus electricidades eran del mismo nombre, porque todo cuerpo cargado de electricidad, cualquiera que sea la especie ó naturaleza de ésta, siempre produce la atracción de dicho péndulo.

21. *Se denominaron* electricidades de nombre contrario las de distinta naturaleza, esto es, que produciendo unas la atracción ó repulsión del péndulo eléctrico aislado y cargado de una electricidad determinada, las otras producen en orden inverso su repulsión ó atracción.

Si electrizados varios cuerpos y presentados á un péndulo eléctrico aislado y cargado de la electricidad dada por otro determinado, como el vidrio no deslustrado y frotado con tela de lana, unos producen atracción y otros repulsión, sus electricidades se llaman de nombre contrario. Si dichos cuerpos se presentasen al péndulo aislado y cargado de otra electricidad, como la del lacre frotado con tela de lana, y produjesen, por el contrario, repulsión los unos y atracción los otros, serían igualmente de nombre contrario, aunque del mismo cada cual que en el primer caso.

22. *Los cuerpos electrizados* obedecen al principio ó ley que se enuncia así: electricidades de un mismo nombre, ó cuerpos electrizados ó cargados con electricidad de igual nombre, se rechazan,

y electricidades de nombre contrario, ó cuerpos electrizados ó cargados con electricidades de diferente nombre, se atraen.

23. *Se prueba que electricidades* de igual nombre se rechazan, del modo siguiente: sabido por comparación con la electricidad vítrea, que la resinosa del lacre y la de la goma laca son de igual nombre, si se cargan dos péndulos eléctricos aislados, uno con la del lacre y otro con la de la goma laca y se aproximan, se verá que se rechazan mútuamente. Se demuestra que las electricidades de nombre contrario se atraen, cargando dos péndulos eléctricos aislados, uno con electricidad resinosa y otro con vítrea, pues aproximándolos, veremos que se atraen mútuamente.

Según esta ley, todo cuerpo electrizado que produzca repulsión sobre el péndulo eléctrico cargado de electricidad positiva, como la del vidrio, ó atracción sobre el mismo cargado de la negativa, como la del lacre, diremos que tiene electricidad positiva ó que está electrizado positivamente; y, al contrario, que tiene electricidad negativa ó que está electrizado negativamente, cuando en iguales casos se obtiene los mismos efectos en orden inverso, esto es, atracción y repulsión.

De los dos modos que según esto se pueden seguir para reconocer la clase de electricidad de los cuerpos electrizados, el más seguro es el de la repulsión sobre la vítrea para los positivos y sobre la resinosa para los negativos, en atención á que las atracciones pueden efectuarse entre un cuerpo electrizado positiva ó negativamente y el péndulo en estado natural.

24. *De dos cuerpos* al ser frotado el uno por el otro, no se electriza sólo el frotado sino que lo verifican los dos á la vez, tomando, generalmente, uno la positiva y otro la negativa; si bien en algunos casos se ha visto tomar igual electricidad al frotante y al frotado.

Se demuestra que cuando dos cuerpos se electrizan al ser frotados, lo ejecutan en cantidades iguales y de signo contrario, haciendo el experimento siguiente: aislados dos discos de igual diámetro con mangos de vidrio y asidos por éstos con las manos, se frotan separándolos rápidamente y se observa que, aproximándolos á un péndulo eléctrico en estado natural, éste es atraido lo mismo por el uno que por el otro, lo que prueba que los dos se han electrizado. Si después se analizan sus electricidades con el péndulo cargado de una electricidad determinada, se ve que cada disco posee la contraria á la del otro, y, por último, que reunidos otra vez desaparecen sus electricidades recomponiéndose por completo toda vez que ninguno de ellos atrae después al péndulo; lo que

hace ver que las electricidades, además de ser de nombre contrario, resultan en igual cantidad.

25. *Intensidad de la electricidad* es la mayor ó menor cantidad de flúido libre sobre una superficie dada, y su tensión es la mayor ó menor fuerza de atracción ó repulsión que dicha cantidad puede ejercer.

26. *Las tensiones ó fuerzas eléctricas* atractivas ó repulsivas, en igualdad de las demás circunstancias, son proporcionales á las cantidades de flúido libre y obran en razón inversa del cuadrado de las distancias.

Estas leyes se pueden demostrar de dos modos diferentes: por el método de las oscilaciones y por el de la torsión con la balanza de Coulomb, pero los pormenores de estos métodos no son propios de una clase elemental, por las mismas razones que se ha indicado en cuestiones semejantes.

27. *Para la explicación* de la electricidad y sus efectos se han ideado varias hipótesis más ó menos quiméricas é imperfectas, pero entre ellas las dos más racionales y conformes con los hechos han sido las de Franklin y la de Symmer, habiendo resultado ésta la más admitida y á propósito para el objeto.

28. *La hipótesis de Franklin* para explicar la electricidad suponía un fluido único y extremadamente sutil, cuyos elementos tenían una fuerza de mutua repulsión, pero que adheridos más ó menos á las moléculas de los cuerpos en determinada cantidad, según la naturaleza de éstos, permanecían en equilibrio ó estado natural, esto es, sin producir efectos perceptibles; que si, por un medio cualquiera de los de electrización, aumentaba la cantidad de fluido respecto de la que existía en estado natural, el exceso se hacía perceptible, y se decía que el cuerpo se electrizaba por más ó positivamente; que si, por el contrario, resultaba disminución, el resto se hacia igualmente perceptible, aunque por efectos contrarios y el cuerpo resultaba electrizado por menos ó negativamente. En tal supuesto dos cuerpos electrizados, positivamente el uno y negativamente el otro, puestos á cierta distancia, se atraerían mútuamente para ceder el positivo su exceso al negativo y quedar en estado natural, ó para apoderarse el segundo del todo ó parte de dicho exceso y completar la cantidad necesaria para su equilibrio. De este modo resultaba explicada la atracción de los

fluidos de nombre contrario; mas aunque en el mismo supuesto se explicaba también, de cierta manera, la repulsión de los cuerpos cargados de electricidad de igual nombre, no siendo de un modo satisfactorio, resultaba defectuosa la hipótesis y por lo mismo menos preferible que la de Symmer

29. *La hipótesis de Symmer* para la explicación de la electricidad, consistía en suponer dos fluidos, cuyos respectivos elementos se repelían mútuamente, pero que los del uno con los del otro se atraían, y que distribuídos unos y otros sobre las moléculas de los cuerpos ponderables, se enlazaban y sobreponían los de una clase con los de la otra, equilibrándose ó neutralizándose, y resultaba un fluido compuesto, llamado neutro ó natural, sin producir efectos perceptibles. En tal hipótesis se admitía lo siguiente: que alterado el equilibrio indicado, por cualquier acción, como la del frotamiento, los dos fluidos, en ambos cuerpos frotante y frotado, se separaban é influenciaban de una manera no conocida ni determinada, dando por resultado las acciones de un fluido libre, positivo en el uno de dichos cuerpos y negativo en el otro, que atraían siempre á los cuerpos no electrizados y daban las atracciones de fluidos de nombre contrario y las repulsiones de los de igual denominación.

Esta hipótesis, seguida generalmente por su sencillez y forma adecuada para la explicación de los fenómenos eléctricos, si bien ha prevalecido y aun hoy es casi imprescindible el seguir valiéndose de ella, no está ya en armonía con el conocimiento de la correlación entre los fenómenos caloricos y lumínicos, eléctricos y magnèticos, y si en oposición con la tan probable hipótesis, casi verdadera teoría de la *unidad de la fuerza*. Por esta razón es preciso desterrar de la ciencia la idea de los fluidos especiales denominados imponderables, y aunque no se ha llegado á un concepto claro y terminante respecto del agente ó causa reconocido como origen único de la electricidad y el magnetismo, sin embargo, así como Franklin admitía un solo fluido eléctrico, hoy, aunque no de la misma manera, se admite, si no un solo fluido especial, la acción única del éter que en realidad se puede considerar como un fluido el más elástico y menos denso de todos los existentes.

Según el nuevo concepto de la electricidad, se supone que un cuerpo se halla en estado natural, esto es, sin electrizar, cuando el éter en que fluctuan sus moléculas se halla en cierto estado de normal equilibrio, ó determinado grado de condensación y tensión, y que cuando, por una causa de las que pueden turbar el equilibrio molecular, como la fric-

ción, etc., se altera aquel estado, entonces resulta electrizado en uno ú otro de los sentidos ó estados que se denominaron y seguirán denominándose electricidad positiva y negativa, esto es, electrizado positivamente cuando resulta aumento de condensación y tensión del éter, y negativamente cuando disminución y, por consiguiente, dilatación y enrarecimiento del mismo. Además, la electricidad dinámica se considera como un trasporte de fluido etéreo, al través de conductores, en virtud de aumento ó disminución de su condensación.

De lo indicado anteriormente, así como de lo expuesto respecto del calórico (XLIX—10) y lumínico (LXVIII—7) resulta que los fluidos denominados imponderables quedan reducidos como á uno solo bajo los diferentes aspectos respectivamente indicados, esto es, que el calórico y lumínico son producidos por la recíproca vibración de las moléculas del éter y las ponderables de los cuerpos, y la electricidad se origina por la mayor ó menor condensación y dilatación del éter; no siendo el magnetismo sino uno de tantos efectos de la misma electricidad.

Para armonizar con las nuevas ideas acerca de la electricidad, las denominaciones de electricidad positiva ó vítrea y de electricidad negativa ó resinosa, se entenderá por la primera, ó al decir que un cuerpo está electrizado positivamente, que la condensación del éter en su superficie es mayor que en el estado neutro ó natural, y por la segunda, ó que un cuerpo se halla electrizado negativamente, que la condensación del éter en su superficie es menor que en su estado neutro ó natural.

LECCIÓN LXXXVIII.

I. Electricidad por influencia.—Experimento de los conductores aislados.—Comunicación de la electricidad de unos cuerpos á otros.—Chispa eléctrica.—II. Choque por retroceso.—Distribución de la electricidad en los cuerpos que se electrizan.—Poder de las puntas.—Reacción de salida de la electricidad libre.

I.

1.ª *Electricidad por influencia* ó por inducción es la desenvuelta en un cuerpo no electrizado, por la acción de un origen eléctrico más ó menos distante.

2.ª *Origen eléctrico*, foco de electricidad ó cuerpo inductor es todo cuerpo que hallándose electrizado positiva y negativamente, puede ejercer acción sobre otros situados dentro de su esfera de actividad.

3.ª *Esfera de actividad* de un foco ú origen eléctrico es la ma-

yor distancia á que puede alcanzar su acción, ó bien el espacio en que ésta puede producir efecto.

4.ª *La electricidad de los cuerpos* electrizados por influencia no es recibida de la del orígen, sino que se desenvuelve dentro de ellos mismos por el desquilibrio de su estado eléctrico, neutro ó natural.

5.ª *La electrización por influencia*, empleando el lenguaje de la hipótesis de Symmer, se explica del modo siguiente: la acción de la electricidad libre del origen, actuando sobre la electricidad natural del cuerpo aislado que electriza, altera su equilibrio, atrae hacia sí la de su nombre contrario, rechaza la de igual denominación y se originan las correspondientes resultantes, que producen la acción perceptible de las electricidades libres hacia los extremos del cuerpo; de modo que la de nombre contrario al del origen aparece en la extremidad más próxima á éste, y la del mismo nombre en la más distante, resultando hacia la parte media una especie de línea neutra y como dos polos en los extremos: fenómeno que se suele denominar polaridad eléctrica.

6.ª *Para probar el modo* de electrizarse un cuerpo por influencia y todas las demás circunstancias de esta cuestión, se hace uso de los conductores aislados y de un orígen eléctrico, como una esfera cargada de una electricidad conocida, ó más generalmente de la misma máquina eléctrica.

7.ª *El conductor aislado*, debido á Epinus, es un cilindro de laton, terminado en sus bases por hemisferios ó segmentos esféricos y sostenido por otro cilindro de vidrio, que se apoya en un pie circular de madera. Dicho cilindro lleva, hacia sus extremos y en diferentes secciones, péndulos de médula de saúco, cuyos movimientos hacen perceptibles todas las circunstancias de la electrización por influencia en los respectivos experimentos.

8.ª *Para hacer ver la descomposición* de la electricidad neutra por la influencia del origen eléctrico, se presenta á éste un conductor aislado, é inmediatamente se observa un desvío en todos los péndulos, excepto en los del medio que indican como una línea neutra; dirigiéndose, como por atracción, hacia el origen todos los que se hallan entre el extremo próximo á él y la línea neutra y hacia la parte opuesta, como rechazados, los que se hallan entre

la misma línea y el extremo más distante del expresado origen.

9.ª *Que las electricidades* de nombre ó signo contrario se extienden hacia los extremos de los conductores aislados, cuando éstos se electrizan por influencia, resulta demostrado por los desvíos de los péndulos. Que la del extremo próximo al origen es de nombre contrario á la de éste y que la del otro extremo es de igual nombre, se hace ver ver aproximando á los péndulos de los extremos, primero, un cilindro de vidrio electrizado ó cargado de electricidad positiva, y, después, otro de lacre con la negativa; pues si el origen tiene la electricidad positiva, como sucede haciende uso de la máquina eléctrica de Ramsden, al presentar el cilindro de vidrio al péndulo próximo al origen lo atrae, mas presentando al del extremo opuesto lo rechaza: prueba de que en el primer péndulo y extremidad del cilindro próximo al origen hay electricidad de nombre contrario á la del vidrio y, por consiguiente, á la del origen, que se ha supuesto positiva como la de aquél, y que en el segundo y extremidad más distante hay la del mismo nombre que la del vidrio y, por consiguiente, que su igual la del origen.

Si en vez de presentar el cilindro de vidrio con su electricidad positiva, se presenta otro de lacre con la negativa, se verá que rechaza al primer péndulo y atrae al segundo: prueba de que el primero tiene electricidad del mismo nombre que la del lacre, esto es negativa, que es contraria á la del origen, y que el segundo tiene la de su nombre contrario, esto es, la positiva, ó del vidrio, que es del mismo que la del origen.

Para demostrar terminantemente que la extremidad del conductor aislado más próxima al origen eléctrico se electriza verdaderamente y que la divergencia ó atracción de sus péndulos hacia el cuerpo inductor no es producida simplemente por la acción de éste, se puede hacer uso de otro conductor aislado debido á Riess, cuya disposición y uso es facil de explicar verbalmente.

10. *Todo conductor aislado* y electrizado, si se pone en comunicación con el depósito común, tocandole por uno y otro de sus extremos queda cargado siempre de electricidad del extremo más próximo al origen, esto es de nombre contrario á la del cuerpo inductor. Este hecho, que se puede denominar paradoja eléctrica, se observa del modo siguiente: se pone en comunicación con el suelo el extremo más distante del origen, y se ve que el péndulo

colocado hacia aquella parte pierde su posición oblícua y cae tomando la vertical, adquiriendo el otro mayor desvío; lo que prueba que el conductor se descarga de la electricidad del extremo por donde se estableció la comunicación y que resulta cargado de la del extremo próximo al origen, ó sea de nombre contrario á la de éste. Seguidamente se suprime la comunicación, y vuelto á electrizar por influencia el conductor aislado, se pone otra vez en comunicación con el suelo, pero por el extremo más próximo al origen; y aunque parece debían reproducirse los mismos hechos ó indicaciones anteriores en orden inverso, no es así, sino en el mismo que en el primer caso, quedando por consiguiente cargado también de la electricidad del extremo próximo al origen, esto es, de nombre contrario á la de éste.

La paradoja eléctrica se explica del modo siguiente: en el primer caso, al establecer la comunicación, el cuerpo que lo verifica, el dedo por ejemplo, antes de tocar al conductor aislado se electriza por la influencia de la electricidad positiva del extremo del conductor que se va á tocar, por cuya razón la electricidad negativa acudirá al dedo y la positiva será rechazada al depósito común; en cuya disposición al tocar con el dedo cargado de negativa al extremo que posee la positiva, ésta se neutraliza con aquélla y resulta descargado el extremo del conductor tocado con el dedo, ó sea el más distante del origen. Lo explicado debe entenderse en el supuesto de que el origen es positivo, que el extremo del conductor más próximo á aquél tiene la negativa y el más distante la positiva. En el segundo caso, antes de tocar el dedo al extremo del conductor, que por estar más próximo al origen tiene la negativa, se electriza por influencia, no de la negativa del extremo del conductor que se va á tocar, sino de la positiva del origen por ser ésta mayor, y el dedo toma también la negativa, resultando rechazada al suelo la positiva, de manera que al tocar el dedo al conductor próximo al origen, le comunica su electricidad negativa, que, unida á la ya existente en él, la rechaza como de igual nombre, al extremo opuesto, donde se va neutralizando con la positiva que éste posee: lo que equivale á descargar, como en el primer caso, al extremo más distante del origen, para quedar, lo mismo que entonces cargado de negativa el extremo más próximo.

11. *La electricidad del conductor* no pasa á éste de la del origen, como lo prueba el resultar aquél con las dos electricidades dispuestas de la manera explicada; cuando si pasara realmente del mismo origen, no debería haber más que una clase de electri-

cidad, positiva ó negativa como la del origen, en cuyo caso no se concebiría la existencia de la del nombre contrario en el extremo del conductor más próximo á aquél. Además, descargando el origen ó poniéndolo en comunicación con el depósito común, el conductor debía conservar su electrización y no perderla en el mismo instante, como indica la caída de los péndulos: prueba de neutralización de las dos electricidades. Si, por el contrario, permaneciendo el origen con su carga eléctrica, se aleja de él el conductor aislado y electrizado por influencia, se ve que á medida que el segundo dista más del primero, los péndulos van descendiendo hasta que á cierta distancia quedan en estado natural; lo que no sucedería, si, pasando la electricidad del origen, no tuviese el conductor las dos, en cuyo caso, aislado como está, debería conservar la electricidad recibida de aquél.

12. *Un cuerpo electrizado* por influencia, puede electrizar de la misma manera á otro segundo, éste á un tercero y así sucesivamente hasta cierto límite. Esto se demuestra colocando un segundo conductor aislado tras del primero, pues se verá que el segundo se porta respecto del primero como éste respecto del origen; que sucede lo mismo entre un tercero y el segundo, y así sucesivamente.

La sucesión de electrizaciones no es ilimitada ni con igual intensidad, pues los desvíos de los péndulos son cada vez menores hasta llegar á ser nulos, que es lo que limita el experimento y las influencias.

13. *La electricidad* se puede comunicar no sólo á distancia ó por influencia, sino que también por el contacto de un cuerpo en estado natural con otro electrizado.

14. *La electrización* de un cuerpo por contacto con otro electrizado se verifica del modo siguiente: al aproximarse el cuerpo no electrizado al que lo está, y hallarse dentro de la esfera de actividad de éste, se electriza por influencia; por cuya razón, si el primero está aislado, al tocar al segundo se combina la electricidad de éste con la contraria que el primero le presenta y ambas se neutralizan, quedando la del mismo nombre que la del origen sobre el cuerpo, que, separado de aquél, la conserva y resulta electrizado.

Si el cuerpo no está aislado, aunque las cosas pasan lo mismo, la electricidad se propaga y va á perderse en el depósito común, en cuyo caso se dice que el cuerpo no electrizado descarga al que lo está.

15. *La electrización á distancia* no es otra cosa que la explicada por influencia; mas para que sea permanente y que el cuerpo que se electriza resulte con una sola electricidad, es necesario ponerle en comunicación con la tierra para descargarle de una de las dos electridades, pues quedando así con una sola, la contraria siempre á la del origen, suprimiendo la comunicación y descargando á la vez aquél, ó alejando de él el cuerpo, éste resultará lectrizadoe sin haber tocado al cuerpo electrizante.

16. *La formación de la chispa eléctrica* se verifica siempre que un cuerpo electrizado se aproxima lo bastante á otro que posee electricidad de nombre contrario á la suya; pues aproximados más ó menos, cuando llega á ser suficientemente pequeña la distancia entre ellos, sus electricidades pueden vencer la presión del aire que las retiene sobre las superficies de los mismos, aquéllas se desprenden de éstas y se combinan neutralizándose, en cuyo caso se produce una ráfaga de luz, ó serie de ellas, más ó menos grandes según son los cuerpos; siendo tanto mayores si el que se acerca al origen no está aislado.

Los chasquidos de las chispas son efecto de las vibraciones del aire, existente entre los cuerpos, producidas por la conmoción del mismo á consecuencia del movimiento que las electricidades les imprimen al abandonar aquéllos.

Dichos chasquidos son tanto más pequeños cuanto menores son las cantidades de electricidad, por cuya razón, cuando se toca un cuerpo electrizado con otro que contiene poca electricidad de nombre contrario, no se oye ruido alguno ni se ve la chispa, sobre todo si no se está en la oscuridad.

II.

17. *Se da el nombre de choque por retroceso* al efecto que producen en los cuerpos la recomposición repentina de sus dos electricidades cuando cesa la acción del origen, como la máquina eléctrica ó una nube, que con su influencia había producido la descomposición. Un ejemplo bien perceptible y sencillo del choque

por retroceso es el fenómeno que se observa en el conductor aislado, y electrizado por la influencia del origen, cuando éste se descarga súbitamente.

18. *El choque por retroceso* se explica del modo siguiente: cuando se descarga el origen, cesa la influencia de su electricidad, que atraía hacia sí la contraria del cuerpo, repelía la del mismo nombre y producía la separación de ambas, por cuya razón quedan libres de dicha influencia y, obedeciendo á su mútua atracción, se recomponen.

19. *La electricidad*, según se comprende por sus efectos, no es, como la impenetrabilidad, un principio esencial á la materia de los cuerpos, así como tampoco lo son el calor, luz y magnetismo; pero influye tanto en el equilibrio molecular de los mismos, que produce sus descomposición y recomposición, así como, por el contrario, todo desarreglo molecular es generalmente origen de algún desenvolvimiento de ella.

20. *Se dice que la electricidad libre* desenvuelta en la superficie de los cuerpos es retenida sobre ésta por la presión del aire seco, porque cuanto más se rarifica éste, se puede observar, como se verifica en el experimento del huevo filosófico, la mayor facilidad con que las electricidades contrarias se separan de las superficies, en que se hallan distribuidas, para neutralizarse; lo que prueba que la presión del aire sobre las superficies ó sea el estado del éter interpuesto entre sus móleculas, es una fuerza ó factor que juega en el sistema de los que producen el equilibrio ó quietud de la electricidad desenvuelta; mas no por esto se ha de creer que la retención de la electricidad libre sobre las superficies es debida solamente á la presión del aire, pues que los cuerpos en el vacio ó espacio intermedio ocupado ya solamente por el éter, conservan por mucho tiempo su electricidad libre. Lo dicho se entiende respecto del aire seco, pues si está húmedo, entonces no sucede lo mismo, porque se hace buen conductor y facilita más la descarga eléctrica, de tal suerte que, si está muy húmedo, equivale á comunicar los cuerpos con el depósito comun, en cuyo caso se descargan todos los que están electrizados, y el que se halla en estado natural no se puede electrizar.

21. *Todo cuerpo electrizado*, cualquiera que sea el nombre de

su electricidad, ejerce siempre atracción sobre el péndulo elèctrico en estado natural, porque, suponiéndole aislado, al presentarse el primero al segundo lo influencia, descompone la electricidad neutra, atrae sobre el hemisferio del péndulo más próximo á sí la de nombre contrario al suyo y rechaza al hemisferio opuesto la de su mismo nombre: en esta disposición, como la distancia entre la electricidad del origen, ó cuerpo electrizado, y la contraria del péndulo es menor que la existente entre la de dicho origen y la del nombre de éste en aquél, la atracción mutua de las primeras es mayor que la repulsión entre las segundas y el péndulo resulta sometido á dos fuerzas desiguales y de sentido contrario, que tienden, la mayor, á llevarlo hacia el origen y, la menor, á separarlo del mismo, como es fácil representar con la figura correspondiente: en tal estado, debiendo seguir el péndulo la resultante de aquellas dos fuerzas, que es la diferencia de las mismas y obra en el sentido de la mayor, resulta impulsado hacia el origen y se mueve con más ó con menos velocidad hasta llegar á tocar á aquél, esto es. efectuándose la atracción entre el péndulo y el origen.

Llegado este caso y puestas en contacto la electricidad del origen con su contraria la del péndulo, ésta se neutraliza con una parte de aquélla; con la que posee del mismo nombre que la del origen y la que toma de la restante del mismo, queda completamente cargado de la de dicho origen, y se produce la repulsión de las electricidades de igual nombre, por cuya razón el péndulo es rechazado un momento después de su atracción.

En este acto, si el péndulo toca en la varilla conductriz del sustentáculo, se descarga, vuelve al estado natural para repetirse todo lo explicado si se le vuelve á presentar el mismo ú otro cuerpo electrizado; mas si no toca á dicha varilla, como está aislado, conserva su electricidad, y si se le aproxima el mismo cuerpo de antes ú otro cargado de fluido de igual nombre, en vez de haber nueva atracción, resulta repulsión.

Si el péndulo no está aislado, sino en comunicación con el depósito común, como cuando está suspendido de un hilo de lino, en tal caso, al presentarle el origen, todo sucede según lo explicado anteriormente, pero la electricidad de igual nombre que la del origen, rechazada al hemisferio más distante del mismo, se descarga, resultando el todo con electricidad contraria al origen, y, por lo que la atracción se efectúa con más rapidez y energía. En este instante el péndulo se une al ori-

gen para continuar adherido á él por más ó menos tiempo,lo que se explica con facilidad del modo siguiente: al ser atraído el péndulo y ponerse en contacto con el origen, la electricidad de éste neutraliza la contraria de aquél para dejarla en estado natural; pero mediante la comunicación con el suelo, la electricidad restante del origen sigue atrayendo hacia sí electricidad contraria del péndulo y una y otra vez rechazando la de igual nombre del mismo, para repetir la atracción más ó menos lentamente, y por eso el péndulo continúa adherido al origen, sin ser rechazado inmediatamente como en el caso de estar aislado.

22. *Al electrizar un cuerpo*, ó cargarlo de electricidad libre, ésta se fija solamente sobre la superficie sin penetrar al interior, y resulta distribuída proporcionalmente á la superficie. Así es que la misma carga recibe una esfera hueca que otra maciza igual.

23. *Aunque la electricidad* se distribuye en la superficie de los cuerpos, no siempre es con igualdad en todos sus puntos, pues según es su forma, así se aglomera más en unos que en otros y, por lo mismo, resulta en ellos mayor ó menor tensión, según los casos siguientes:

En las esferas la distribución es uniforme.

En los cilindros y prismas crece hacia sus extremidades.

En los elipsoides de revolución las tensiones hacia los extremos de sus ejes crecen proporcionalmente á las longitudes de éstos.

En los conos la tensión eléctrica está en su máximun en el vértice.

En los cuerpos terminados en puntas la tensión es tanto mayor hacia ellas, cuanto más agudas son; de donde resulta que las puntas en los conductores ó cuerpos electrizados facilitan notablementos su descarga.

Por esta razón es imposible cargar las máquinas eléctricas, si todos sus extremos y enlaces no están redondeados, ó, aun en el caso de estarlo, si se atornilla en los conductores una varilla terminada en punta.

24. *La propiedad que poseen* las puntas de facilitar la salida y escape por ellas á la electricidad, se comprende consiste en la gran acumulación de electricidad libre y tensión que resulta en sus vértices y la poca presión del aire insistente sobre el mismo punto.

25. *Se da el nombre de reacción* de salida de la electricidad libre, al fenómeno que, en la de la misma por las puntas, se observa semejantemente al conocido con el nombre de reacción de salida de los líquidos: se presenta experimentalmente con el molinete eléctrico.

Este es un pequeño aparato compuesto de dos alambres de latón, cruzados en ángulo recto y en disposición de ser sostenidos, por su punto de intersección, sobre un estilete atornillado á uno de los conductores de la máquina: sus extremos están terminados en punta aguda y doblados en ángulo recto y sentidos opuestos, como sucede con el molinete hidráulico. Se explica por su medio la reacción, del modo siguiente: electrizada la máquina, lo queda igualmente el molinete y éste gira circularmente por efecto de los dos pares de fuerzas, que, respectivamente y á cada instante, resultan en cada alambre por la repulsión que el aire electrizado del mismo nombre causa en sus puntas.

LECCIÓN LXXXIX.

Máquinas eléctricas, especialmente la de Ramsden.—Conocimiento del electróforo.—Id. de los electroscopios y electrómetros.—Experimentos de la danza, campanario y granizo electricos.

I.

1.ª *Máquinas eléctricas* son mecanismos destinados á producir por frotación é inducción un desenvolvimiento continuo y más ó menos abundante de electricidad estática.

2.ª *Las máquinas eléctricas* se pueden construir de muy diferentes formas; pero prescindiendo de la primera ideada por Otto de Guericke, reducida á un globo de azufre fundido, en disposición de poder hacerlo girar, y de sus modificaciones sucesivas hasta 1766 en que se adoptó el disco de vidrio, todas se pueden reducir á tres clases: unas que producen la electricidad por el frotamiento de discos ó cilindros de vidrio contra almohadillas convenientemente dispuestas, otras llamadas hidro-eléctricas, ó máquinas eléctricas de vapor, y las más modernas que se suelen denominar de inducción.

Siendo tan varia la forma y disposición de las diferentes máquinas eléctricas que se han podido y se pueden usar con más ó menos ventaja según los casos, é imposible detenerse en su descripción y explicación, fácil de comprender con cada cual á la vista y sabida bien la teoría de

la electricidad por influencia, basta indicar además de las de Ramsden, la de Van-Marun, para dar electricidad positiva ó la negativa según convenga; la de Naire, que surte á la vez de positiva y de negativa, y la de Astrong de gran potencia, pero de no fácil uso por ser necesaria una caldera de vapor, en forma y condiciones convenientes para que á su salida y arrastre de vesículas de agua, por el frotamiento de éstas se efectúe el desenvolvimiento de electricidad positiva, con que resulta cargado el correspondiente conductor. De todas ellas, la que más conviene dar á conocer es la de Ramsden, que da la electricidad positiva sobre los conductores, por ser la de que más principalmente se dispone; y de las de inducción, si bien se han sucedido la de Holtz y la de Bertch, la de Scheiben y la de Tœpler, la más interesante y llamada á ser de uso general es la de Carre, que da las dos electricidades y se puede comprender bien, explicada á su vista.

3.ª *La máquina de Ramsden* consta esencialmente de un disco de vidrio, de dos pares de almohadillas por entre las que aquél pasa frotando; de los conductores y peines que se electrizan, y de los aisladores sobre que aquéllos insisten, colocado todo de modo que, al girar y frotar el disco contra las almohadillas, resultan electrizados los conductores.

La disposición del todo es la siguiente: sobre una mesa rectangular de poca altura, hacia el medio de uno de sus lados menores, se levantan perpendicularmente á ella dos montantes paralelos, de forma conveniente, entre los cuales se coloca el disco de vidrio atravesado en su centro, perpendicularmente á sus caras, por un eje á uno de cuyos extremos, que se apoyan respectivamente en los dos montantes, se une un manubrio para hacerlo girar: entre los dos montantes y las dos caras del disco están los dos pares de almohadillas de cuero rellenas de crin y recubiertas de una capa de oro musivo, ó de una amalgama de zinc, bismuto y estaño contra las cuales frota el disco en el sentido de su diámetro vertical cuando gira; frente del antedicho disco, perpendicularmente al mismo y á la altura de su diámetro horizontal, hay dos cilindros de latón huecos, llamados conductores, terminados en esferas, paralelos y sostenidos cada cual por dos pies cilíndricos de vidrio denominados aisladores. Las esferas de los extremos de los conductores más distantes del disco, se enlazan por un tercer tubo de menos diámetro que el de aquéllos; cada una de las de los extremos más próximos á dicho disco sostiene un tubo de poco diámetro, encorvado de manera que rodea al disco en el sentido del correspondiente radio del diámetro horizontal: dichos tubos, que suelen llamarse peines, llevan en su parte cóncava ó interior tres puntas metálicas en cada lado, perpendiculares á éste, cuyos vértices resultan próximos á la cara del disco con quien se corresponden, terminando, por último, los extremos de cada uno de los

dos peines en dos esferas de vidrio, que como aisladores impiden el escape por ellos de la electricidad de los conductores.

El tubo que enlaza los dos conductores y que puede girar sobre su eje, lleva perpendicularmente al mismo otro de menor diámetro y poca longitud, terminado en esfera tambien, y sirve para asirse de él los que se electrizan ó para suspender al mismo, moviéndolo convenientemente, los aparatos y objetos que se quieran electrizar y someter á la influencia de la máquina.

Las almohadillas se hallan en comunicación con el depósito común por medio de una cadenilla ó varilla metálica, que enlazada con ellas llega hasta el suelo, ó simplemente por la madera del montante y de la mesa.

4.ª *El disco de vidrio* en la máquina de Ramsden sirve para desenvolver su electricidad neutra y tomar la positiva al frotar contra las almohadillas, que adquieren la negativa y se descargan sucesivamente por su comunicación con el suelo; los pies que aislan para que los conductores, al ser electrizados por influencia, conserven la electricidad rechazada hacia ellos; las puntas de los peines para facilitar la salida de la negativa, atraída hacia ellas por la influencia de la positiva próxima del vidrio, y las esferas, anillos, casquetes y todas las partes redondeadas para evitar el escape de electricidad, que, como por puntas, se efectuaría en todos los vértices ó bordes cortantes si no se redondeasen.

5.ª *La carga de la máquina de Ramsden* se explica del modo siguiente: al girar el disco, éste toma y conserva la electricidad positiva y las almohadillas la negativa, de que se descargan sucesivamente por su comunicación con el depósito común; al pasar los elementos del disco con la electricidad positiva por frente á los peines, electriza á éstos y á los conductores por influencia, atrae hacia las puntas de aquéllos la electricidad contraria, esto es, la negativa, y rechaza sobre los conductores la del mismo nombre, ó sea la positiva. De esta manera, y á causa de la corta distancia entre las puntas y la cara próxima del vidrio, las electricidades contrarias se recomponen y los antedichos elementos del disco quedan en estado natural, para ir á electrizarse otra vez al pasar por entre las otras dos almohadillas, con lo que reproduciéndose iguales hechos, se electriza á su vez el otro conductor; y como lo que hace cada cuadrante al pasar por las almohadillas superiores, lo ejecuta igualmente el opuesto al pasar por las inferiores, mien-

tras el uno pasa por un peine, el opuesto pasa igualmente por el otro, y de aquí que la electrización de los dos conductores es simultánea y contínua; por cuya razon, siguiendo la rotación del disco, resulta sostenida y constante la carga de los conductores: carga que no se puede hacer tan grande como se quiera, cual parece debería suceder continuando la rotación del disco, sino que, por más sostenida y veloz que sea la marcha de éste, no puede pasar de cierto límite.

La carga de los conductores de la máquina eléctrica es limitada, porque al llegar á cierta tensión la electricidad positiva acumulada en los conductores, y ejercer recíprocamente su influencia sobre el vidrio y puntos de ellos mismos inmediatos á los que poseen la electricidad positiva libre, con su atracción sobre los elementos negativos y repulsión de los positivos, que hallándose combinados constituyen el estado neutro, se forma sobre cada punto del cilindro y sobre cada elemento de los que sobre ellos se hallan neutralizados, un sistema más ó menos complicado de fuerzas, que se contrarrestan; en cuya consecuencia no pudiendose alterar el estado de equilibrio de dichos elementos, cesa toda descomposición y no es posible que aumente la intensidad de la carga.

6.ª *Para que una máquina eléctrica* adquiera su máximun de carga, no se necesita dar gran número de vueltas al disco; pues si está bien dispuesta, seca y perfectamente aislada, á las dos ó tres vueltas queda cargada por completo.

7.ª *Se necesita sostener* la rotación del disco de la máquina eléctrica, no para aumentar su carga más y más, pues esto sería inútil, alcanzado su máximun á las dos ó tres vueltas; sino porque de esta manera se conserva la misma potencia ó tensión, no obstante la que se consume en los experimentos y la que se pierde por el contacto del aire y hasta de los mismos aisladores, por perfectos que sean, compensándose así las pérdidas con los sucesivos desarrollos que produce la continuidad de la rotación del disco.

8.ª *La máquina eléctrica* se carga poco ó nada en días húmedos, porque siendo entonces el aire mejor conductor que cuando está seco, se establece comunicación más ó menos fácil con el suelo y cuerpos de alrededor. Lo mismo sucede en habitaciones cerradas donde hay mucha gente, porque siendo mucho el vapor

de agua que producen con su respiración, se sobrecarga el aire y se hace también buen conductor.

Aunque el aire de una habitación esté seco y la máquina eléctrica bien aislada, podrá suceder que ésta no funcione bien si aquélla está cerrada y el aire en perfecto equilibrio, pero abriendo las puertas ó ventanas, para que circule el aire, se carga bien al instante.

Esto consiste en que los cuerpos malos conductores no se cargan de la electricidad de los cuerpos electrizados, sino después de estar algún tiempo en contacto con éstos; razón por la cual si la habitación donde se opera con la máquina está cerrada, el aire se hallará en reposo, y sus moléculas en contacto con los conductores tendrán tiempo de cargarse; en cuyo caso por la repulsión que resultará, se alejarán de su sitio cediendo éste á otras, que á su vez harán otro tanto, equivaliendo como á establecer una comunicación para descargarla: lo que no se efectúa en el caso contrario, porque circulando el aire seco, sus moléculas al tocar en los conductores no conservan su contacto tiempo suficiente para tomarles electricidad.

9.ª *En días húmedos* se necesita poner braseros ú hornillos con fuego alrededor de la máquina y calentar los aparatos, como las esferas y conductores aislados, las botellas de Leyden y las baterías, para que dilatándose el vapor del aire se ponga éste seco, así como desprendiéndose del interior y del contacto con las paredes de dichos aparatos, queden éstos bien secos á fin de que resulten completamente aislados.

10. *La máquina eléctrica* no se puede cargar cuando resultan sus conductores en contacto con cualquier cuerpo conductor, porque, dejando de estar completamente aislada, escapa al depósito común la electricidad que recibe en cada instante.

11. *Electróforo* de Volta es un aparato destinado á producir electricidad por frotamiento. Consta de una caja cilíndrica de poca altura y rellena de una torta resinosa, la cual se cubre con un disco de madera forrado de papel de estaño y que se puede quitar y poner sobre aquélla por medio de un mango aislador de vidrio fijo en su centro.

La masa resinosa se puede formar de varias maneras. La más sencilla es la de llenar la caja con pez, cera y resina mezcladas y fundidas. Entre otras se usa muy generalmente la mezcla siguiente: colofonia, 250 gramos; trementina de Venecia, 60; goma laca, 500; cebo, 15. En vez de la masa resinosa se emplea también una lámina de ebonita, esto es, de cautchut endurecido, que sólo se diferencia del vulcanizado en su mayor cantidad de azufre.

12. *Para cargar el electróforo* se seca bien todo el aparato, calentándolo al sol ó al fuego, y se frota y golpea fuertemente la torta resinosa con una piel de gato ó una cola de zorra, con lo que se electriza negativamente. En esta disposición se cubre con el disco, se toca á éste por su cara superior con el dedo separándolo enseguida, y asiendo aquél por el mango, se levanta; con lo que resulta cargado de electricidad positiva: en este estado, si se presenta al péndulo eléctrico, lo atrae fuertemente, y si se le presentan los nudillos de los dedos, salta una chispa.

La carga del disco se efectúa del modo siguiente: la electricidad negativa de la resina por su influencia altera el estado eléctrico neutro del disco, atrae hacia su cara más próxima la positiva y rechaza á la otra la negativa, la cual pasa al depósito común al ser tocado el disco con el dedo, quedando así cargado de positiva, que se extiende por todo él al separarlo de la torta resinosa.

Su empleo es hoy muy reducido, generalizadas las máquinas eléctricas, pero se usó y aun puede convenir, en ciertos casos, para cargar la botella de Leyden y dar con ésta una chispa á fin de hacer detonar en los eudiómetros mezclas gaseosas, como la detonante, para la síntesis del agua, y otras semejantes.

II.

13. *Electroscopios* son pequeños aparatos que sirven para reconocer si un cuerpo se halla electrizado y determinar en su caso el signo de la electricidad que posee.

Los principales, sin contar con el más moderno de torsión y reflexión inventado por W. Thomson y perfeccionado por Brauly, en atención á su complicación y delicadeza, son: el péndulo eléctrico aislado, que es el más sencillo de todos, y el llamado de pan de oro.

14. *El electroscopio* de pan de oro consiste en una pequeña campana de vidrio, con cuello corto, la cual se apoya por su base sobre un platillo metálico, teniendo cerrado su cuello por un corcho recubierto de un barniz aislador que se extiende sobre el tercio superior de la campana; al través del corcho pasa una varilla, que por su extremo exterior termina en una pequeña esfera del mismo metal, y por el interior en una punta aplanada, de cuyas caras penden dos tiritas de pan de oro.

15. *Para reconocer* con el electroscopio de pan de oro si un cuerpo se halla electrizado, basta apróximarlo á la esferita del aparato; pues si lo está, inmediatamente se repelen entre sí las tiritas del pan de oro y forman ángulo de más ó menos abertura.

16. *Para reconocer* con el electroscopio de pan de oro el signo de la electricidad de un cuerpo electrizado, sin que éste pierda la electricidad, se acerca á su esferita, con lo cual las tiritas de pan de oro se separan: en esta disposición se toca la esferita con un dedo y las laminitas se vuelven á unir; pero quitando el dedo y alejando el cuerpo, vuelven á separarse aquéllas y quedan cargadas de electricidad de nombre contrario á la del cuerpo, en cuyo caso se aproxima un cilindro de vidrio ó de lacre electrizados hasta que uno de ellos aumente la divergencia de las láminas. Si esto sucede al presentar el cilindro de vidrio, que lleva electricidad positiva, la de aquéllas y, por consiguiente, la del cuerpo en cuestión será negativa, y positiva si sucede al aproximar el cilindro de lacre: resultados que son fáciles de explicar por la teoría de la electricidad por influencia.

17. *Se suele dar el nombre* de electrómetros á los electroscopios que llevan un arco de círculo graduado con el cual se aprecia la mayor ó menor divergencia de las laminitas en el de pan de oro, ó la divergencia del péndulo en el de Henley, y, en su consecuencia, la mayor ó menor carga eléctrica.

18. *El electrómetro de Henley*, denominado también de cuadrante, es un pequeño péndulo eléctrico constituído por un sustentáculo conductor que se atornilla por un extremo á la máquina eléctrica ó batería de igual nombre, y por el opuesto sostiene en la direción del diámetro un semicírculo de marfil convenientemente graduado y atravesado, en su centro, por un eje alrededor del cual puede girar un índice ó varilla delgada, de marfil ó de ballena que termina en una bolita de médula de saúco.

19. *El electrómetro de Henley* se usa para indicar la mayor ó menor carga de la máquina eléctrica, por el mayor ó menor desvío de la aguja del aparato, atornillándolo á uno de los conductores de dicha máquina antes de poner el disco en rotación.

20. *Con la máquina eléctrica*, y fundados en la electrización por influencia, se ha ideado tal multitud de aparatos y ejecutado

tantos experimentos, como sucedió en la época en que se descubrió la pesantez del aire é inventó la máquina neumática, que no es dable reproducirlos todos y sólo, como ejemplo, es conveniente dar á conocer el del campanario ó repique eléctrico, el del granizo eléctrico y el de danza eléctrica.

21. *El campanario eléctrico* es un pequeño aparato, denominado también repique eléctrico por el efecto que produce, compuesto de tres timbres pendientes de una varilla que, en su punto medio y perpendicularmente á la misma, lleva otra en forma de gancho, la cual sirve para suspender el aparato de la máquina eléctrica; dos de dichos timbres penden de los extremos de la varilla por medio de cadenitas metálicas de igual longitud, y el otro del punto medio de la misma por un hilo de seda de igual longitud que las cadenitas, á fin de que los tres resulten sobre un mismo plano horizontal, y por último, entre el timbre del medio y cada uno de los extremos hay pendientes de hilos de seda una esferita metálica equidistante y á igual altura que aquéllos.

22. *El experimento* del repique eléctrico se efectúa suspendiendo el aparato de igual nombre del pequeño tubo que hay en el conductor móvil de la máquina eléctrica, y poniendo el timbre de en medio en comunicación con el depósito común por una cadenita metálica suspendida de un pequeño gancho que aquél lleva en su centro: en tal disposición, tan pronto como se carga la máquina, las esferitas se ponen en movimiento oscilatorio, chocan alternativamente con los timbres entre quienes se encuentran, y producen un verdadero repique y un continuo salto de chispas, que hacen más vistoso el experimento.

23. *El granizo eléctrico* es un experimento que se ejecuta para imitar la caída del verdadero. Se practica con el aparato correspondiente, compuesto de una campana de cristal, con cuello, que se apoya por su base en un disco de metal y lleva en aquél una varilla metálica terminada por su extremo exterior en un anillo, y por el interior en una esfera ó disco del mismo metal, que puede aproximarse ó alejarse del de la base, según convenga.

La manera de efectuar el experimento es la siguiente: sobre el disco en que se apoya la campana se colocan esferitas de médula de saúco, y, puesto aquél en comunicación con el depósito común,

se comunica también el anillo superior de la varilla con la máquina eléctrica: en esta disposición, cuando se carga aquélla, dichas esferitas se agitan fuertemente, subiendo, bajando y rechazándose mútuamente entre los dos platillos.

El experimento del granizo eléctrico, ideado por Volta, tiene por objeto el explicar, según la teoría de dicho físico, la formación del verdadero granizo, mediante la influencia de la electricidad de las nubes.

24. *La danza eléctrica* es un experimento semejante al del granizo, con la diferencia de que en vez de las esferitas de saúco se usan una ó más figuritas de dicha materia, las cuales, subiendo y bajando entre los dos discos metálicos del aparato correspondiente, figuran una danza.

25. *La explicación* del repique, granizo y danza eléctricos es la misma, reducida al juego de la electrización por influencia, como fácilmente se explica al ejecutar los respectivos experimentos.

LECCIÓN XC.

Electricidad acumulada ó latente.—Condensadores.—Excitadores.—Botella de Leyden.—Baterías eléctricas.—Electrómetro condensador de Volta.

1.ª *Electricidad acumulada* es la que resulta retenida en gran cantidad por los platillos ó armaduras de los condensadores, positiva en uno y negativa en otro, cuando cualquiera de ellos se pone en comunicación mediante un origen eléctrico positivo ó negativo.

2.ª *Se suele llamar* electricidad latente ó disimulada, porque influenciándose la positiva y negativa recíprocamente al través de la lámina ó disco aislador de los condensadores, á la vez que se van desenvolviendo, se embargan mútuamente, sin recomponerse, y permanecen casi imperceptibles mientras no se ponen en comunicación por el intermedio de un cuerpo buen conductor.

3.ª *La electricidad acumulada* ó latente se obtiene por medio de los condensadores.

4.ª *Condensadores de la electricidad* son los aparatos que, por su disposición especial, sirven para retener, sobre las superficies metálicas de sus platillos ó armaduras, cantidades mayores que la

que recibiría sola y aislada cada una de dichas superficies comunicando separadamente con el mismo origen eléctrico.

5.ª *Todo condensador* está formado, esencialmente, de dos láminas conductoras separadas por otra no conductriz de poco espesor.

6.ª *Los condensadores*, tanto por su forma y disposición como por la naturaleza de sus armaduras y del cuerpo aislador, se pueden construir de muchas clases, como son: el de tafetán, el de cuadro, el de Æpinus, la botella de Leyden y otros.

7.ª *De éstos* el más propio y sencillo para dar á conocer la electricidad acumulada es el de cuadro; mas para explicar la acumulación y todos los pormenores de la carga y descarga de dichos aparatos, el más perfecto y á propósito es el de lámina de vidrio y platillos de cobre ó latón con péndulos, debido á Æpinus.

8.ª *El condensador de lámina de vidrio* ó de cuadro, *cuadro fulminante*, tiene en lo esencial la disposición siguiente: sobre las caras de una lámina de vidrio se pegan dos hojas de papel de estaño, dejando descubierta una faja de dos á tres centímetros en cada lado y se le coloca en un marco de madera; mas si dicha lámina de vidrio se pone convenientemente en un marco de madera sostenido por un pie aislador, y en vez de las hojas de estaño se disponen dos platillos metálicos, montados también sobre pies aisladores y con un péndulo eléctrico cada uno en comunicación con las caras posteriores de dichos platillos, y en disposición todo ello de poder alejar ó acercar al vidrio los platillos y ponerlos en contacto con las caras de aquél, entonces se tiene el de Æpinus. Se llaman caras anteriores de los platillos ó láminas de los condensadores á las que se apoyan contra el vidrio, y posteriores á las otras que resultan hacia fuera.

9.ª *El condensador de cuadro* se carga poniendo en comunicación con la máquina eléctrica, en actividad, uno de los platillos ó láminas, y el otro con el depósito común.

10. *La acumulación de la electricidad* en los condensadores, suponiendo ser de Ramsden la máquina de donde reciba la electricidad el platillo colector y el condensador el de Æpinus, se puede explicar en lo esencial del modo siguiente: la electricidad positiva de la máquina se extiende en la cara posterior y en la

anterior del platillo con quien comunica, llamado platillo colector, hasta adquirir igual tensión en todos sus puntos y llegar al límite de carga como la máquina: en este caso, la electricidad positiva de la cara anterior del platillo colector ejerce su acción al través de la lámina de vidrio sobre el segundo platillo, lo electriza por influencia y atrae su electricidad negativa á su cara anterior, rechazando la positiva á la posterior y de aquí al depósito común. En tal estado, la electricidad negativa del segundo platillo se embarga y contraría al través del vidrio con parte de la positiva del platillo colector, resultando éste con menor tensión que la máxima que tenía, en cuyo instante recibe nueva cantidad de electricidad positiva de la máquina hasta volver á establecerse en uno y otra el máximun de carga; después se reproducen los mismos hechos, aunque en menor escala, para repetirse otra y más veces hasta que, siendo menor en cada una de éstas la cantidad de electricidad que el platillo colector recibe de la máquina, se llega al límite de la carga del condensador, como es fácil explicar al pormenor, representando gráficamente con la correspondiente figura el juego sucesivo de electrizaciones por su influencia de una á otra de las caras anteriores.

Conseguida la carga, en el tiempo necesario, se suprime la comunicación con la máquina y con el suelo, y el condensador queda cargado con las dos electricidades, en grande cantidad, por sus caras anteriores, aunque sólo indica la presencia de la positiva en la posterior del platillo colector, por la desviación de su péndulo que se separa, no dando señal el del segundo platillo. Esto comprueba lo indicado en la anterior explicación, esto es, que la cara posterior del platillo colector tiene de la electricidad positiva recibida últimamente de la máquina, independiente de las acumuladas en las caras anteriores, y que la posterior del segundo, cuya electricidad desenvuelta va siempre al depósito común, se halla completamente en estado natural, conforme resulta de la misma explicación de la carga del aparato.

11. *Los condensadores se descargan* poniendo en comunicación el extremo de un cuerpo conductor con el segundo platillo y aproximando ó tocando al colector con el otro extremo, pues en el acto se produce una fuerte chispa.

12. *Los condensadores* se pueden descargar de dos modos: rápidamente, poniendo en comunicación los dos platillos por el intermedio de un cuerpo buen conductor, y lentamente.

Para verificar la descarga lentamente se toca repetidas veces con un cuerpo buen conductor á uno y otro platillo, con lo que continúa sacando por largo tiempo una pequeña chispa cada vez que se toca á uno de aquéllos, de tal suerte que, si se opera con el condensador de Æpinus, los péndulos caen y se elevan alternativamente, mostrando la pérdida de electricidad en cada platillo y el exceso que resulta en el contrario.

13. *Se da el nombre de excitadores* á los instrumentos destinados á descargar los condensadores, sin producir incomodidad ni daño á las personas que operan con ellas.

14. *Los excitadores* se pueden reducir á tres clases, que son: el simple ó de charnela, el de mangos de vidrio y el universal.

15. *El excitador simple* ó de charnela, llamado tambien por su forma *compás eléctrico*, se compone de dos varillas metálicas encorvadas, que cual un compás, están articuladas en uno de sus extremos y terminada cada cual por el otro en una esferita: se usa manejándolo con una ó ambas manos, según convenga, aplicando una de las esferitas al platillo ó armadura que le corresponde estar en estado natural y aproximando la otra á la armadura ó platillo colector.

16. *El excitador de mango de vidrio* es el mismo simple, con la sola diferencia de tener sus varillas, llamadas ramas del excitador, más largas que las de aquél, y de estar unida cada una de ellas, hacia la articulación, á una virola de su mismo metal, en en que hay fijo dos mangos de vidrio para que, cogidos ambos con las manos del operador, quede éste aislado y sustraído á la circulación de la electricidad, á fin de evitar la conmoción que podría experimentar al descargar con el simple grandes botellas ó las baterías.

17. *El excitador universal* consiste en un pequeño tablero rectangular, que sostiene perpendicularmente á su cara superior dos pies de vidrio, como aisladores, para servir de apoyo respectivamente á dos virolas de latón, con cada una de las las cuales se articula un tubo del mismo metal, que da paso á una varilla de igual materia, terminada en esfera por una extremidad y con un anillo por la otra, en disposición de poder mover las dos varillas y acercar sus esferas lo que se quiera: entre los dos pies de vidrio hay fijo un pequeño sustentáculo de candelero para co-

locar en su meseta el objeto sobre que se quiera operar al acercar las esferas de las ramas del aparato, por cuya razón dicho sustentáculo se denomina porta-objetos. Se usa colocando sobre éste el cuerpo que se haya de someter á la descarga, y aproximando las esferas ó enlazándolas con los objetos, hilos ó alambres que se hayan de enrojecer ó fundir; en cuya disposición, y ligando préviamente el anillo de una de las ramas á la armadura exterior de la botella ó batería que se emplee, se pone en comunicación el anillo de la otra rama con la armadura interior en el instante que se quiera producir la descarga.

18. *La botella de Leyden* es el condensador de más cómodo manejo y cuyo cuerpo mal conductor está constituído por una botella ó frasco de vidrio de boca estrecha.

Es el primero que se inventó en vista del fenómeno experimentado en Leyden, hacia el año 1745, por Cuneus, discípulo de Musschembroeck, estando operando con una botella llena de agua para electrizar á ésta. La disposición que se le da actualmente fue ideada después, en 1746, por Bevis y Watson, constituyendo un verdadero aparato, que aumentó la curiosidad y afición al estudio de la electricidad, multiplicando el número de experimentadores y contribuyendo al rápido progreso de esta parte de Física, cuyos resultados, en menos de un siglo, tanto exceden á los obtenidos en los siglos anteriores.

19. *La botella de Leyden* se compone de un frasco de vidrio delgado y de boca extrecha, cuyo tamaño puede ser grande ó pequeño, según se quiera; su interior se llena de hojuelas de pan de oro ó de lámina de estaño, y por su exterior se forra de ésta hasta unos dos tercios de su altura; en su cuello lleva un tapón de corcho á través del cual pasa una varilla de latón terminada en punta por un extremo, que llega hasta cerca del fondo, y por el otro se encorva en forma de gancho terminando en esfera: últimamente, el tapón, cuello y parte superior de la botella se hallan recubiertos de un barniz aislador, para evitar que la electricidad de la armadura interior se pueda extender por la superficie externa del vidrio y llegar á recomponerse con la contraria de la armadura exterior.

20. *Armaduras de las botellas*, bocales tarros y baterías son las superficies metálicas separadas por el vidrio de las vasijas con que aquéllas se forman.

La armadura interior de una botella, tarro ó batería es la parte metálica y varilla que van dentro de dichas vasijas, y la armadura exterior es una lámina metálica que recubre, hasta unos dos tercios de su altura, la superficie externa de la botella.

21. *La botella de Leyden* se carga cogiéndola con la mano por su armadura exterior y aproximándola ó tocando con la esferita ó botón de la interior á la máquina eléctrica el tiempo suficiente, esto es, el que trascurre hasta que el péndulo del electrómetro de cuadrante, colocado en aquélla, empieza á desviarse.

Para descargarla se procede del modo siguiente: efectuada su carga, se deja sobre un sustentáculo ó banquillo aislador, se apoya una de las ramas de un excitador en la armadura externa y se aproxima la otra al botón de la varilla de la armadura interior: si se hace uso del excitador universal, ó se trata de ciertos experimentos como el de inflamar el éter, etc., se opera análogamente.

22. *Cuando la botella* se carga con la máquina ordinaria, la electricidad positiva resulta en la armadura interior y la negativa en la exterior, en la forma indicada al explicar la carga de los condensadores. También se puede cargar con la electricidad negativa en su armadura interior y la positiva en la exterior, aproximando ésta á la máquina y teniendo la botella con la mano por el gancho de la armadura interior.

23. *Se demuestra* que la acumulación de la electricidad en las caras anteriores de los platillos y armaduras de los condensadores reside como adherida á las caras del vidrio, ya con el mismo condensador de Æpinus, ú otro semejante más sencillo, ó bien con la botella de armaduras móviles.

Ésta se compone de un tronco de cono, de lata ó latón, abierto por su base mayor, como armadura exterior; de otro de igual materia, forma y altura, con bases de un radio algo menor, cerrado también por la mayor ó superior con una cubierta convexa, que sostiene la varilla con el gancho que la termina, y cuyo todo constituye la armadura interior; y, por último, de otro tronco de cono de vidrio, abierto por su base mayor, de altura algo superior que la de los anteriores, y de tamaño tal que se puede colocar dentro de la armadura exterior y dar cabida dentro de sí á la interior,

separando una de otra, en cuya disposición resulta armada para poderla cargar.

24. *Para demostrar* que las electricidades acumuladas en las armaduras de las botellas resultan como adheridas á las caras del vidrio, cargada la de armaduras móviles, se coloca sobre el sustentáculo aislado que hay para ello y se opera del modo siguiente: con una varilla de vidrio, terminada en gancho, para no sufrir conmoción, se saca de su sitio la armadura interior, y se ve que no lleva electricidad, ó cuando más sólo una pequeña cantidad de que se descarga tocándola con la mano ó dejandola sobre la mesa; á seguida se coge por sus bordes el vaso de vidrio intermedio y se practica con la segunda armadura lo mismo que con la primera. En esta disposición, si se vuelve á armar la botella, se puede descargar sacando una chispa, aunque sea algo menor que si se hubiera efectuado la descarga antes de haber ejecutado la indicada operación; lo que prueba que las electricidades permanecen sobre las caras del vidrio, sin lo cual no se concibe tal resultado.

25. *Distancia explosiva de la botella de Leyden* es la mayor á que se puede alejar la rama del excitador sin que deje de poder saltar la chispa: se mide con el aparatito destinado al objeto.

26. *Cuando se descargan las botellas* y baterías rápidamente, no quedan neutralizadas en totalidad las electricidades de las armaduras, y por lo mismo no se deben tocar por la interior, porque es posible sufrir una segunda y repetida descarga, aunque sea cada vez menor.

27. *La batería eléctrica* es un conjunto de bocales, enlazados entre sí y formando un todo con la caja en que se colocan.

28. *Bocales tarros* son frascos más ó menos grandes, de boca ancha y con armaduras semejantes á las de una botella.

Están dispuestos de modo que la armadura interior es un forro de lámina de estaño, y la varilla que atraviesa al tapón de corcho sostiene en su extremo inferior otra ramificada, que toca en varios puntos á la armadura interna, para comunicar con ella, terminando por el el otro en esfera.

29. *La batería eléctrica* se forma con una caja forrada de lámina de estaño, por dentro, con dos ó más tablillas cruzadas, que

forman 4, 6 ó más compartimientos en donde se colocan otros tantos bocales tarros; las armaduras exteriores de éstos se reducen á una sola, que constituye la interior, ligando sus esferas con una mayor y central por medio de varillas de latón como la de los tarros; formando la exterior la superficie total de las externas y el forro de la caja con quien están en contacto: se carga y se descarga semejantemente que las botellas de Leyden.

30. *El electrómetro condensador de Volta* es el mismo electroscopio de pan de oro, que, en vez de terminar en esfera, sostiene un condensador, que lo hace más sensible.

Su disposición es la siguiente: la varilla del electroscopio que sostiene las laminitas de pan de oro, en vez de la esferita en que termina por el extremo superior, lleva un disco metálico sobre el cual se coloca otro igual con un mango aislador de vidrio, haciendo de lámina aislatriz dos capas de barniz de goma laca con que se recubren las caras anteriores de los dos platillos.

Se usa poniendo en contacto con el platillo superior el cuerpo cuya electricidad se quiere reconocer; á la vez se toca con el dedo mojado el platillo inferior, y después se separa el cuerpo y el dedo de los respectivos platillos. Con esta sola operación, queda cargado el condensador más ó ménos, en la misma forma y disposición que el de Æpinus ú otro cualquiera, por cuya razón el platillo superior tendrá electricidad de la del cuerpo y el inferior la de nombre contrario, aun cuando las laminitas del electroscopio no dan señal alguna de electrización, porque de pronto la cara posterior del platillo inferior se halla en estado natural, como se explicó al tratar de la carga del condensador. En este estado, se quita el platillo superior, asiéndolo por el mango aislador, é inmediatamente divergen las antedichas laminitas, formando un ángulo más ó menos perceptible, según la cantidad de electricidad del cuerpo con que se haya operado: pues al levantar aquél con su lámina de barniz, se retira con el mismo la electricidad que le comunicó el cuerpo, por cuya razón la acumulada y embargada entre la cara anterior y capa de barniz del platillo inferior al obrar por influencia la del superior, se extiende por todo él hasta llegar á las laminitas. De esta manera, examinando el signo de la electricidad de que resulta cargado el aparato, la cual es de nombre contrario á la del cuerpo, nos dirá el de la de éste.

LECCIÓN XCI.

Efectos de la chispa eléctrica, su clasificación y enumeración.—Explicación y experimentos de cada uno de ellos.

1.ª *Siempre que se componen* electricidades de nombre contrario resulta lo que se llama *descarga eléctrica* y se produce, en mayor ó menor escala, un destello de luz acompañado de un chasquido más ó menos perceptible, esto es, *la chispa eléctrica*, y con ésta variados fenómenos que se denominan *efectos de la chispa eléctrica* y clasifican dividiéndolos en *efectos fisiológicos, físicos y químicos.*

2.ª *Los efectos fisiológicos* de la chispa eléctrica son los que ésta produce sobre los seres vivos.

3.ª *Los efectos físicos* de la chispa eléctrica son todos los que hace experimentar á los cuerpos inertes sin alterar su composición.

4.ª *Los efectos químicos* de la chispa eléctrica son las alteraciones que ésta produce en la materia de los cuerpos, alterando la naturaleza de la primera ó la composición de los segundos.

5.ª *Los efectos fisiológicos* de la chispa eléctrica que se pueden citar desde luego como notables y conocidos, son: las sensaciones que se experimentan al sacar la chispa de los conductores de las máquinas eléctricas; al tocar con una mano la armadura interior de una botella cargada; al descargarla poniendo una mano en la armadura exterior y la otra en la interior, y el experimento de la cadena.

La conmoción que el hombre y cualquiera animal puede sufrir al descargar por su intermedio una botella de Leyden es siempre desagradable, pero puede llegar á ser más ó menos perjudicial á medida que es mayor la extensión de las superficies de las armaduras: así es que Musschenbroeck, al dar noticia á Réaumur del fenómeno fundamental de la invención de la botella, le decía en su carta que no consentiría en recibir otra conmoción aunque le diesen la corona de Francia.

6.ª *El experimento de la cadena eléctrica* se practica enlazándose, como para formar círculo, las personas que lo deseen, dando cada una sus manos á las dos inmediatas y tomando la pri-

mera con la mano que le queda libre, la armadura exterior de una botella cargada. En esta disposición, el individuo que termina la cadena y resulta cerca del primero, aproxima al botón de la armadura interior de la botella los nudillos de la mano que tiene libre, y en el instante experimentan todos una conmoción igual, con raras excepciones; si bien parece que los más próximos á las armaduras de la botella sienten la conmoción algo más que los que están en medio de la cadena.

Se procuró aplicar el efecto fisiológico de la electricidad estática á la terapéutica, desde que el estudio de aquélla empezó á ser efectivo, porque alterándose por la electrización el calor y pulso de las personas que la sufren un tiempo prolongado, se comprendió podrían combatirse ciertos padecimientos, como la parálisis y otros; y en efecto se obtuvieron resultados inequívocos de que así como puede dañar en cierto grado y circunstancias, también puede producir efectos benéficos, como sucede algunas veces en las personas heridas ó influenciadas por el rayo.

El empleo de la electricidad estática en terapéutica, aunque no dió seguros ni grandes resultados, ya porque no era tan fácil su aplicación como lo es hoy la dinámica, ya porque se quiso aplicar quizá á más enfermedades de las que fuera debido, como sucede con medicamentos desacreditados tal vez por igual razón, ya en fin por la falta de datos en Medicina para el planteo y resolución del problema, no por eso se debe considerar inútil ó ineficaz, porque, desde la primera y notable cura, empezada por M. Fallabert en Diciembre de 1747 y continuada hasta fines de Febrero de 1748, no se dejaron de obtener otras notables; y porque, posteriormente, desde que se usa la electricidad dinámica ó por corrientes, se va haciendo más amplia y fácil su aplicación: la que podrá llegar á ser problema determinado, cuando la Medicina recoja datos suficientes y encuentre sus verdaderas relaciones para plantear aquél debidamente.

7.ª *Los efectos físicos* se puede subdividir en caloríficos, luminosos, magnéticos y mecánicos.

8.ª *De los efectos caloríficos* se pueden citar el enrojecimiento de hilos metálicos y la inflamación del alcohol ó del éter por medio de la chispa de la botella y de las baterías.

Para enrojecer un hilo metálico se le enlaza con las esferitas del excitador universal, y al descargar con éste una batería, aquél se enrojece según su naturaleza y diámetro y la mayor ó menor potencia de dicha batería.

Para inflamar el éter, se le echa en un vasito metálico y, puesto éste en comunicación con la máquina, se aproxima al líquido el dedo, ó un cuerpo buen conductor, con lo que al saltar la chispa se inflama aquél.

9.ª *Como ejemplo de efectos luminosos*, además de las chispas de las máquinas, botellas y baterías, se pueden citar los experimentos del cuadro, tubo y botella fulminantes ó centellantes, y los de la luz eléctrica en el vacío obtenida con el huevo filosófico, ó con la campana de piezas metálicas que para ello suele haber en los gabinetes.

10. *El cuadro fulminante* ó resplandeciente se reduce á una lámina de vidrio ordinario sobre la cual se pega una tira estrecha de lámina de estaño, replegándose paralelamente á sí misma un número considerable de veces, y en la cual se hacen cortes muy finos en disposición de que por la multitud de las soluciones de continuidad venga á resultar un dibujo dado. Dicha lámina de vidrio se sostiene por sus lados mayores entre dos apoyos verticales, de modo que uno de los extremos de la tira de estaño toque á una esfera de latón en que descansa y que á su vez se apoya sobre un pie de igual materia, el cual sostiene á todo el aparato y sirve de comunicación con el depósito común: por último, la base superior de la lámina de vidrio entra en una hendidura de otra esferita, como la inferior, que, en contacto con el otro extremo de la antedicha tira de estaño, sirve para poner el aparato en comunicación con la máquina eléctrica.

El experimento se hace colocando el aparato sobre una mesa ó sustentáculo, no aislado, cerca de la máquina eléctrica, y poniendo la esferita destinada al efecto en comunicación con la misma máquina. En esta disposición y cargada aquélla, mientras continúa electrizada, resulta iluminado el dibujo del aparato por la multitud de chispas que saltan entre las soluciones de continuidad.

11. *El tubo centellante* es un tubo de vidrio en el cual está pegada una serie de pequeños rombos de lámina de estaño, ó de otro metal á propósito, colocados en la dirección de sus diagonales mayores, unos á continuación de otros, dejando entre sí un pequeño intervalo y formando una hélice, que rodea á aquél des-

de una á otra de sus bases, sobre las cuales hay dos virolas metálicas, terminadas una en esfera y la otra en un gancho como el de las botellas, en tal disposición que resultan en contacto con ellas los extremos de la hélice.

El experimento se ejecuta tomando el tubo por la virola terminada en esfera y aproximando la del gancho de la otra á la máquina eléctrica en actividad: con lo que saltando una chispa en el intermedio comprendido entre cada dos rombos, se forma una espiral luminosa cuantas veces se repite la aproximación.

12. *Como efectos magnéticos* podemos citar la desimantación de las brújulas ó cambio de sus polos por las descargas eléctricas, aparte de otros que se obtienen fácil y ostensiblemente por las corrientes.

13. *Como efectos mecánicos* se puede citar la ruptura por la descarga eléctrica y trasporte de los cuerpos malos conductores, así como el poder taladrar con la misma un naipe, una lámina de vidrio, etc. Estos experimentos se ejecutan por medio del excitador universal, colocando, por ejemplo, una lámina de vidrio ó cartulina entre dos puntas que resultan al descubierto en las ramas de aquél, desatornillando las esferas en que terminan: también se pueden ejecutar con un aparatito que hay para ello, llamado taladra cartas.

14. *Entre los efectos químicos* se puede citar como principal, muy notable y más oportuno el de la formación del agua por la inflamación de la mezcla detonante en el pistolete de Volta con la chispa eléctrica.

15. *Se da el nombre* de mezcla detonante á la de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, ó simplemente del hidrógeno con el aire.

16. *El pistolete de Volta* es un frasquito de lata, pintado de azul, generalmente, en cuya superficie lateral lleva un tubito al través del cual se sostiene otro de vidrio que sirve de aislador á una varilla metálica delgada, terminada en una pequeña esfera por el extremo exterior y que por el otro extremo llega cerca de la parte opuesta del frasquito.

17. *El experimento de inflamar* la mezcla detonante, con el pistolete, se hace del modo siguiente: se le carga con dos volúmenes

de hidrógeno y uno de oxígeno y se tapa con un tapón de corcho que ajuste bien; se coge con una mano, dirigiendo el tapón hacia bajo para que al saltar no pueda lastimar, ni chocar sino con el suelo; se aproxima el botón ó esferita exterior al conductor de la máquina ya cargada y, al producirse la chispa, saltando otra entre el extremo interior de la varilla y la pared inmediata, se produce la detonación como de una pequeña arma de fuego; se ve salir una brillante llamarada de luz, y se percibe por la mano una elevación considerable de temperatura en la superficie del pistolete.

18. *El ruido ó detonación del pistolete* consiste en que los gases, atravesados por la chispa, se combinan y forman el agua en vapor, que dilatado notablemente por la elevación de temperatura, aumenta tanto de volumen, y de fuerza elástica por consiguiente, que hace saltar el tapón; con lo cual al salir y verificarse la espansión del vapor, chocando con el aire, se pone éste en vibración, así como á la entrada repentina del mismo al vacío que se produce en el aparato al condensarse el expresado vapor.

19. *Se prueba que el ruido* en la descarga del pistolete procede de la salida del vapor del agua y de la entrada del aire, haciendo el experimento con un pistolete de vidrio. Éste está dispuesto, semejantemente que el de lata, con un globo de vidrio de paredes muy gruesas, en disposición de poderlo cerrar herméticamente con una tapadera de latón, la cual se atornilla á la virola del mismo metal que lleva en su boca; pues de este modo, al efectuar el disparo, se ve producirse luz, y la formación del agua por el vapor que se condensa en la superficie interior del vidrio, pero sin resultar ruido alguno,

20. *Se puede citar también* como fenómeno químico notable la formación del ácido nítrico en el aire, por la combinación de su oxígeno y nitrógeno, mediante la recomposición de las electricidades contrarias de las nubes eléctricas.

21. *Entre los efectos químicos* de la electricidad estática se puede citar también el que produce en el oxígeno una corriente de chispas eléctricas, que se haga lo atraviesen; pues le comunican propiedades físicas y químicas nuevas, las cuales motivaron el que Schœbein creyese haber encontrado un nuevo cuerpo sim-

ple, *el ozono*, voz derivada de la griega que significa *oler*, por el olor que en tal estado adquiere.

22. *Las propiedades* que indujeron á Schœcbein á considerar en el oxígeno el descubrimiento de un cuerpo á que dió el nombre de *ozono*, fueron el olor particular que adquiere cuando se le somete á una corriente ó chispa eléctrica y ciertas modificaciones en sus afinidades, que si bien le constituyen en un verdadero estado de los que en química se denominan *estados alotrópicos*, distinto del ordinario, no altera su naturaleza esencial, por lo que tal nombre sólo significa dicho estado del oxígeno, mas no un cuerpo diferente de él.

LECCIÓN XCII.

Electricidad desenvuelta por la presión.—Id. por el calor.—Id. por las acciones químicas.—Id. por la evaporación.—Id. por la vegetación.

1.ª *Electricidad por presión* se denomina la desenvuelta al comprimir convenientemente ciertos cuerpos. El primero que observó tal desenvolvimiento fué Libes, comprimiendo con un disco metálico, aislado por un mango de vidrio, un trozo de tafetán engomado, con lo que resultó electrizado negativamente el metal y positivamente el tafetán: desenvolvimiento que no se puede atribuir á un rozamiento que se pudiera creer ejecutado al comprimir los discos, porque entonces el metálico debía resultar con electricidad positiva y el tafetán con la negativa, como sucede cuando en vez de comprimir se frota.

2.ª *Haüy demostró* también el desenvolvimiento de la electricidad por presión, comprimiendo ligeramente entre los dedos un cristal de espato de Islandia, que resultó electrizado positivamente: propiedad en que fundó la construcción del electroscopio que lleva su nombre, dispuesto de la manera siguiente: sobre un pie vertical hay una varilla móvil, que tiene en un extremo una virola con un pequeño cristal de espato de Islandia y en el otro un botón para equilibrarlo.

3.ª *El elestroscopio de Haüy* se usa electrizando por la presión el cristal de espato y acercándole otro cuerpo electrizado; pues sa-

biendo que el cristal de espato posee la electricidad positiva, se conocerá la especie de la del cuerpo, según que obre por atracción ó por repulsión.

4.ª *Becquerel dedujo* de sus numerosos experimentos relativos á la electricidad por presión, que las circunstancias más influyentes en su desenvolvimiento son: la conductibilidad de los cuerpos que se emplean en los experimentos, la intensidad de la presión, la velocidad de separación de los cuerpos después de ser comprimidos, la elasticidad y la temperatura.

En efecto, la conductibilidad eléctrica de los cuerpos influye de tal manera en el desenvolvimiento de la electricidad por presión, que la conservan más tiempo á medida que son peores conductores; razón por la cual el espato de Islandia, el topacio, las resinas, etc. adquieren una tensión bastante marcada en la primera compresión, mientras que los metales, después de repetidas veces, sólo dan débiles señales de electricidad libre, y éstas concluirían por ser nulas si la conductibilidad fuese perfecta.

En el desenvolvimiento de la electricidad por presión la cantidad de electricidad libre aumenta con la fuerza de compresión y con la velocidad de separación de los cuerpos después de aquélla; pues siendo dicha fuerza la que mantiene separadas las dos electricidades, si disminuyen éstas vuelven á recomponerse, y si la velocidad de separación fuese nula, lo harían por completo en los buenos conductores, estando más ó menos cerca de verificarse en los de más imperfecta conductibilidad.

La elasticidad influye marcadamente en el desenvolvimiento de la electricidad por presión, cual lo demuestra el que comprimiendo con un disco metálico y aislado ciertos cuerpos, como frutas más ó menos secas, la electricidad desenvuelta es mayor en unos casos que en otros.

La temperatura de los cuerpos que se emplean en los experimentos influye en el desenvolvimiento de la electricidad por presión, favoreciéndolo unas veces y alterando otras los signos de aquélla: dos discos de metal que no se electrizan por la presión si tienen igual temperatura, pasan al estado eléctrico calentando previamente uno de ellos.

5.ª *Además de la acción mecánica* del rozamiento ó presión, se puede electrizar los cuerpos por la esfoliación, la pulverización y las vibraciones, pues la producción de chispas por el choque de los cuerpos duros, y muchos casos de fosforescencia, se pueden atribuir á la recomposición de las dos electricidades desenvueltas por la presión producida en el choque, por el rozamiento ó por ambas cosas á la vez.

6.ª *La acción del calor* por sí sola puede electrizar los cuerpos

de un modo directo, como se hace ver más perceptiblemente en las sustancias cristalizadas y principalmente en la turmalina.

7.ª *La electrización de la turmalina* por la acción del calor se puede demostrar, calentando el fondo metálico de un cilindro de vidrio y suspendiendo en el interior un cristal de turmalina con un pequeño péndulo eléctrico.

8.ª *Al estudiar el desenvolvimiento* de electricidad en las turmalinas por la acción del calor, resulta: que no se electrizan al variar su temperatura un número cualquiera de grados, sino que es necesario que el cambio se efectúe entre 10° y 150°; que algunas no se electrizan, y que otras solamente lo hacen por grandes y repentinos cambios de calor. Además resulta también que permaneciendo estacionaria su temperatura no se electrizan, y que las que se electrizan mejor por la acción del calor son las más gruesas y trasparentes.

9.ª *La electricidad* no se distribuye con igualdad en las turmalinas, sino que crece del medio á los extremos, esto es, que hay una línea neutra y dos polos de nombre contrario, cuya propiedad, denominada *polaridad de la turmalina* las hace asemejarse á los imanes; presentando además otra propiedad, que también las hace parecérseles y es, que los trozos en que se dividen, aunque se lleve la división hasta las partes más pequeñas, pueden adquirir como el cristal entero los dos polos y la línea neutra.

10. *Los polos de las turmalinas* no permanecen constantes en todas las variaciones de su temperatura, sino que, si bien conservan el mismo signo mientras aquélla va en aumento, inmediatamente que empieza á descender, el positivo se convierte en negativo y el negativo en positivo.

11. *Se da el nombre* de polo homólogo de una turmalina al extremo que se electriza positivamente cuando aumenta la temperatura, y el de polo antílogo al extremo que se electriza negativamente.

12. *Las turmalinas presentan* la particularidad de que manteniendo uno de sus estremos á la temperatura constante, si se enfría ó calienta el opuesto, éste se electriza con el mismo signo que adquiriría variando la temperatura en toda la turmalina, sin dar el otro señal alguna de electrización, ofreciendo la circunstancia

de no perder su electricidad aunque se pongan en contacto con los cuerpos conductores.

13. *Es de advertir* que no es solamente la turmalina la que se electriza por el calor, sino que también lo hacen otros cuerpos como el espato de Islandia, el diamante, el azufre, la esmeralda y el cuarzo, y todos aquellos que en sus modificaciones cristalinas no siguen las leyes de simetría.

14. *Las acciones químicas* son un manantial de electricidad, como se demuestra haciendo uso del electrómetro condensador de Volta, de la manera siguiente: póngase el platillo inferior del electrómetro en comunicación con el depósito común, y en el superior una cápsula de platino; prodúzcase en ésta toda clase de acciones y reacciones químicas con los óxidos, ácidos y sales; suprímase después la comunicación con el depósito común, quitando á la vez el platillo superior con la cápsula, y se verá, por su divergencia, que las laminitas del electroscopio resultan electrizadas.

15. *Se demuestra* igualmente que la evaporación es un manantial contínuo y abundante de electricidad, haciendo uso del electrómetro condensador de Volta y operando del modo siguiente: póngase el platillo inferior en comunicación con el depósito común y colóquese en el superior una cápsula con un líquido de donde se desprenda vapor; al poco tiempo quítese la comunicación con el depósito común, levantando á la vez el platillo superior con la cápsula, y se verá que las laminitas del electrómetro se repelen: prueba del desenvolvimiento de electricidad por la evaporación, causa única á quien se puede atribuir. De esta manera, analizando la electricidad del electrómetro, tendremos el signo de la del vapor á causa de ser aquélla contraria á la que toma el líquido, cápsula y platillo superior, que asimismo es contraria á la que lleva el vapor.

16. *De los experimentos* hechos sobre este particular resulta: que el vapor de agua pura no se electriza; que el vapor de agua se electriza solamente cuando la de que procede contiene en disolución álcalis, sales ó ácidos; que el vapor originado por la evaporación de las disoluciones alcalinas resulta electrizado negativamente, y que el procedente de aguas con sales ó ácidos en disolución lleva consigo la electricidad positiva.

17. *La combustión y vegetación* también son, como se demuestra experimentalmente, origen de electricidad, porque no vienen á ser más que un conjunto de acciones y reacciones químicas.

18. *En vista de los diferentes* medios y circunstancias que producen electricidad, se puede decir que todo cambio operado en el arreglo molecular de los cuerpos, los electriza.

LECCIÓN XCIII.

Metéoros eléctricos.—Electricidad atmosférica, su identidad con la de los aparatos eléctricos, su descubrimiento y experimentos con que se demostró, especialmente los de Dalibart, Franklin, Romás y Richmán.—Resultados obtenidos por las experiencias sucesivas respecto de la electricidad atmosférica, tanto en dias despejados como en los nublados y tempestuosos.—Formación de las nubes tempestuosas y sus caracteres distintivos.

1.ª *Los metéoros eléctricos*, como el relámpago, rayo, etc., de que los antiguos no pudieron formar verdadero concepto por carecer de términos de comparación á qué referirlos, no se dejaron de explicar ideando algunas hipótesis infundadas y aun absurdas; y aunque la generalidad los consideró como hechos sobrenaturales, descubierta la electricidad y conocidos los efectos de la chispa eléctrica, se advirtió por los físicos la semejanza con ella de aquellos imponentes fenómenos, y se llegó á explicarlos como efectos naturales de electricidad, por más que la ignorancia impida desterrar por completo supersticiosas creencias trasmitidas desde los tiempos del paganismo.

2.ª *Se da el nombre* de electricidad atmosférica á la existente de contínuo en la atmósfera, libre en el aire y acumulada con ciertas circunstancias en las nubes.

3.ª *La electricidad atmosférica* es enteramente igual á la producida por las máquinas eléctricas, como se deduce inmediatamente de la comparación, aunque en tan diferente escala, del relámpago con las chispas que se obtienen por medio de los aparatos eléctricos, así como de la de sus respectivos efectos; lo que sucedió tan luego como se inventaron y manejaron dichos aparatos, pues á principios del pasado siglo, Wall, físico inglés, cuando logró obtener, de un buen trozo de ámbar, chispas bastantes

fuertes, comparó ya su brillo con el del relámpago y su chasquido con el del trueno, pero sin más consideraciones. Posteriormente, aunque, en 1735, Gray, primero y Nollet después, formularon de un modo más claro y terminante la indicada semejanza, sin embargo, como en cuestiones físicas no bastan las simples analogías, dichas indicaciones no pasaron de conjeturas hasta 1752, en que se efectuaron las experiencias propuestas en la memoria que Franklin publicó el año 1749, indicando, en vista de sus observaciones y experimentos, las razones existentes para considerar que el relámpago y rayo eran efecto de la electricidad y proponiendo medios experimentales de comprobación.

4.ª *La electricidad atmosférica* quedó demostrada experimentalmente, en 1752, por los experimentos de Dalibart y Franklin, repetidos por Romás, Richmán y otros; por cuya razón se atribuye justamente á Franklin tan gran descubrimiento; pues aunque Dalibart, en Francia, fué el que verificó el primer experimento decisivo, en 10 de Mayo de 1752, como éste era uno de los que proponía en su memoria Franklin, y éste ejecutó, en Filadelfia, otro aún más decisivo, con un mes de posterioridad, Junio de 1752, la gloria de la invención realmente pertenèce á Franklin, sin ser menor la de Dalibart por la anticipación de su experimento en que también fundó Franklin su invención del pararayo.

5.ª *El experimento de Dalibart* relativo al descubrimiento de la electricidad atmosférica, que fué uno de los que Franklin proponía en su citada memoria, se verificó del modo siguiente: colocó una barra de hierro que se suele denominar *barra de Dalibart*, de unos 12 á 14 metros de longitud, terminada en punta por la extremidad superior y aislada en la inferior por una especie de sustentáculo ó taburete aislador á fin de ver si, por su altura, conductibilidad, terminación en punta y aislamiento, se electrizaba por influencia al pasar ó acercarse las nubes tempestuosas; lo que así sucedió el 10 de Mayo en que se fija el experimento, pues al pasar en dicho día una nube de aquella clase, se pudo sacar del pié de la barra chispas como las de la máquina, suficientes para cargar botellas de Leyden.

Este experimento se denominó *experimento de Marly*, por haberlo practicado en un elevado plano de un jardín de la villa de aquel nombre, cerca de París.

6.ª *Experimento de Franklin* para indagar si en las nubes había electricidad como la de las máquinas eléctricas, no fué otro sino un simple juego de niños: el de elevar con una cuerda de cáñamo una cometa armada de puntas metálicas, atando al extremo de la cuerda una llave y á ésta un cordón de seda, como aislador que ató después á un árbol.

7.ª *Franklin verificó su experimento* de la cometa, saliendo de Filadelfia un día tempestuoso acompañado solamente de su hijo, huyendo de la crítica de las gentes que pudieran presenciar sus operaciones, si no obtenía resultado favorable, como temió en un principio. Procedió del modo siguiente: elevada la cometa, ató á un árbol el cordón de seda unido al extremo de la cuerda de cáñamo, y aproximando la mano á la llave unida al extremo de la cuerda, nada notó, por cuya razón empezó á desesperar del resultado que presumía obtener; mas habiendo sobrevenido una ligera lluvia, la cuerda se hizo más conductriz, la electricidad salvó su longitud y erizó los filamentos del hilo: con lo que, aislada la electricidad por el cordón de seda y retenida sobre la llave, logró sacar de ésta algunas chispas, que evidenciando sus predicciones, le causaron tal emoción de ánimo, que no pudo contener sus lágrimas.

Este experimento lo ideó Franklin impaciente, tal vez, mientras no podía verificar el que indicó en su memoria de 1749 acerca de las experiencias que se debían ejecutar para probar la existencia de la electricidad en las nubes; pero que no ejecutó esperando la conclusión de un campanario que se estaba construyendo en Filadelfia, por creer realizables en él sus proyectos.

8.ª *Los experimentos de Dalibart* y Franklin se repitieron tanto en Francia como en Italia, Inglaterra y Rusia, especialmente por Romás y Richmán, quedando demostrado con ellos que la causa de los relámpagos y rayos es la misma electricidad que la de los aparatos eléctricos, esto es, la existencia de la *electricidad atmosférica*.

De las investigaciones hechas para la demostración de la electricidad atmosférica resulta: que Franklin se distinguió como principal promovedor y actor en América: Romás y Dalibart como sus propagadores y ejecutores en Francia: Richmán, en Rusia, por el sacrificio de su vida en aras de la ciencia, y Lemonier por haber descubierto la presencia de la electricidad en la atmósfera aun en los días despejados y serenos.

9.ª *Romás*, aunque un año después de los experimentos de Dalibart y Franklin, guiado como el primero por las indicaciones de la memoria del segundo, elevó como éste una cometa, cuya elevación, no dándole resultados, le sugirió la ventajosa idea de hacer mejor conductor al bramante, entrelazándole un hilo metálico, suspendiendo de su extremo un tubo de hoja de lata y terminando aquél con un cordón de seda que fijó á un apoyo especial y resguardado bajo una especie de pequeño cobertizo, para impedir se mojase con la lluvia é hiciese buen conductor.

10. *Richmán repitió* en Sanpetersburgo el experimento denominado de Marly; pero con la fatal suerte de que al aproximarse al aparato recibió tan gran chispazo en la cabeza, que pereció en el mismo instante: desgraciado accidente que prueba la mucha precaución que se debe tener en todas las observaciones y experiencias de la electricidad de las nubes tempestuosas.

11. *De las variadas experiencias* hechas desde Franklin y Dalibart, por muchos físicos distinguidos de aquella época, y de la actual, como Saussure, Becquerel, Biot, Arago, Peltier, Palmieri y otros, estudiando las circunstancias de la electricidad atmosférica, se han deducido conclusiones que, aunque no se pueden formular en leyes sencillas y generales ni condensar en los estrechos límites de estas lecciones, son sumamente interesantes; resultando como la primera y principal la de que la electricidad existe libre siempre en la atmósfera, no solamente en días nublados ó tempestuosos, sino que también en los serenos y despejados.

Esta y las demás circunstancias conocidas hoy respecto de la electricidad atmosférica y sus variaciones, tanto en los días despejados como en los nublados y tempestuosos, se han demostrado no sólo con las cometas, globos cautivos y ascensiones aerostáticas, sino que también con electroscopios dispuestos al objeto, como el de Peltier, el electrómetro condensador de Volta y el de pan de oro ó de péndulos de médula de saúco con varilla terminada en punta, unido á ella, algunas veces, el extremo de un hilo de seda, cubierto de oropel y con una esferita o flecha metálica en su otro extremo para poderla lanzar á diferentes alturas, como plano de prueba, y más modernamente usando el electrómetro de Thomson.

12. *Del estudio* de las circunstancias de la electricidad atmosférica resulta la necesidad de considerar primero las que se ob-

servan en los días despejados, y segundo las correspondientes á los días nublados y tempestuosos.

Las circunstancias ó leyes relativas á la electricidad atmosférica en días despejados son: 1.ª Que en días despejados, y aun con nubes, siempre que no llueva, nieve ó granice en el lugar de la observación ni á determinada distancia, la electricidad es positiva; pues si se observa la negativa habiendo nubes, no es porque éstas la tengan negativa, sino por la lluvia, nieve ó granizo de localidades próximas, cuya mayor distancia, según Palmieri, varía de 50 á 60 kilómetros á medida que aquellos metéoros son más abundantes. 2.ª Que hasta un metro de elevación sobre el suelo no se notan señales de electricidad libre, efecto tal vez de que por su proximidad á aquél se neutraliza con la negativa del mismo. 3.ª Que desde un metro sobre el suelo, poco más ó menos, crece su intensidad proporcionalmente á su altura cuando los aumentos de ésta son de poca consideración. 4.ª Que en las casas ni en las calles, á no ser en las grandes plazas ó en los puentes, ni bajo los árboles se nota señal alguna de electricidad libre, efecto sin duda de su comunicación con el suelo y objetos que se mueven sobre el mismo. 5.ª Que la tensión de la electricidad positiva libre es mayor en las montañas que en los valles, en los campos que en las ciudades y mayor en invierno que en verano; pues aunque en invierno la evaporación sea menor, en cambio es mayor la condensación de los vapores acuosos, que, según Palmieri, produce desarrollo de electricidad positiva, de donde deduce que la electricidad de las nubes es debida á dicha condensación en las regiones elevadas de la atmósfera. 6.ª Que no sólo varía de unas estaciones á otras, sino que también de unos meses y días á otros y en sus diferentes horas; resultando diariamente dos máximos y dos mínimos, cuyas horas cambian con las estaciones, los cuales dependen de la marcha del sol en la forma siguiente: á su salida es débil, aumenta hasta las ocho ú once de la mañana, según las estaciones, y adquiere el primer máximum; disminuye en seguida hasta alguna hora después del mediodía en que resulta el primer mínimum; vuelve á crecer hasta horas después de puesto el sol, en que llega al segundo máximum, y dura hasta la salida del mismo: instante de partida de las variaciones del nuevo día. 7.ª Que aumenta con el estado higrométrico, llegando á su máximum al resolverse las nubes en lluvia, nieve ó granizo, ya sea en el lugar donde se observa, ó aunque sea á distancias hasta de 60 kilómetros.

Las leyes relativas á la electricidad atmosférica en días nublados y tempestuosos son: 1.ª Que la electricidad libre cambia frecuentemente de signo é intensidad. 2.ª Que estos cambios son muy irregulares. 3.ª Que las nubes si bien están generalmente más ó menos cargadas de electricidad libre aunque condensada de cierta manera, que no presenta tensión suficiente para producir efectos perceptibles como en las

tempestuosas, sin embargo no todas las nubes solas ó aisladas tienen por sí mismas la electricidad libre, no observándose cerca de ellas tensiones fuertes sino cuando los vapores ó las mismas nubes se condensan para resolverse en lluvia, aunque sea á cierta distancia del sitio de la observación; así es que donde está lloviendo se nota fuerte manifestación de electricidad positiva rodeada de una zona de electricidad negativa, seguida ésta de otra con positiva y resultando con una tensión cero en el límite común entre ambas zonas: circunstancia que además de otras puede explicar la electricidad negativa en unas nubes y la positiva en otras, no obstante que, por lo general, todas según el origen principal de la electricidad atmosférica deberían ser positivas.

13. *No es fácil explicar* terminante y sencillamente el origen de la electricidad del aire, por no ser suficientes los datos relativos á la producción de la electricidad producida por la evaporación, vegetación y acciones químicas, pero se comprende, aunque en conjunto, que no puede menos de originarse, ya por la que produce cada una de las antedichas causas, aisladas unas veces, reunidas, otras, dos ó más de ellas y aun todas á la vez, como es lo más probable, aunque tomando diferente parte cada cual de ellas de unas ocasiones á otras, que es lo que complica quizá el fenómeno.

14. *La electricidad de las nubes* no tempestuosas se comprende debe proceder de la positiva del vapor de agua contenido en el aire, que es sin duda la principal causa del signo positivo de éste; pues al formarse aquéllas, la condensación del vapor produce la de su electricidad en toda la masa, sin resultar á la superficie tensión suficiente como en las tempestuosas. Sin embargo, la producción de éstas no se explica tan fácilmente, porque procediendo, tal vez, de grandes y prontas acumulaciones de electricidad libre en el aire y en el vapor á consecuencia de circunstancias extraordinarias, como grandes y repentinas evaporaciones, exuberancia de vegetación, rozamientos entre las capas ó columnas de aire y, sobre todo, de algunas influencias caloríficas, eléctricas y magnéticas solares ó de las variaciones de temperatura en el globo terrestre y su atmósfera, no es posible precisar la forma en que adquieren las tensiones tan enormes indicadas por sus poderosos efectos.

15. *La presencia simultánea* de nubes positivas y negativas necesarias para las descargas eléctricas en las tempestuosas se

puede explicar de dos modos: 1.° Por encuentro de corrientes de capas de aire y vapor superpuestas y con direcciones contrarias, que en su rozamiento pueden desenvolver las dos electricidades, originando con cada cual de ellas una nube cargada de electricidad correspondiente, las cuales, al separarse y alejarse, resultan aisladas y con signo contrario. 2.° Por la ascensión desde las partes inferiores de la atmósfera á las superiores de columnas de aire húmedo y caliente, que si bien arrastrarán generalmente electricidad positiva, podrán llevar de la negativa del suelo de que parten, ó con quien pueden comunicar fácilmente, originándose también así nubes negativas, que, aisladas en regiones más ó menos altas de la atmósfera, pueden girar en ella como las otras, atrayendose las de signo contrario y aproximándose hasta producir sus descargas y chispas correspondientes, ó repeliéndose y alejándose las de igual nombre hasta mezclarse ó interponerse unas á otras, con lo que ya no es difícil la explicación de los relámpagos y rayos.

Además de la electricidad libre de unas nubes, se puede producir la electrización de nombre contrario de las inmediatas; pues por influencia de las primeras se descompondrá su electricidad natural y descargándose de la de igual nombre que la del origen, por los picos de las montañas, árboles y demás objetos á que pueden tocar directamente, ó por filetes de nubes, columnas de vapor ó filas de gotas de lluvia, que accidentalmente tengan á las primeras en comunicación con el suelo, quedarán aisladas al interrumpirse ó cortarse aquélla y con signo contrario á la influyente.

16. *Las nubes no son siempre tempestuosas*, porque aunque todas tengan generalmente electricidad, si no se forman en las circunstancias indicadas como origen de las tempestuosas, no adquieren la tensión enorme que éstas, ni su contrariedad de signo; y aunque se forman muchas tempestuosas por las circunstancias accidentales que las originan, puede haber otras muchas formadas como de ordinario y sin la gran tensión que aquéllas, completándose así ese conjunto tan vario, complicado, imponente y misterioso de la tempestad.

17. *El carácter de las nubes* tempestuosas no es siempre igualmente marcado ó determinado; pero, en general, además del aspecto característico que ofrecen, se presentan del modo siguiente:

en un principio son pequeñas, pero aumentando rápidamente, se extienden hacia todas partes. Se distinguen por un color gris oscuro algo ceniciento; algunas veces se presentan claras hacia su parte céntrica y oscuras por los bordes, y tienen con frecuencia movimientos rápidos de traslación, dirigidos, al parecer, según la topografía de la localidad.

LECCIÓN XCIV.

I. Relámpagos, rayos y truenos.—Efectos de los rayos, medios para precaverse de ellos, en general, y el de los pararrayos en particular.—II. Granizo, trombas y auroras boreales.

I.

1.ª *El relámpago* es la luz tan fugaz como intensa, engendrada en la atmósfera por la chispa eléctrica, semejante á las de la máquina de este nombre aunque en colosal escala. Se produce por la recomposición de las respectivas electricidades libres y de signos contrarios de dos nubes, cuando éstas se aproximan suficientemente impulsadas por corrientes de aire, por sus recíprocas atracciones ó por ambas causas; ó también por la recomposición de las electricidades positiva y negativa respectivamente de dos regiones ó capas diferentes en una misma nube.

2.ª *La forma de los relámpagos* es muy varia, por lo que se los suele dividir en las clases siguientes: relámpago sencillo, ramificado y difuso. Los relámpagos sencillos afectan la forma de una línea sinuosa ó siguen una serie de ellas angulosas; los ramificados son los en que la línea, única al principio, se divide en dos ó muchas más, y los difusos los en que su luz no se concentra en trazos estrechos y sinuosos, sino que se difunde en inmensas extensiones.

3.ª *El rayo* es la chispa ó descarga eléctrica verificada entre una nube tempestuosa y la superficie terrestre, circunscribiéndose á uno ó varios puntos ú objetos electrizados por la influencia de dicha nube.

4.ª *El rayo* suele afectar diferentes formas y, según ellas, se le denomina simplemente rayo, centella, rayo ascendente y rayo globular.

5.ª *El rayo simplemente dicho* es el definido (XCIV—3.ª)

6.ª *La centella* es, como el rayo, la descarga eléctrica que se efectúa á la vez entre una nube y varios puntos de la superficie terrestre, propagándose ó ramificándose de unos objetos á otros, recorriendo en varias direcciones una extensión más ó menos considerable y pasando en los edificios de unos aposentos á otros, y aun de unas casas á otras.

7.ª *Se suele dar el nombre* de rayo ascendente al en que la luz de la chispa se extiende de abajo á arriba, esto es, de la tierra á la nube.

8.ª *Rayo globular*, globo fulminante ó trueno en bola es el fenómeno que se observa algunas veces en las descargas eléctricas, ó después de alguna de éstas, y consiste en la aparición de uno ó más globos luminosos, que se mueven con lentitud de un lado para otro y próximos al suelo, pero como huyendo de los objetos terrestres y estallando con detonaciones varias, semejantes á cañonazos. Tales globos no tienen una explicación categórica y satisfactoria; pero parece deben proceder de materia ponderable fuertemente electrizada á consecuencia de algún rayo ó descarga eléctrica ó de otras anteriores.

Según M. Planté, el rayo globular se puede explicar del modo siguiente: las condensaciones y espansiones del aire conmovido al recomponerse las electricidades contrarias de las nubes, entre sí ó entre las mismas y la tierra, pueden dar lugar á la aglomeración de las moléculas del aire, del vapor en él contenido y agua formada por el mismo, que no sólo se evapora, sino que también se debe descomponer á causa de la elevada temperatura producida por la corriente formada con la recomposición de las dos electricidades. Así es que el globo deberá estar formado de aire enrarecido é incandescente y de los gases resultantes de la descomposición del vapor de agua, también en estado de enrarecimiento é incandescencia. Además es probable que á estas materias se agreguen las partículas cósmicas que la corriente encuentre á su paso; pues aunque éstas no existan en el aire sino en cantidades infinitamente pequeñas, como las de hierro, sílice, cal y otras son sustancias dotadas de gran poder de irradiación luminosa, su incandescencia debe contribuir, tal vez y en gran parte, al aspecto luminoso de dichos globos.

Además, la aparición de los rayos globulares que se presentan seguidos del estampido del trueno y que después desaparecen, se puede explicar por su desprendimiento de algún relámpago de los que se suelen

denominar relámpagos de rosario. Estos consisten en una curva luminosa dirigida hacia el suelo en forma de *S* prolongada y constituida por una serie de globos luminosos como ensartados cual cuentas de rosario, y diseminados en el rastro luminoso de dicha curva.

9.ª *Aunque se dice* que los rayos caen, no se ha de entender que su caída es realmente como la de un cuerpo grave, toda vez que si la electricidad de la nube se dirige hacia la tierra, la de ésta tiende á su vez á marchar hacia aquélla. Así pues, con el rayo no cae cuerpo alguno ponderable, como vulgarmente se cree, pues no siendo otra cosa sino una chispa eléctrica, que es cosa imponderable, nada puede caer.

10. *La idea vulgar* de la caída de la piedra del rayo se puede atribuir al efecto que el mismo produce, en ocasiones dadas, de trasportar, fundir y vitrificar algunos de los cuerpos ó partes de éstos que encuentra á su paso, como tenemos ejemplo en las fulgoritas ó tubos fulminares.

11. *Fulguritas* son tubos que se suelen encontrar en sitios donde ha tenido lugar la caída de un rayo, y cuya forma es la de tubos cilíndricos ó cónicos, y huecos muchas veces, siendo de una materia vitrificada enteramente en el interior y rodeada exteriormente de una costra compuesta de granos de cuarzo aglutinados. Algunos tienen una longitud hasta de 10 metros en posición vertical, por lo regular, aunque también se suelen presentar oblícuos al horizonte, ó divididos en dos ó tres brazos principales, subdivididos en pequeñas ramas laterales.

12. *El trueno* es el ruido que se oye después del relámpago con duración é intensidad muy variables. Se origina por las conmociones y vibraciones que experimentan las capas ó columnas de aire comprendidas entre las nubes que producen la descarga.

13. *La duración del trueno,* alternativa y variaciones de su intensidad se explican bien, teniendo presente la limitada velocidad del sonido en el aire y la instantánea propagación del lumínico, la reflexión de éste y de las ondas sonoras, la grande extensión de las nubes y sus formas sinuosas.

14. *Algunas veces* se observan relámpagos sin truenos, en cuyo caso se suelen denominar relámpagos de calor, y otras, por el contrario, se oye algún trueno sin ver antes relámpago alguno, pero en realidad no se puede concebir uno sin otro.

Estos hechos se pueden explicar del modo siguiente: El 1.° teniendo en cuenta que es posible percibir luz de relámpagos producidos á muchas leguas y bajo el horizonte, cuando el sonido ó ruido consiguiente no puede alcanzar sino distancias menores; pues la luz reflejada por las nubes pueden llegar hasta unas 25 leguas, cuando el sonido no puede pasar más allá de 5 á 6. El 2.° se concibe puede tener lugar, ya porque la intensidad de la luz del relámpago, relativamente á la luz del dia, no sea bastante para ser percibida, ya porque aun siendo de noche pueden servir de obstáculo la interposición de nubes densas, ó el producirse el relámpago bajo el horizonte en disposición de llegar el sonido ó ruido y no la luz.

15. *Las descargas en la atmósfera* producen, como la chispa eléctrica de las máquinas, efectos fisiológicos, mecánicos, físicos y químicos, cuya enumeración y descripción no es posible sino en tratados especiales. La muerte de animales, directamente ó por el choque de retroceso, es efecto fisiológico; la destrucción de edificios y trasporte de objetos son efectos mecánicos; los incendios que producen, fusión y volatilización de las sustancias metálicas y formación de las fulguritas son efectos caloríficos; el denominado fuego de Castor y Polus, en la antigüedad, y de S. Telmo después, así como los penachos luminosos en las vergas y mástiles de los buques, lo mismo que en las cruces, flechas de las torres y puntas de los pararrayos, con otros semejantes en las noches tempestuosas, son efectos luminosos; la formación del ácido nítrico en el aire por la combinación de su oxígeno é hidrógeno, y otros, son efectos químicos.

16. *En las tempestades* no sólo pueden ser heridos y muertos los animales por el rayo, sino que, además de los efectos que puede producir sobre todos los seres, en general, la electricidad libre de las nubes por su influencia, sucede algunas veces que animales colocados á distancia más ó menos considerable del punto sobre que se afectúa una descarga eléctrica, resultan muertos ó heridos por el choque de retroceso sin ser tocados del rayo.

Además se producen variados hechos como el de que donde hay muchos individuos reunidos, mientras unos no experimentan daño alguno, otros sufren accidentes perjudiciales á la salud, como quemaduras, heridas y paralisis, y alguno por el contrario resulta curado de antiguas dolencias.

17. *La muerte por el choque de retroceso* se explica del modo

siguiente: cuando una nube de extensión, forma y disposición adecuadas se aproxima suficientemente á la superficie de la tierra, y electriza á la vez por su influencia varios objetos distantes entre sí, al descargarse la electricidad de la nube sobre uno ó más de ellos por su mayor proximidad, electrización, etc., cesa su influencia sobre los demás y la gran cantidad de electricidad libre y contraria á la de la nube en cada cual, se recompone súbitamente con la contraria que suministra el depósito común, causando una conmoción más ó menos fuerte, que si alcanza á cierto grado, derriba y aun mata al animal que la sufre.

Para precaver la influencia de las nubes tempestuosas, que pueden perjudicar nuestra salud, causarnos ciertos accidentes y hasta la muerte por el choque de retroceso, además del uso de los pararrayos en los edificios, conviene observar las reglas siguientes: 1.ª Preservarse de toda corriente de viento, cerrando las ventanas ó cubriéndose con abrigos, de los que, por su mala conductibilidad, son preferibles los de lana y seda. 2.ª Alejarse de toda masa y superficie metálica. 3.ª No aproximarse á los troncos de los árboles, á sitios erizados de asperezas, ni á cuerpos terminados en punta: por último, en el interior mismo de las habitaciones es mejor situarse en medio de ellas que no en sus ángulos ó contra sus paredes.

18. *Se da el nombre de pararrayos* al sencillo aparato que, solo ó en combinación con otros, se dispone en los edificios para evitar la caída del rayo ó aminorar sus efectos sobre aquéllos. Consta en lo esencial de la barra ó vástago y del conductor.

La barra, que se suele denominar también aguja, tiene de 8 á 10 metros de longitud, es generalmente cónica, y su base de 5 á 6 centímetros de diámetro. Está formada por tres partes: la mayor, que es un tronco de cono de hierro; la intermedia, que es otro de latón ó cobre de 33 centímetros de altura, y la tercera, que es una punta ó pequeño cono de platino, cuyo ángulo es de 30° y su altura de 5 centímetros: dichas partes se unen unas á otras atornillándolas y soldándolas convenientemente. La punta puede ser maciza, ó hueca y rellena de hierro para mayor economía: también puede ser de cobre ó de plata, pero maciza.

El conductor es una barra ó cuerda de alambre de hierro ó de cobre, de 17 milímetros próximamente de grueso y recubierta con un barniz á propósito para evitar la oxidación. La barra se coloca verticalmente y fija en la armadura de los tejados ó en apoyos dispuestos convenientemente; el conductor parte de la base de la barra, con quien por el correspondiente mecanismo queda perfectamente unido y en contacto, y se dirige al suelo por el camino más conveniente. El extremo que baja

al suelo se introduce en un pozo ó cavidad hecha á propósito, para que, más ó menos ramificado, se ponga en continuo y extenso contacto con el agua, en el primer caso, y con el carbón calcinado ó cook en el segundo, á fin de que resulte una perfecta comunicación con el depósito común.

19. *La invención de los pararrayos* se puede decir es debida á Franklin, y que data desde sus experimentos y los de Dalibart sobre la electricidad de las nubes; porque al muy poco tiempo después, en 1755, se estableció el primero que fué puesto en Filadelfia, si bien se han estudiado y perfeccionado cada día más, tanto por comisiones de la Academia de ciencias de París y otras, como por los físicos electricistas, habiéndose llegado á disponerlos no con una sola punta, sino con puntas múltiples, es decir, con varias situadas de diferentes modos.

20. *La teoría del pararrayo* es la siguiente: cuando aproximándose una nube á un edificio puede influenciarlo para producir la caída del rayo sobre él, si encuentra un pararrayos dirigido hacia la misma, atrae sobre su punta, por influencia, la electricidad de nombre contrario á la suya y rechaza, por su longitud y conductores, la del mismo nombre al depósito común; por la propiedad de las puntas, la acumulada en la del pararrayos escapa fácilmente á recomponerse en el aire con su contraria la de la nube, verificándose así más ó menos suavemente la neutralización ó descarga de ambas sin los efectos del rayo, si antes no se aleja por el impulso del viento ú otra causa. De esta manera, suministrando el depósito común, por la punta del pararrayos más próxima á la nube que los puntos superiores del edificio, electricidad de nombre contrario á la de aquélla, suficiente para neutralizarla recomponiéndola, se evita la acumulación en aquellos puntos, que por su grande y simultánea reacción sobre la nube, provocarían su descarga rápida contra los mismos para propagarse á los circunvecinos.

21. *Las tres condiciones más esenciales* que se deben satisfacer al establecer un pararrayos son las siguientes: 1.° Que el conductor, lo mismo que la barra, tenga el espesor suficiente para impedir su fusión y que resulte en perfecta comunicación con el depósito común. 2.° Que el mismo no ofrezca interrupción ó solu-

ción de continuidad desde la barra al suelo. 3.° Que si el edificio lleva piezas metálicas de consideración, se deben comunicar todas con los conductores.

Aunque parezca fácil llenar estas condiciones, para conseguirlas, cerciorarse de ellas y de que luego subsisten sin alteración, se necesita gran exactitud, destreza en las operaciones, un esmerado cuidado en la conservación del aparato y las reparaciones que pueda necesitar.

22. *El circuito defendido* por el pararrayos alrededor de la barra, es equivalente á un círculo cuyo radio sea doble de su altura, contada ésta desde su vértice al plano horizontal que se pueda concebir por los puntos superiores de los objetos colocados á su inmediación.

Si el edificio es grande, puede no bastar un solo pararrayos y ser necesarios dos ó más, en cuyo caso se enlazan de manera que cada dos vengan á tener un conductor común.

Debe advertirse que en algunos edificios, de altura y circunstancias especiales, hay necesidad de colocar también sobre sus costados algún pararrayo con la barra horizontal, así como que, además de los pararrayos para los edificios civiles, hay disposiciones especiales para los de los buques, polvorines y estaciones telegráficas.

II.

23. *Además de los relámpagos y rayos* se consideran como metéoros eléctricos el granizo, las trombas y las auroras boreales.

24. *El granizo* es un metéoro conjunto de glóbulos, más ó menos esferoidales, de agua solidificada por capas concéntricas y paralelas á un núcleo blanco opaco, que parece un grano de gresil, y cuyas capas suelen ser, alternativamente, blancas y opacas unas, y diáfanas otras.

El tamaño del verdadero granizo es mayor que el del gresil: cuando excede del de un garbanzo ó avellana hasta el de nueces, y aun más, se suele llamar piedra. Los granizos de tamaño extraordinario son el resultado de la aglomeración de varios de ellos.

25. *Las circunstancias* que anteceden y acompañan la caída del granizo, y que demuestran de un modo irrecusable que en su formación, además del enfriamiento productor de los núcleos, interviene la electricidad, son las siguientes: 1.° Que siempre cae

poco antes y mientras las tormentas de nubes tempestuosas, mas nunca después; más generalmente de día, y algunas veces de noche: sus épocas coinciden con las de las tempestades. 2.° Que antes de su caída se oye un ruido particular y característico, como el que resulta removiendo sacos ó montones de nueces: ruido que se atribuye á las vibraciones excitadas en el aire por los movimientos de los granizos ó por el choque de los mismos entre sí. 3.° Que los granizos al caer presentan cierto estado repulsivo como en el experimento de Volta llamado granizo eléctrico. 4.° Su tamaño, extructura y el no caer sin la existencia ó formación de nubes eléctricas; pues aunque se diga que algunas veces caen sin la coexistencia de ellas, es considerando como granizo lo que no es tal vez sino gresil.

Las nubes productoras del granizo, que son de las denominadas cúmulos, además de su carácter eléctrico y el color ceniciento más marcado, suelen tener sus bordes escotados ó dentellados y su superficie llena de protuberancias: la altura en que se observan es poca.

Generalmente sucede que la temperatura antes de la caida del granizo es muy elevada y que después sobreviene un enfriamiento notable. La duración de la caída del granizo en un mismo sitio sólo es de algunos minutos, llegando rara vez al cuarto de hora.

26. *La caída del granizo* se ha explicado por varios físicos de maneras diferentes, aunque acordes en la influencia eléctrica; habiendo sido los primeros en formular sus hipótesis Volta y Lecop, y posteriormente Peltier y otros: hipótesis que, si ninguna satisface completamente, reunidas y hermanadas con la conveniente serie de consideraciones sucesivas y relacionadas, pueden formar una teoría satisfactoria.

27. *La hipótesis de Volta* suponía la intervención de dos nubes, una superior y otra inferior, cargadas de electricidades contrarias para obrar sobre los núcleos como en el experimento del granizo eléctrico, y un frío para formar aquéllos, debido á la evaporación rápida de las gotas de lluvia formada en una primera nube, causada dicha evaporación por el calentamiento debido á la absorción y concentración de los rayos solares en la misma nube, y cuyos vapores al elevarse formaban la segunda sobre la primera.

Esta hipótesis es inadmisible, respecto á la intervención de los rayos

solares, cayendo también el granizo de noche, aunque menos veces que de día; pero tiene el gran mérito de haber llevado la cuestión á su verdadero terreno, el de la electricidad, por más que M. Olmsted y algún otro hayan opinado que el fenómeno es independiente de ella, considerándola como circunstancia accidental.

28. *La hipótesis de Lecop*, en vista de sus propias observaciones, hace necesarias dos capas de nubes superpuestas, animadas de gran velocidad por vientos contrarios y de diferente temperatura, electrizada la superior para evitar, con su atracción por influencia, la caída de los granizos formados en la segunda hasta llegar á cierto peso y volumen. Para la formación de los núcleos y su crecimiento por capas, supone la producción del suficiente enfriamiento en la superficie de las nubes, ó de las gotas de lluvia en ellas formada, por la rápida evaporación que debe resultar en su veloz traslación; que los granizos siguen el movimiento horizontal de las nubes y no de una á otra, y que el ruido no procede del choque de unos granizos contra otros, sino de la agitación que su gran velocidad comunica al aire.

De las indicadas hipótesis y otras varias, fundadas algunas en satisfactorios experimentos de gabinete, aunque ninguna completamente convincente, resulta que se puede considerar fuera de duda la intervención eléctrica en la formación del granizo, pues aunque en alguna no se considere indispensable, si bien se analiza, tampoco se puede decir que se la considera inadmisible.

29. *La causa de considerar* las trombas definidas (LXV—28) como metéoro dependiente de fuerzas eléctricas, es la circunstancia de ir acompañado generalmente de lluvia, granizo y descargas eléctricas: circunstancias que unidas á la enorme fuerza con que dicho metéoro arranca, eleva y trasporta á considerables distancias cuantos objetos se oponen á su paso, le hacen sumamente desastroso y temible, por más que su duración sea corta generalmente: las de mayor duración no llegan tal vez á una hora.

30. *Las auroras polares* son fenómenos eléctricos que se observan hacia los polos y que terminan por la agrupación de ráfagas luminosas en una especie de arco, unas veces, y en forma de pabellón otras. Pueden ser y se llaman boreales y austra-

les; extendiéndose algunas á grandes distancias del polo, como hasta Roma, Madrid y Cadiz.

31. *Se llaman auroras boreales* las que se forman hacia el polo norte ó boreal, y australes las que se observan también hacia el polo sur ó austral.

Hacia los polos son tan frecuentes, que rara es la noche en que no se observan, pudiéndose admitir que en todas las hay, aunque poco visibles por su poca intensidad.

32. *Las auroras observadas* primero, mejor y en mayor número fueron las boreales, por cuya razón se llamaron así, en un principio, en vez de polares, que es el calificativo que les corresponde desde que se ha visto se forman también en el polo austral.

33. *El fenómeno de las auroras polares* es uno de los más grandiosos que ofrece la naturaleza; pero su descripción, lo mismo que la de las trombas, ciclones, efectos y circunstancias de las tempestades eléctricas, no puede encerrarse en los estrechos límites de los textos y explicaciones elementales sin mutilarlas y empequeñecerlas.

Estos y otros muchos fenómenos meteorológicos se pueden dar á conocer por medio de cuadros pintados al óleo que los representan; pudiendo encontrar el alumno estudioso las descripciones de dichos metéoros en las obras especiales de meteorología y en los tratados extensos de Física, algunos de los cuales ofrecen lectura deleitable é instructiva: por ejemplo, el Puillet, Ganot y *El mundo físico*, por estar traducidos al español, y tantos otros aunque sin traducir.

34. *Aunque la explicación* de las auroras polares no sea un problema completamente resuelto no obstante haberse ideado tantas hipótesis, se puede suponer, fundados en las más completas y apoyadas en experimentos de M. de la Riva y M. Planté, que dicho fenónmeno depende de la electricidad de la atmósfera y de la tierra, por los hechos que las acompañan y aun las anuncian anticipadamente, como son: las variaciones que experimentan las agujas magnéticas á grandes distancias de los puntos en que se forman, las perturbaciones que se observan en las líneas telegráficas, y la situación del arco ó corona luminosa relacionada siempre con el meridiano magnético, por cuya razón se suelen considerar como un metéoro magnético, pero siendo el magnetismo efecto eléctrico, claro es que las auroras son verdadero fenómeno eléctrico.

ELECTRICIDAD DINÁMICA.

LECCIÓN XCV.

Electricidad dinámica, galvanismo ó electricidad voltaica.—Su origen. Experiencias de Galvani y de Volta é hipótesis que, en virtud de ellas, respectivamente formularon.—Pila de Volta, sus elementos, pares y rodajas de paño que la componen.-Modo de preparar la pila voltaica, polos de la misma y sus reóforos.—Corriente eléctrica y su dirección. Pila en tensión y en corriente.—Intensidad de la corriente eléctrica.—Conductibilidad y resistencia de los medios para la misma.

1.ª *La electricidad dinámica* definida (LXXXVII—28), fué descubierta á consecuencia de los rápidos progresos de la electricidad estática, en virtud de las multiplicadas y variadas experiencias que se llegaron á practicar con las máquinas eléctricas y los condensadores. La expresión de electricidad dinámica se emplea á la vez para titular la parte de la Física en que se estudia todo lo relativo á las corrientes eléctricas.

2.ª *Se da también* el nombre de galvanismo á la parte de la Física que estudia la electricidad dinámica, en atención á que el origen de su descubrimiento fueron las experiencias de Galvani, profesor de Anatomía en Bolonia, relativas á la acción de la electricidad sobre el sistema nervioso de los animales.

3.ª *El estudio de la electricidad* dinámica se suele denominar también *electricidad voltaica*, por haber sido Volta, profesor de Física en Pavía, el que, con su experimentación y discusiones, respecto de las hipótesis que estableció Galvani en vista de sus experiencias, llegó á inventar en 1800 la pila que lleva su nombre, *pila de Volta* ó *voltaica*, y el juego de las corrientes eléctricas.

4.ª *Los experimentos de Galvani*, que originaron el descubrimiento de la electricidad dinámica, fueron los practicados sucesivamente por el mismo, desde 1780, estudiando la influencia de la electricidad sobre el sistema nervioso de los animales, especialmente en las ranas, hasta el 20 de Setiembre de 1786, en que habiendo suspendido de un balcón de hierro los miembros inferiores de una de aquéllas por medio de un gancho de cobre, que

atravesaba la médula espinal, observó que aquéllos se agitaban convulsivamente: hecho que repetido experimentalmente se denomina experimento de Galvani ó de la rana.

Este hecho sorprendió á Galvani, grandemente, pues aunque en el curso de sus experimentos había tenido ya ocasión de observar que las ranas, preparadas y colocadas por casualidad sobre la mesa de la máquina eléctrica, sufrían una conmoción al tocarlas con un escalpelo, cuando aquélla se descargaba, llamó mucho la atención la falta de origen eléctrico y el que, según la disposición con que estaba suspendido dicho animal del gancho de cobre y éste del balcón, el fenómeno sólo se repetía cuando por causa del viento ú otro accidente las piernas de la rana tocaban en el hierro de dicho balcón.

El experimento de Galvani se repite hoy en las clases, con la mayor facilidad, por medio de un excitador, de cuyas ramas una es de zinc y la otra de cobre. Al efecto se desuella una rana, dividida por bajo las extremidades superiores ó torácicas, quedando así al descubierto los nervios lumbares, que se parecen á dos hilos blancos y situados en ambos lados de la columna vertebral; en cuya disposición, introduciendo la rama de zinc entre las vértebras y dichos nervios, se hace que la de cobre toque uno de los músculos del muslo ó de la pierna, y en el instante se conmueve ésta como si la rana estuviese viva. Este hecho se puede repetir hasta un cierto tiempo después de muerta la rana, trascurrido el cual deja de repetirse la conmoción.

5.ª *Galvani, en vista de sus experimentos* y de los que se practicaban con la botella de Leyden, supuso había en los nervios de la rana una especie de flúido análogo, aunque no idéntico, á la electricidad y propio del cuerpo de los animales, que, pasando á los músculos por el arco metálico formado con el cobre y el hierro, producía la conmoción, asemejando así el cuerpo de la rana á un condensador en que los nervios y músculos hiciesen el papel de armaduras.

Dicho flúido se apellidó electricidad animal ó flúido galvánico, y también electricidad voltaica ó del contacto, en atención á la teoría formulada por Volta, que, al repetir los experimentos de Galvani y estudiar las hipótesis establecidas por éste, supuso que el contacto de dos metales heterogéneos, y hasta de dos sustancias diferentes cualesquiera, engendraba desarrollo de electricidad ordinaria, y que la convulsión de la rana procedía de las acciones eléctricas desenvueltas, como caso particular, por el contacto de los dos metales que formaban el arco conductor.

6.ª *La hipótesis del contacto* fué sugerida á Volta por la circunstancia que él mismo observó de que para producir las convulsiones de la rana, con alguna energía, se necesitaba formar el arco con dos metales heterogéneos; el que aquéllas se debilitaban cuando el arco era de un solo metal; el no verificarse cuando dicho arco no era de sustancia metálica, y por último, el ver que se producía conmoción tanto al tocar la pierna con la segunda rama del arco como al separar ésta de aquélla.

7.ª *Volta, para demostrar su hipótesis* y sostener la polémica que con ella se suscitó entre él, Galvani y sus respectivos partidarios, hizo muchos y variados experimentos valiéndose de su electrómetro condensador, de cuyos experimentos dedujo que el zinc y el cobre eran los más á propósito para desenvolver electricidad por contacto.

8.ª *Volta dió el nombre* de fuerza electromotriz, en su teoría del contacto, á la causa desconocida que, al tocarse los metales, provocaba la descomposición de su electricidad natural, y estableció: 1.° Que puestos en contacto dos metales heterogéneos, obraba instantáneamente su fuerza electromotriz y descomponía el denominado entonces flúido natural, acumulándose la electricidad positiva en un metal, y la negativa en el otro. 2.° Qué después, la misma fuerza impedía la recomposición de las electricidades contrarias separadas, no obstante su proximidad y mútua atracción. 3.° Que la intensidad de la fuerza electromotriz dependía exclusivamente de la naturaleza de los metales, mas no de la magnitud de los cuerpos ni de la extensión de la superficie de contacto. 4.° Que la fuerza electromotriz es instantánea y constante, de tal manera que si la intensidad de uno de los discos se altera, inmediatamente obra un nuevo desenvolvimiento de electricidad para restablecer el equilibrio.

9.ª *Volta, en vista de la constancia* y rapidez de la fuerza electromotriz, dedujo que llamando t á la tensión eléctrica positiva sobre uno de los discos de metal, el zinc por ejemplo, t, y á la negativa del otro, el cobre, $-t$, la diferencia algebraica $t-(-t)=2t$ debía ser constante; que si se comunicaba electricidad libre á uno cualquiera de los discos, se extendería repartiéndose por igual sobre ambas, como si estuviesen en estado natural, sin alterar di-

cha diferencia, y que si se quitaba una parte de la que poseía uno de los dos, volvería á obrar la fuerza electromotriz dando á cada disco una nueva carga de electricidad positiva y negativa como en el primer caso, pero en la cantidad conveniente á que la diferencia algebraica resultase $2t$ como antes, para volver á su equilibrio.

10. *Volta, al establecer su hipótesis* y en vista de que todos los metales no producían por contacto el mismo desenvolvimiento de electricidad, dividió los cuerpos en buenos y malos electromotores: llamó buenos electromotores á los que, como el zinc, el cobre y demás metales en general, desenvolvían bien la electricidad en su contacto, y malos electromotores á los que se portaban al contrario ó no eran á propósito para tales experimentos.

11. *Examinados los procedimientos* seguidos en todos los experimentos y aplicaciones de la electricidad por contacto, se vió que la teoría de Volta, aunque tan fecunda en resultados, era inadmisible y que tal desenvolvimiento no es por solo aquél, sino por acciones químicas; pues que en la pila de Volta, como en ninguna otra, no se obtiene electricidad sino cuando intervienen líquidos que atacan químicamente á un metal.

12. *La teoría de Volta,* aunque desechada, no fué, sin embargo, inútil, sino que por el contrario le condujo á la maravillosa invención de la pila, que hizo inmortal su nombre, y por lo mismo se le denomina pila de Volta, ó de columna por haber sido construida en esta forma.

II.

13. *Se da el nombre* de pila de Volta, voltaica ó de columna, al aparato inventado por Volta para obtener, como en todos los demás que se han ido descubriendo, un desenvolvimiento y germen contínuo de las dos electricidades á la vez, esto es, de una corriente eléctrica.

14. *Se da el nombre* de elemento voltaico á cada disco ó lámina de las que forman al par del mismo nombre.

15. *Par voltaico* es el conjunto de cada dos discos ó láminas, uno de zinc y otro de cobre de los que colocados unos sobre otros, en más ó menos número, forman la pila voltaica.

16. *Para formar la pila voltaica* son necesarios, además de los pares, unas rodajas ó discos de paño ó cartón humedecidos con agua acidulada con 1[16 de su peso de ácido sulfúrico y 1[20 de ácido nítrico.

17. *Según Volta*, el empleo de las rodajas humedecidas con el agua acidulada era para evitar el contacto del metal superior de cada par con el inferior del siguiente, y facilitar al través de aquéllas la comunicación de las electricidades contrarias que reciben á cada momento dichos elementos; pero no es así, pues para lo que servían era para contener el agua acidulada que obrando sobre el zinc era la verdadera causa del desenvolvimiento de la electricidad, según la teoría electro-química.

18. *La rodaja de paño*, humedecida con el agua acidulada, no sólo sirve como intermedio conductor de las electricidades contrarias de uno de los elementos de cada par al contrario del inmediato, sino que en realidad, según la teoría electro-química, es la parte esencial de la pila, pues la electricidad desenvuelta depende de la acción química del agua acidulada sobre el zinc.

Es de advertir que si en el experimento de la rana y en los practicados por Volta no se hacía uso de líquido alguno, sin embargo, intervenía la humedad de la rana y la de la mano humedecida de Galvani.

19. *La pila de Volta* ó de columna se dispone colocando entre dos planos de madera, ligados entre sí por tres varillas de vídrio, un conjunto de pares en igual orden, y poniendo entre par y par una rodaja de paño humedecida con agua acidulada por el ácido sulfúrico.

20. *Se da el nombre* de polos de la pila á los elementos ó puntos extremos de ella en que se acumulan las electricidades y por donde tienden á escapar.

21. *Los polos de la pila* se denominaron: *polo zinc* ó *positivo* el uno, y *polo cobre* ó *negativo* el otro. Polo zinc ó positivo es el extremo de la misma formado por el primer zinc, donde se acumulaba ó por donde salía la electricidad positiva, y polo cobre ó negativo es el extremo formado por el primer cobre, donde se acumulaba ó por donde salía, la electricidad negativa: conceptos equivocados.

pues, según la teoría electro-química, resultan en orden inverso á la realidad.

22. *La electricidad*, según Volta, se hallaba distribuida en la pila aislada, que es la verdadera pila, del modo siguiente: desde su parte media hasta el último zinc cargada de electricidad positiva y la otra media hasta el último cobre de negativa; creciendo una y otra en la progresión $\div 0:1:2:\ldots 2n$, al ser el número de pares voltaicos par y llamarle $2n$, ó en la de $\div 1:2:\ldots (2n+1)$ al ser aquél impar y llamarle $(2n+1)$.

23. *Se llama tensión* ó potencial de los polos de la pila la mayor ó menor fuerza con que la electricidad acumulada en los mismos, según el número de pares, tiende á escapar de uno para recomponerse con la contraria del otro ó de los cuerpos inmediatos. Según la teoría de Volta, era proporcional al número de pares de la pila, dividido por dos cuando aquél era par, esto es, $\frac{2n}{2}$, ó al mismo número menos uno partido por dos si era impar, esto es, $\frac{(2n+1)-1}{2}$

24. *La tensión de la pila de Volta* ó de columna, aunque puede ser tanto mayor cuanto lo sea el número de sus pares, sin embargo, nunca puede ser de un grande efecto comparativamente á la que presentan hoy otras clases de pilas.

25. *El estado de la pila* de columna aislada es muy diferente cuando sus polos permanecen aislados ó cuando se comunican por hilos metálicos; en el primer caso se dice que está abierto el circuito ó que la pila está en tensión; en el segundo que aquél está cerrado ó que la pila está en corriente.

26. *Se da el nombre* de corriente de la pila al movimiento de electricidades que resultan en la misma, del uno al otro de sus polos, por la serie continua de recomposiciones que se ejecutan entre las electricidades contrarias del elemento zinc de cada par á su contrario cobre del inmediato, en virtud de las descomposiciones de la electricidad neutra que se originan por las acciones químicas entre el zinc y el líquido que lo baña.

La corriente, en realidad, es la marcha de la electricidad positiva en un sentido y la de la negativa en el opuesto, tanto en el

interior de la pila, de unos elementos á otros, como en el trayecto de los reóforos de una á otra de sus secciones; mas como esta idea sería complicada é indeterminada, se concreta á una sola dirección que se llama dirección de la corriente.

27. *Se ha convenido* en llamar dirección de la corriente, ó simplemente corriente, á la dirección seguida en su marcha por la electricidad positiva.

28. *La dirección de la corriente*, si se considera en el interior de la pila, es del polo negativo al positivo, y si se considera en los reóforos, es del positivo al negativo.

Esto aunque parece que indica una inversión no es así, sino una verdadera continuación de la corriente, á la manera que trazado un diámetro horizontal en una circunferencia al correr la semicircunferencia superior de izquierda á derecha y después la inferior de derecha á izquierda, no hay inversión, sino continuación del mismo movimiento.

29. *Se da el nombre* de reóforos de la pila, hilos conjuntivos ó electrodos á los hilos metálicos, generalmente de cobre, que parten respectivamente de cada polo, cuyos extremos libres se pueden unir ó desunir según conviene: para simplificar la locución, algunas veces se podrá decir solamente *electrodos* en vez de extremos libres de los reóforos ó electrodos.

30. *Se dice que está* cerrado el circuito de la pila cuando, puestos los extremos de los reóforos en contacto, se establece una continuidad de puntos materiales, como sucede respecto de una curva cerrada ó del contorno de un polígono, y por lo mismo la marcha de la corriente no encuentra interrupción alguna; y que está abierto cuando, por estar aquéllos separados y á bastante distancia, sucede lo contrario de cuando está cerrado y se detiene la marcha de la corriente.

31. *Intensidad de la corriente eléctrica* es la mayor ó menor cantidad de flúido eléctrico que pasa en un tiempo dado por cada sección de la pila ó de sus reóforos: depende de la extensión superficial de sus pares, guardando hasta cierto punto la relación de sus superficies.

32. *Conductibilidad de la pila* es la mayor ó menor prontitud con que se carga sucesivamente una y otra vez, cuando circula la corriente en el circuito cerrado: depende de los cuerpos sólidos y

líquidos con que se construye y carga, que es el gran problema de la electricidad dinámica.

33. *Se da el nombre de resistencia*, en el curso de las corrientes, á la mayor ó menor dificultad que encuentran para su propagación al través de los medios por donde circulan.

LECCIÓN XCVI.

I. Inconvenientes de la pila de Volta y sus modificaciones.—Efectos de las corrientes eléctricas y clasificación de los mismos.—Efectos fisiológicos.—Efectos físicos y su clasificación.—Efectos luminosos—Arco voltaico —Iluminación con luz eléctrica.—Efectos caloríficos.—Efectos magnéticos.—II. Efectos mecánicos.—Efectos químicos.—Voltámetro y descomposición del agua con el mismo.—Cuerpos electro-positivos y electro-negativos.—Teoría electro-química y experimentos con que se demuestra. Electrolisis y su nomenclatura.

I.

1. *La pila voltaica*, aunque fué invención tan admirable é importante, ofrecía graves inconvenientes que hubieran hecho casi ineficaz su uso, por lo que se procuró modificarla, como se efectuó de varios modos, principalmente por Cruikshank construyendo una nueva denominada por su forma *pila de artesa*. Al mismo tiempo Volta transformó la suya constituyendo la apellidada *pila de corona*, y después Wollaston ideó la que lleva su nombre Esta, sin dejar de tener sus inconvenientes, siendo de más fácil manejo, permitió ya reproducir con más facilidad los variados efectos de la corriente eléctrica; pero, en atención á su mucho peso y volumen, Münch aligerándola de uno y otro la modificó, por cuya razón se denominó *pila de Münch*.

2.ª *La mayor facilidad* en el manejo de las pilas alcanzada con las de Wollaston y de Münch, que por su disposición y modo de funcionar se las puede considerar como una misma, permitió multiplicar las experiencias por medio de ellas y se fueron conociendo los variados efectos de la corriente eléctrica, apellidada también galvánica ó voltaica.

3.ª *Efectos de la corriente eléctrica* son los que produce á su paso por los cuerpos y que resultan, aunque con alguna diferencia, como los de la electricidad estática. La diferencia consiste en

que los de la estática provienen de una recomposición instantánea de las dos electricidades con fuerte tensión, y los de las corrientes son el resultado de una recomposición lenta y continua, con tensión débil de las mismas mientras permanece cerrado el circuito. Se dividen también en fisiológicos, físicos y químicos.

3.ª *Los efectos fisiológicos* de las corrientes eléctricas son todas las modificaciones que producen á su paso en el organismo de los seres vivos, y aun de los privados recientemente de la vida, desde las sensaciones y conmociones más pequeñas hasta las más grandes y sorprendentes. El experimento más sencillo que se puede hacer para ejemplo de ellos es el siguiente: tómese dos laminitas de diferentes metales y colóquese por uno de sus extremos una sobre la parte superior de la lengua y otra por la parte inferior y poniéndolas en contacto por los extremos libres; pues al momento se nota cierto sabor ácido ó alcalino, lo que indica el paso de una corriente débil, ó también este otro: si se cogen los electrodos de una pila poderosa, se sienten conmociones más ó menos fuertes y semejantes á la de la descarga de la botella de Leyden.

5.ª *Los efectos fisiológicos* de las corrientes de las pilas galvánicas dependen más bien de la tensión que de la intensidad eléctrica de la pila, por cuya razón para producir efectos fisiológicos de cierta consideración, se necesita que la pila tenga muchos pares, aunque éstos sean pequeños; pues con pocos, aun cuando cada cual tenga mucha extensión, no se conseguirá lo que con el mayor número de los primeros.

6.ª *Las conmociones producidas* por las pilas poderosas, aunque son semejantes á las de las botella, se diferencian de la de ésta por más de un concepto; pues la de la primera es instantánea y única, y no se puede repetir sino teniendo que cargarla cada vez, cuando con la segunda, como lo efectúa por sí misma sucesiva é instantáneamente, se puede repetir á cada momento abriendo y cerrando contínuamente el circuito, y pasada la conmoción, si aquél persiste cerrado y continúa la corriente, aunque no haya nuevas conmociones, circula en el organismo sin dejar de producir diferentes efectos, como el de aumentar el calor y otros: si la pila es poderosa continúan las conmociones, pero éstas son menos intensas.

7.ª *Los efectos físicos de las corrientes* son todas las variaciones que producen en el estado actual de los cuerpos inertes á su paso por ellos, pero sin alterar en nada su composición química. Se pueden subdividir en luminosos, caloríficos, magnéticos y mecánicos ó de trasporte.

8.ª *Efectos luminosos* de las corrientes son las chispas que saltan entre los electrodos, esto es, entre los extremos libres de los reóforos al aproximar uno á otro; la incandescencia de los hilos metálicos interpuestos entre aquéllos, que puede inflamar la pólvora, yesca, etc., y el arco voltaico, ó sea la llama que se puede producir entre dos conos de carbón, que, dispuestos convenientemente en los extremos de los reóforos, hacen de electrodos.

Este efecto no se puede producir con cualquiera de las pequeñas pilas que suele haber en los gabinetes de las clases elementales, porque aun cuando con un solo par de Wollaston se puede enrojecer un hilo metálico, y de las pilas de 6 á 12 pares se sacan chispas, no es lo bastante para constituir verdaderos focos de luz suficientes para la iluminación con luz eléctrica: así es que para este objeto se necesitan pilas poderosas de muchos pares y de mucha extensión.

9.ª *Las pilas más propias* y usadas para los experimentos de la luz eléctrica son las de Bunsen, de 50 á 60 pares en adelante; si bien se pueden obtener hoy efectos notables de ella valiéndose de un corto número de aquéllos y del aparato de Ruhmkorff ó carrete eléctrico, y aun sin ninguno, con las máquinas magneto-eléctricas y dinamo-eléctricas.

10. *Cuando se unen* los dos conos de carbón como electrodos de una poderosa pila en actividad, se observa su incandescencia, produciéndose una luz fuerte y brillante, pero si se separa uno de otro por cualquier mecanismo, á dos ó más milímetros, la luz se extiende en este espacio intermedio, formando el arco voltaico y produciendo el trasporte mecánico del uno al otro cono: conos que pueden ser de carbón ordinario de leña bien calcinado; mas como se consumen por la facilidad de quemarse en el aire, se suele hacer más bien uso de barras, terminadas en punta, del cok calcinado que se obtiene en las fábricas del gas, ó de conos formados en moldes con el expresado cok.

11. *El arco voltaico* es la luz, especie de llama, que se forma entre los electrodos de carbón de las pilas poderosas, cuando se

los separa algunos milímetros; cuyo nombre toma de la forma encorvada que adquiere de lúnula, esto es, de media luna; en este caso se produce el fenómeno del trasporte mecánico en los electrodos de carbón, que se reduce al arrastre por la corriente de las partículas de aquél, y aun de la sílice contenida en el mismo, desde el cono que hace de electrodo positivo al que hace de negativo, á consecuencia de cuyo hecho, el primero disminuye de altura y volumen y se ahueca, y el segundo aumenta ambas cosas al depositarse y fijarse sobre su superficie las moléculas trasportadas.

12. *Al tratar de utilizar* el arco voltaico para el alumbrado público y otros usos, se luchó con el inconveniente de que variando la distancia entre los conos con el desgaste de los mismos por la alteración de sus dimensiones, la luz sufría cambios en su intensidad é intermitencias perjudiciales, por cuya razón se inventaron los reguladores de luz eléctrica.

13. *Reguladores de la luz eléctrica* son mecanismos dispuestos convenientemente para aproximar los electrodos y conservarlos á una distancia invariable, á fin de que la luz no experimente conmociones ni variaciones de intensidad.

La generalidad de los reguladores se han construido de modo que el mecanismo se mueve por la acción de la corriente al variar ésta por consecuencia del aumento de distancia de los electrodos; pero no siendo esto bastante, se ha perfeccionado aquel mecanismo por M. Foucolt y otros, de modo que no sólo se produce por la acción de la corriente la aproximación de los electrodos para conservar constante su distancia, sino que á la vez se efectúa con igual fin su separación cuando se hace necesario. La separación se hace también necesaria á causa de que los carbones, por puros que sean, siempre contienen algunas sustancias extrañas, sobre todo sílice, la cual, por la alta temperatura que adquieren aquéllos, se funde y forma prominencias sobre los mismos, que aumentando sus alturas disminuyen la distancia constante que debe mediar entre los vértices de ambos conos.

14. *La iluminación* por la luz eléctrica, no obstante haberse presentado como problema cuya resolución dejaba mucho que desear y parecía casi imposible, se utilizó desde luego en aplicaciones importantes como la de sacar vistas ó copias fotográficas de objetos existentes donde no puede penetrar la luz del sol; para iluminar habitaciones ó locales que se hallan en igual caso y los trabajos bajo del agua; para el uso del microscopio foto-eléctrico y

en reemplazo de la luz solar, cuyas propiedades reune casi por completo; tanto que hasta puede elaborarse bajo su influencia el verde de los vegetales según las experiencias de M. Herve-Mangón, siendo imposible por tanto el presagiar entonces las demás aplicaciones que de ella pudieran hacerse en lo sucesivo.

Vistos los ventajosos resultados obtenidos ya en los ensayos practicados para la iluminacion de algunos faros, mediante el empleo de las ingeniosísimas máquinas magneto-eléctricas de M. Nollet, perfeccionadas por Van Malderen, y de M. Widi, se confió en poder llegar á producir fácil y económicamente luz eléctrica para poderla utilizar cuando y como se quisiere.

En efecto, aunque por ser el arco voltaico producido por las grandes pilas de Bunsen, de intensidad luminosa tal, que excedia lo conveniente por dañar la vista; de coste excesivo las pilas y el manejo de las mismas muy embarazoso, se desconfió de poder utilizar la luz eléctrica para el alumbrado público y privado en reemplazo de las otras luces artificiales; sin embargo, con el contínuo progreso de la ciencia, tan rápido en todo lo relativo á la electricidad, se ha llegado á lo que puede llamarse división de la luz eléctrica, esto es, á poder sostener con una sola pila, no un solo foco luminoso, sino muchos como la de los mecheros del gas del alumbrado, habiendo hecho posible la iluminación de las calles de las poblaciones, del interior de sus edificios y fábricas, y en los carruajes y embarcaciones; pues aunque no esté aún tan generalizado el alumbrado eléctrico como el del gas, es de esperar que, con mayor perfeccionamiento, supere á todos los demás alumbrados.

Los pormenores relativos al alumbrado eléctrico, como aplicación industrial, no corresponde á estas lecciones en que sería imposible la clasificación, descripción y manejo de los correspondientes aparatos, pues para la iluminación de grandes espacios por la luz del arco voltaico se necesitan aparatos y reguladores de disposiciones varias y de más ó menos complicación, y para extensiones limitadas las bujías eléctricas y lámparas incandescentes.

Sin embargo, como cuestión de uso general y de actual novedad, sin perjuicio de presentar experimentalmente algún ejemplo con el aparato de que se pueda disponer, bastará la indicación siguiente: las varias lámparas incandescentes de luz eléctrica, como la de Edisón, por ejemplo, están reducidas á un globo ó bomba de vidrio en cuyo interior se colocan dos hilos de platino y entre sus extremos, enlazándolos, una hebra muy fina de bambú, carbonizada por un procedimiento especial y encorvada en forma de herradura: los hilos de platino son de longitud tal que sus otros extremos resultan fuera del globo de vidrio que después de hecho el vacío se cierra herméticamente. De este modo no existiendo aire, ni por consiguiente oxígeno, no se efectúa combustión sino

muy lenta y el carbón no se gasta. Colocada la bomba en el sustentáculo ó suspensión conveniente, se produce su iluminación con la incandescencia del indicado carbón mientras circula la corriente en el circuito formado por el carbón, los hilos de platino y los reóforos del generador de la electricidad: circuito que se cierra uniendo los extremos de los reóforos á los exteriores de los mencionados hilos.

Para la iluminación de las lámparas incandescentes se puede emplear la corriente de pares ó pilas de intensidad conveniente según la magnitud de aquéllas, las que se han llegado á disponer hasta formar alfileres, aderezos, etc., que producen efectos fantásticos; pero si la corriente ha de alimentar muchas ó grandes lámparas, entonces se utiliza la corriente de poderosas máquinas de inducción magnética, como las más perfectas de Graham.

15. *Los efectos caloríficos* de la corriente son las grandes temperaturas que ella puede desenvolver en los cuerpos sobre que actúa, según las resistencias que oponen: temperaturas que enrojecen, funden y hasta volatilizan los metales, habiendo conseguido Desprezt llegar á reblandecer el carbón con la corriente de una pila de Bunsen de 600 pares, indicio ya de fusión. Estos efectos, como los luminosos, dependen más de la intensidad que de la tensión y, por consiguiente, de la extensión superficial de los pares.

16. *Los efectos magnéticos* de la corriente son todos los que resultan en las agujas y barras imantadas ó de hierro dulce por la acción ó influencia de una corriente; siendo digno de citarse como primero y principal el experimento de Œrsted, profesor de Física de Copenhague, en 1819, que, aunque sencillo en extremo, es tan importante, porque, utilizado por Ampére y Faraday, engendró *el electromagnetismo*, que forma otra época notable de la electricidad y de la Física, toda vez que de ella se deriva el mágico y colosal poder de la telegrafía eléctrica y telefonía.

17. *El experimento de Œrsted* se reduce á disponer un hilo de cobre paralelamente al eje de una aguja magnética en equilibrio y hacer pasar por aquélla la corriente de una pila, pues en el instante gira la aguja, tendiendo á ponerse tanto más perpendicular á su posición primitiva, ó á la del hilo, cuanto la corriente es más intensa.

II.

18. *Los efectos mecánicos* ó de trasporte de la corriente eléctrica consisten ó se reducen al arrastre ó traslación por la corriente, en circunstancias dadas, de las moléculas de los cuerpos que encuentra á su paso de uno á otro polo, atravesando los líquidos y diafragmas intermedios de una manera tan sutil, que no causa en ellos alteración alguna.

Este fenómeno, de quien es caso particular el trasporte del carbón en el arco voltáico, se puede presentar en la forma más sencilla del modo siguiente: se coloca una disolución de sulfato de sosa en dos cápsulas ó copas, que se ligan por una mecha de amianto empapada de la misma disolución é introduciendo sus extremos en el líquido de ambos vasos. En esta disposición, si se sumergen los electrodos de una pila en actividad, uno en el líquido del primer vaso y otro en el del segundo, la sal se descompone y después de algunas horas se halla todo el ácido sulfúrico de la sal descompuesta en el vaso del electrodo positivo y la sosa en el del negativo, esto es, habiéndose trasladado el ácido procedente del segundo vaso al primero, por la especie de puente formado con el amianto, y la sosa del primero al segundo.

Este hecho, con otros más vistosos y sorprendentes del mismo orden, cuyos detalles se hacen imposibles en estas lecciones, pueden servir como ejemplo del oculto, continuo y misterioso trabajo con que la naturaleza consigue el crecimiento y sostén de los animales y vegetales, y los actos más delicados y difíciles de algunas de sus funciones.

La acción mecánica de las corrientes se puede demostrar también con el respectivo experimento de L. Daniell, fácil de ejecutar con el correspondiente aparato.

19. *Efectos químicos de las corrientes* son las descomposiciones producidas por ellas al atravesar los cuerpos, de las que conviene dar á conocer la tan importante del agua, cuyo hecho se demuestra fácilmente con el voltámetro.

20. *El voltámetro es un aparatito* destinado á repetir fácil y cómodamente el experimento de la descomposición del agua.

Se dispone colocando sobre un pie de madera un pequeño vaso de vidrio de forma de tronco de cono, fijándolo sobre aquél por su base menor; se hacen pasar á través de su fondo dos hilos de platino, quedando fijos y perpendicularmente sobre aquél en el interior del vaso, hasta dos ó tres centímetros de altura, y se unen

los extremos opuestos á dos botones de latón implantados sobre dicho pie. Para practicar la descomposición del agua con el voltámetro se opera así: se le llena con el líquido; se colocan sobre los hilos de platino dos pequeñas probetas llenas también de agua para recoger en ellas los gases resultantes de la descomposición, y, por último, se aplican los electrodos de la pila en actividad á los botones del voltámetro, fijándolos por medio de los correspondientes tornillos, é inmediatamente se ve formarse alrededor de los hilos de platino, que en aquel instante son los verdaderos electrodos, multitud de pequeñas burbujas que se elevan á la parte superior de la respectiva probeta.

Para conseguir fácilmente la descomposición se necesita acidular el agua con unas gotas de ácido sulfúrico, que la hacen más conductriz; pues de lo contrario se verifica muy en pequeño y con gran lentitud. De las circunstancias del experimento de la descomposición del agua por el voltámetro se deduce lo siguiente: 1.° Que el agua se compone de hidrógeno y de oxígeno, pues que analizados los dos gases que se recogen en las respeciivas probetas, se ve que el de la que recubre el electrodo negativo es hidrógeno y el de la colocada sobre el positivo es oxígeno. 2.° Que medidos sus volúmenes, el del hidrógeno resulta doble que el del oxígeno.

21. *En vista de las circunstancias* de la descomposición del agua y en virtud de que electricidades de nombre contrario se atraen y de igual se rechazan, se dice que el oxígeno es electro-negativo, porque se dirige á la probeta correspondiente al electrodo positivo, y que el hidrógeno es electro-positivo, porque se dirige á la correspondiente al negativo.

22. *Se ha convenido en calificar* de cuerpo electro-positivo al que en la descomposición por la pila se dirige al electrodo negativo, y de cuerpo electro-negativo al que lo efectúa al positivo.

23. *Las denominaciones* de cuerpos electro-positivos y electro-negativos no son absolutas, sino relativas de unos á otros al desprenderse de las combinaciones de que forman parte, cuando éstas se descomponen por la corriente eléctrica: por esta razón un cuerpo electro-positivo respecto de un segundo, puede resultar electro-negativo respecto de un tercero.

24. *El medio de determinar* qué elementos de los cuerpos compuestos son electro-positivos y electro-negativos, es el de obser-

var la descomposición de la sustancia que los contiene, y ver á qué polo se dirige cada cual; pues en tal caso se considera electro-negativo al que se dirige al polo positivo, y electro-positivo al que lo efectúa hacia el negativo.

25. *El experimento de la descomposición* del agua por la corriente eléctrica es tan notable, que se puede decir forma otra de las épocas de la historia de las ciencias naturales; porque generalizado el empleo de aquélla para descomponer los cuerpos, se abrió una nueva y amplia vía de análisis, que tanto contribuyó al engrandecimiento y constitución de la Químioa como ciencia.

En efecto, Davy con la pila de artesa de 2000 elementos que la Sociedad Real de Lóndres poseía, llegó al gran descubrimiento de la descomposición de la potasa y de la sosa, en 1808, consiguiendo la descomposición de óxidos y sales.

26. *Se da el nombre de teoría* electro-química de la pila al modo de explicar la producción y duración de las corrientes hidro-eléctricas por las reacciones químicas que se producen entre los metales y líquidos que en aquella se emplean.

27. *La teoría electro-química* de la pila se reduce á desechar la hipótesis de Volta, según la cual la corriente se producía á consecuencia del contacto del zinc y cobre como electro-motores, y á considerar que los que hacen realmente este papel son el zinc y el agua acidulada, reaccionando en la forma siguiente: al hallarse en presencia y contacto del zinc de cada par el agua y ácido sulfúrico, la afinidad de éste con el óxido de dicho metal provoca la descomposición de aquélla en su hidrógeno y oxígeno, á fin de que combinado éste con el zinc se forme dicho óxido y se combine con el ácido, formando el sulfato de zinc, que se disuelve en el líquido restante para ser descompuesto después por la primera corriente, que se origina en la descomposición del agua, y engendrar á su vez otra, que con la desenvuelta igualmente en la descomposición del óxido y reducción del zinc refuerzan la primera y constituyen la corriente total.

Esta no resulta en la misma forma y dirección que se explicaba en el par de Volta, sino que todo pasa en orden inverso á lo dicho en el supuesto de la teoría del contacto: en efecto, al descomponerse el agua, su oxígeno como cuerpo electro-negativo lleva la electricidad de este

nombre y el hidrógeno la positiva como electro-positivo, en cuyo caso al combinarse el primero con el zinc embarga á éste su electricidad contraria, la positiva, y la negativa queda sobre el metal no combinado, extendiéndose en toda su superficie; por cuya razón resulta el zinc cargado de electricidad negativa, convirtiéndose en verdadero polo negativo y constituyéndose el agua, con la positiva que toma al contacto del hidrógeno en el acto de su desprendimiento, en verdadero polo positivo. De esta manera el cobre unido al zinc resulta polo negativo, no porque se efectúe su electrización al contacto de aquel, como suponía la teoría de Volta, sino porque sirve de conductor para sacar la electricidad negativa del zinc; así como el cobre que sumergido en el agua acidulada, sin tocar al zinc y que sale fuera de ella, saca como simple conductor la positiva del agua y se constituye en polo, positivo: con lo que, aunque tan de opuesta manera, resultan las cosas casi en el mismo orden que al explicar por la referida teoría las antedichas pilas.

28. *La teoría electro-química* de la pila, concretándose al par de Wollaston, se puede demostrar con el siguiente experimento: Se sumerge en agua acidulada con ácido sulfúrico una lámina de cobre y no se observa alteración en el líquido, ni tampoco en el cobre examinado con el correspondiente electroscopio, prueba de que no hay acción química ni alteración de su electricidad natural; mas si en vez de lo hecho con el cobre se opera con una lámina igual de zinc, se observa un desprendimiento de burbujas de gas en los puntos de la superficie del zinc: burbujas que, analizadas, se ve son de hidrógeno y además resulta formación de óxido de zinc; prueba de que el agua se ha descompuesto en su oxígeno para combinarse con el zinc, formando un óxido, y en el hidrógeno que se desprende en forma de dichas burbujas; y si se examina el zinc, como lo fué el cobre, se ve que está cargado de electricidad negativa. Además, si se introduce otra vez el cobre sin tocar al zinc y se opera como antes, se ve que se halla cargado de la electricidad positiva, y, por último, si se ponen en comunicación ambas láminas por un hilo conductor, resulta en él una pequeña corriente. Según esto, la acción del agua acidulada sobre el zinc viene á ser la fuerza electro-motriz, sin necesidad de contacto de dos metales heterogéneos, y el circuito el hilo que une las dos láminas, éstas y el agua interpuestas entre ellas.

Aunque, según la teoría electro-química, la corriente de las pilas exige indispensablemente para su producción una acción química, y

bajo este punto de vista resulta desechada la teoría de la electricidad por contacto ideada por Volta, sin embargo, en virtud de nuevas investigaciones se vuelve á admitir por algunos, que aun cuando el solo contacto no sea suficiente para producir las corrientes sin la acción química, no por esto deja de ser hecho verdadero el desarrollo de la electricidad por contacto.

29. *El estudio de los efectos químicos* de las corrientes y la teoría electro-química de las mismas ha producido una serie de hechos que, reunidos, constituyen hoy un ramo ó tratado especial denominado *electro-química*.

30. *Electro-química* es la parte de la electricidad dinámica que estudia la descomposición de los cuerpos por la corriente eléctrica.

31. *Electrolisis ó electrolisación* es la operación de descomponer los cuerpos por la corriente eléctrica, llamándose electrolitos á los cuerpos directa ó inmediatamente descomponibles por la corriente eléctrica, y el de *electrolicales* á los no descomponibles.

Se dió el nombre de *anodo* al electrodo positivo, el de *catodo* al negativo y el de *iones* á los elementos separados por la electrolisación, apellidando *anión* al que se dirige al anodo y *ación* al que va al catodo.

Según esta nomenclatura, que aunque no usada por lo general, conviene conocer para cuando se encuentre en algún texto, en la electrización del agua ésta es el electrolito, el oxígeno y el hidrógeno los iones, el oxigeno el anión y el hidrógeno el ación.

LECCIÓN XCVII.

Inconvenientos de la pila de Wollaston.—Pilas de corriente constante, especialmente las de Becquerel, Daniell, Bunsen, Grove y Granier.—Pilas secas de Zamboni.—Polarización y acumuladores eléctricos.—Breve idea de la galvanoplástica.

1.ª *De lo expuesto* en explicación de la teoría química del par de Wollaston, se deduce, que enlazados varios pares y puestos en comunicación sucesiva el elemento zinc de uno con el elemento cobre del siguiente, resultará la pila y, según su disposición, sus polos serán: positivo el elemento cobre sumergido en el mismo vaso que el último zinc, sin tocar á éste, y negativo el elemento zinc del primer par, ó sea la lámina de cobre que lleva unida y á la que se fija uno de los reóforos, que por lo mismo será el ne-

gativo, así como será positivo el que sale del último cobre en contacto con el agua sin tocar al zinc vecino.

2.ª *La pila de Wollaston*, además de lo muy voluminosa que resulta, ofrece el inconveniente de que, puesta en actividad, al poco tiempo empieza á decrecer la corriente, debilitándose más y más hasta hacerse casi nula; por cuya razón se hace necesario con mucha frecuencia el limpiarlas y el volver á cargar los vasos con nueva agua acidulada.

El origen de estos inconvenientes se explica así: la corriente del zinc al cobre, en cada vaso, descompone primero al sulfato de zinc formado, engendra la segunda corriente de las tres que forman en cada vaso la total, y dirigiéndose el ácido al zinc, el óxido lo efectúa hacia el cobre; el óxido es descompuesto á su vez por la corriente, el oxígeno se dirige hacia la lámina de zinc, el metal de este mismo nombre lo efectúa hacia la del cobre y se engendra la corriente tercera; con lo que el zinc se va depositando poco á poco sobre las caras del cobre. De esta manera la lámina de cobre de enfrente al zinc, después de más ó menos tiempo, resulta cubierta por una película de zinc y como si las dos láminas de cada vaso fuesen de este mismo metal. En tal caso, obrando el cobre cubierto con la película de zinc como si fuese una lámina de este metal, empieza á descomponer el agua de su proximidad en cada vaso, y se origina un orden de corrientes como las engendradas primero del zinc al cobre, cuyas corrientes, denominadas corrientes secundarias, resultando en orden inverso al de las primeras, producen la debilitación y extinción de unas con otras. Á esto mismo contribuye además la debilitación del agua acidulada, por consumirse su ácido sulfúrico en la formación del sulfato de zinc, que precipitándose al fondo del respectivo vaso, queda sin descomponer

3.ª *Los inconvenientes* de la pila de Wollaston se han remediado con las pilas de corriente constante.

4.ª *Se da el nombre* de pilas de corriente constante á las que evitan los inconvenientes de las de Wollaston y producen la corriente con bastante uniformidad durante largo tiempo. La disposición de sus pares se reduce esencialmente á colocar cada uno de los dos elementos en dos líquidos diferentes, separados por un tabique poroso, que permite el paso á la corriente é impide que el zinc vaya á depositarse sobre el cobre. De estas pilas, aunque tan variadas en su forma y disposición como multiplicadas en número, conviene desde luego conocer las siguientes: las de Becquerel, Daniell, Bunsen, Grove y Granier.

5.ª *La pila de Becquerel*, primera idea de las de corriente constante, inventada por dicho físico en 1829, y de la cual, aun cuando no se use ya, las otras no son más que modificaciones sucesivas, se forma con sus respectivos pares, de los que cada uno consta de una caja ó vaso de cobre con un saquillo de lona en su interior y una lámina de zinc dentro del dicho saquillo: se carga con agua saturada de sulfato de cobre en el espacio comprendido entre dicho metal y la lona, y con agua acidulada por el ácido sulfúrico, ó saturada con sal común, dentro del saquillo bañando al zinc.

6.ª *La pila inventada por Daniell*, en 1836, consiste en una disposición semejante á la de Becquerel, con la diferencia de que en vez del saquillo de lona se usa un vaso poroso de porcelana sin vidriar. La disposición de los pares del modelo más sencillo y perfecto es la siguiente: en un vaso cilíndrico de vidrio ó porcelana se coloca un cilindro hueco de zinc, abierto por ambas bases y cortado en el sentido de su lado ó generatriz; dentro del zinc se pone un vaso poroso, y en su interior una cápsula de cobre con orificios, atravesada por una varilla del mismo metal que, llegando hasta el fondo, sostiene aquélla en la parte superior: se carga con la disolución del sulfato de cobre en el vaso poroso donde está el cobre, y con el agua acidulada en el de vidrio ó porcelana donde está el zinc, constituyendo éste el polo negativo y el cobre del vaso poroso el positivo.

7.ª *La pila inventada por Bunsen*, en 1843, sólo se diferencia de la de Daniell en que en el vaso poroso se sustituye con ácido nítrico la disolución de sulfato de cobre, y en vez de sumergir en su interior, como polo positivo, el cobre, se sumerge un paralelipípedo recto rectangular de carbón.

Este carbón es una pasta fuerte y dura que se forma calcinando, en moldes de palastro, una mezcla de cok y de ulla grasa bien pulverizados y comprimidos fuertemente.

8.ª *La pila de Grove* es la misma de Bunsen, con la sola diferencia de sustituir el carbón por una lámina de platino como polo positivo.

9.ª *La pila de Bunsen*, aunque por los grandes resultados que produce se puede considerar como la principal, sin embargo, tiene

el inconveniente de lo trabajosa que es su preparación, sostenimiento y, el más grave que ofrece, el empleo del ácido nítrico, por los vapores desagradables y nocivos del ácido hiponítrico que resulta de la descomposición de aquél por la corriente. Por esta razón, para evitar tales inconvenientes, se ha trabajodo tanto á fin de hallar otras que puedan reemplazarla con ventaja; así es que se han ido ideando sucesivamente tantas, que se hace imposible aun el enumerarlas, no pudiendo determinar cuál de ellas sea la preferible, pues que sus ventajas son relativas, según las aplicaciones á que se pueden destinar.

Para dar idea del número de nuevas pilas inventadas, basta citar las siguientes: la de bicromato de potasa, de Bunsen; la de M. Marie-Davy, ó de sulfato de Mercurio; la de M. Callaud, ó sin diafragma; la de Minoto, ó de arena; las de Leclanche, especialmente la modificación de ésta suprimiendo el vaso poroso; la de Granier, ó de bicromato de potasa; la de Duchemin, la de Truvé, la de sal común y otras muchas para usos especiales.

10. *El par Granier* ó de bicromato de potasa, en forma de botella, y la pila que con ellos se forma es de uso fácil y cómodo, y por lo mismo muy á propósito para los experimentos de clase y de laboratorio. Su disposición es la siguiente: perpendicularmente á una de las caras de un disco de ebonita, como obturador del frasco donde se introduce, se colocan paralelas y con la debida separación dos planchas rectangulares de carbón de retorta, unidas por un extremo y en comunicación con un botón metálico que hace de polo positivo sobre la otra cara del disco; en el intermedio de dichas láminas de carbón se dispone otra de zinc de mitad de longitud, que comunica con un segundo botón metálico situado sobre la misma cara del disco que el primero, y que será polo negativo. El líquido con que se carga es una disolución formada con 100 gramos de bicromato de potasa en 100 gramos de ácido sulfúrico y esta primera disolución se mezcla con 800 gramos de agua.

El modo de operar es el siguiente: sumergido el par en la disolución, por su reacción sobre el zinc se descompone el agua, su oxígeno va al zinc, y el hidrógeno, al dirigirse al carbón, se combina con el oxígeno que se desprende al formarse un sulfato doble de cromo y potasa; con lo que, y no llegar el zinc sino á poca profundidad del líquido, se evita la polarización. Cuando se quiere

suspender la corriente, se hace salir del líquido al zinc por medio de una varilla de latón á que va unido, y si se ha de operar con una pila de dos ó más pares, enlazados como en todas, se colocan sus elementos en un sustentáculo que se puede subir y bajar con las manos ó más cómodamente á torno.

11. *Los elementos de los pares* de las pilas de corriente constante se reunen para formar aquéllas, enlazando por medio de los correspondientes tornillos de presión el zinc de uno con el cobre, carbón ó platino del siguiente, mediante los apéndices que al efecto llevan los respectivos elementos.

El enlace de los pares de las pilas de Bunsen, y demás de las de corriente constante, se puede efectuar de diferentes maneras, según haya de ser su empleo. Por ejemplo, seis pares se pueden enlazar, primero en una sola serie longitudinal, en la cual el polo positivo del primer par resulta polo positivo de la pila, y negativo de la misma el negativo del último; segundo en dos series paralelas de á tres pares cada una, y tercero en tres series paralelas de á dos.

12. *Todas las pilas* como las de Volta, sus modificaciones y las de corriente constante se suelen denominar hidro-eléctricas, por la circunstancia de exigir el uso de líquidos: las de corriente constante se les suele denominar pilas de dos líquidos, por las dos disoluciones que en ellas se necesitan generalmente.

13. *Pilas secas* son las que, aun cuando verdaderamente vienen á ser como las de columna, no exigen expresamente líquidos cual las hidro-eléctricas, sino que en vez de las rodajas humedecidas con el agua acidulada, se usa una sustancia sólida higrométrica ó ligeramente humedecida, como en las de Zamboni.

Estas pilas son notables por lo duradero de su acción, que se puede prolongar muchos años, las cuales, aunque con 2000 pares no dan chispas ni conmociones, pueden cargar, si bien muy lentamente, una botella de Leyden.

14. *La pila seca de Zamboni* se construye del modo siguiente: sobre una cara de papel, plateado ó estañado por la otra, se extiende y fija por medio de agua salada, miel ó cualquier cuerpo graso, una capa de bióxido de manganeso bien lavado; se superponen en el mismo orden varias hojas así preparadas, y con un sacabocados se dividen en discos de 25 milímetros: estos se apilan

de manera que dirigidas todas las caras metálicas en un mismo sentido y las cubiertas con el bióxido en el opuesto, resulte cada cara de estas últimas en contacto con la inmediata de las primeras. Reunido así un número considerable de discos, 1200 á 2000, se coloca sobre cada extremo de la pila un disco de cobre y se prensa y cubre el todo con un cuerpo aislador. El disco de cobre que insiste sobre la base en que se halla el bióxido es el polo positivo, y el colocado en contacto con la opuesta, que es la plateada ó estañada, resulta negativo.

15. *El electrómetro de Bonhenberger* es un electroscopio de una sola hoja de pan de oro, de condensador ó sin él, y en disposición tal que aquélla resulta equidistante de los polos contrarios de dos pilas secas colocadas verticalmente bajo la campana del aparato sobre la base metálica de éste. Se usa cargando el electroscopio con el cuerpo cuya electricidad se desea determinar, y el signo de ésta será el contrario al del polo por quien la hoja sea atraída, como es fácil explicar.

16. *En todas las pilas hidro-eléctricas*, hasta en las de diafragma, resultan corrientes secundarias que entorpecen la corriente primaria, y aunque en las de diafragma se evite la precipitación del zinc sobre el cobre, no se impide el fenómeno de la polarización de los pares.

17. *Polarización de los pares* en las pilas hidro-eléctricas es el hecho que consiste en lo siguiente: el hidrógeno resultante de la descomposición del agua, fijándose ó acumulándose en la superficie del elemento cobre ó carbón, forma una capa ó película en que se condensa la electricidad positiva, con lo que dicho elemento, resultando menos conductor, dificulta la salida de la electricidad positiva y, por consiguiente, la marcha de la corriente.

18. *Entre los usos de las pilas* de corriente constante, además del indicado para la luz eléctrica, hay uno sumamente importante, cual es el que tienen en la galvanoplastia, otro de los tantos descubrimientos modernos admirable é importantísimo: data de los años 1838 á 1840 y fué debido á Jacobi, físico ruso, y al inglés Espencer, que hizo la misma invención que Jacobi un año después.

19. *Galvanoplastia ó galvanoplástica* es el arte de precipitar

los metales, tenue y gradualmente, sobre las superficies de otros cuerpos, mediante la acción de la corriente eléctrica, al descomponer las sales metálicas y reducir sus respectivos metales.

20. *Los resultados de la galvanoplostia* son de dos clases: unos que consisten en cubrir las superficies de los cuerpos con finísimas capas de metal precipitado sobre aquéllas por la acción de la corriente, y otro que consiste en formar planchas ó mazas metálicas en moldes convenientemente dispuestos para reproducir las formas de objetos determinados, como medallas, grabados, bustos, etc.

Por esta razón la galvanoplastia se puede considerar dividida en dos partes: una que pudiera apellidarse galvanoplastia, ó de cualquier otra manera, y tiene por objeto el dorado, plateado, etc. denominados galvánicos, y otra que es la que debe llamarse propiamente galvanoplástica y tiene por objeto el modelado ó reproducción de formas, con moldes, por medio de la corriente eléctrica.

21. *La voz galvanizar* significa en realidad cubrir ó dar un baño de metal sobre la superficie de cualquier cuerpo por la acción de la corriente, como sucede en el dorado y plateado galvánico.

Por analogía se da el nombre de alambre de hierro galvanizado al que, preparado convenientemente é introducido en un baño de zinc fundido, se cubre de una capa de este metal para su empleo como conductor en los hilos telegráficos; mas tal denominación es impropia, no habiendo mediado la acción de la corriente eléctrica.

22. *El principio fundamental* de la galvanoplastia es el hecho indicado al explicar (XCVII—2.°) el inconveniente de la pila de Wollaston; pues en virtud de la descomposición de las sales metálicas, al ser reducido su metal, éste como cuerpo más electro-positivo se dirige al polo negativo en el estado de división extrema con que resulta, y se deposita y extiende sobre la superficie de los cuerpos unidos á dicho polo, formando sobre sus caras esas finísimas capas que los doran, platean, cobrean, etc. ó que, llenando los más sutiles trazos impresos en los moldes, reproducen los detalles más delicados é imperceptibles de las formas que se quieren modelar.

El modo de operar se reduce esencialmente á disponer un baño con una disolución de las sales de que, por la acción descompo-

nente de la corriente y de sus mutuas reacciones, ha de resultar el metal reducido, y á introducir en dicho baño los reóforos de la pila que se use, en uno de cuyos electrodos, el negativo ó que sale del zinc, se suspende el objeto ó molde que se haya de cubrir, y en el otro, el positivo ó que sale de una lámina de cobre ó de carbón, una lámina del mismo metal que se trate de precipitar.

23. *Cuando los moldes y objetos* que se hayan de emplear en la galvanoplastia son malos conductores, se cubren con plombagina bien pulverizada y tamizada, que haciéndolos conductores, los pone en disposición de atraer y fijar sobre sí el metal reducido.

24. *Los demás pormenores* de la práctica de la galvanoplastia, de formar los diferentes baños según los casos, de preparar los moldes de las varias maneras que puede efectuarse, etc., son operaciones más bien químicas que físicas y sobre todo industriales, razón por la cual son impropias de la Física elemental, correspondiendo realmente á la industria, en cuyos talleres se ejecutan tantas y varias obras, bellas unas é interesantes otras.

25. *La polarización de los pares* en las pilas hidro-eléctricas, que con las corrientes secundarias perjudican la producción y marcha de la corriente en los reóforos, se ha aprovechado ventajosamente por Mr. Planté, construyendo los pares secundarios á los que se da el nombre de acumuladores de electricidad dinámica ó simplemente *acumuladores eléctricos*.

26. *Acumuladores eléctricos* son los pares que, interpuestos en un circuito voltaico el tiempo necesario, adquieren, aunque pasajeramente, las propiedades de los de cualquier pila.

Su descripción, enlace para formar con ellos pilas, modo de cargarlos por la corriente de dos pares de Bunsen, así como su construcción y uso se pueden explicar fácilmente á la vista del correspondiente modelo.

LECCIÓN XCVIII.

Electro-magnetismo.—Su origen.—Regla de Ampere relativa al desvío de la aguja imantada por la acción de la corriente eléctrica.—Acción de los imanes sobre la corriente eléctrica y flotadores para demostrarla.—Galvanómetros.—Principio en que se funda su construcción y clasificación de los mismos.—Indicación de las unidades eléctricas.

1.ª *Se da el nombre* de electro-magnetismo á la parte del tratado de la electricidad dinámica que estudia las acciones recíprocas de las corrientes eléctricas sobre los imanes y cuerpos magnéticos, y viceversa, las de los imanes sobre aquéllas, esto es, sobre los conductores en que las mismas circulan.

2.ª *El origen de este experimento* fué el efectuado por Œrsted y descrito (XCVI—17). Su repetición hace ver que el desvío de la aguja, á causa de la corriente, es tal que aquélla tiende á tomar una dirección perpendicular á la de dicha corriente, esto es, al hilo conductor de las mismas.

3.ª *El desvío que la corriente eléctrica* produce en la aguja imantada respecto á su posición de equilibrio, ó sea el ángulo que la nueva dirección forma con la primitiva en el meridiano magnético, se aproxima á los 90°, tanto más cuanto mayor es la intensidad de la corriente y la potencia magnética de la aguja, pues cuando la dirección de la corriente es perpendicular á la de la aguja en equilibrio, el desvío no tiene lugar, sino que por el contrario la aguja se fija más en su posición.

4.ª *La dirección* que toma la aguja imantada al ser desviada por la corriente eléctrica ó sea el sentido en que giran los polos, depende de la situación del hilo conductor y del sentido de la misma; pero todos los casos resultantes se pueden reducir á uno solo, constituyendo una regla fija y sencilla denominada regla de Ampere.

5.ª *La regla de Ampere* se enuncia del modo siguiente: la acción de la corriente eléctrica sobre la aguja imantada es tal que, suponiendo al observador tendido sobre el hilo conductor, entrándole aquélla por los pies y saliéndole por la cabeza, y mirando de frente hacia la aguja, verá siempre desviado á su izquierda el polo austral de ella, esto es, el que se dirige al norte.

6.ª *La acción de los imanes* sobre las corrientes eléctricas se puede demostrar fácilmente por medio de los conductores móviles, de los que los más sencillos son los flotadores de M. de la Rive.

7.ª *Los flotadores de M. de la Rive* se reducen á una lámina de corcho atravesada perpendicularmente por dos láminas rectangulares, una de zinc y otra de cobre, ligadas por su parte superior con un alambre de este mismo metal formando círculo, cuadrado, rectángulo ú otros circuitos de más ó menos circunvoluciones. Se usan colocándolos flotantes en agua acidulada por el ácido sulfúrico, en cuyo caso se establece una pequeña corriente, como en los vasos de la pila de Wollaston, del zinc al cobre dentro del líquido y del cobre al zinc en el alambre.

8.ª *Para demostrar* la acción de un imán sobre la corriente, se coloca en el agua acidulada un flotador, por ejemplo el circular ó el cuadrado, se le presenta un polo de una barra magnética y al momento gira, avanzando ó retrocediendo como por atracción ó repulsión, según el polo que se presenta y situaciones respectivas del flotador y del imán.

9.ª *Para demostrar qne la tierra* ejerce sobre las corrientes su acción magnética como los imanes, se coloca el flotador en el agua acidulada y se ve que la corriente ó hilo conductor recibe una dirección determinada, pues que la rama por donde desciende se dirige siempre al Este.

10. *Entre las aplicaciones* del electro-magnetismo se ha hecho una sumamente importante para el estudio de las mismas corrientes, que es el aparato denominado reómetro.

11. *El reómetro, galvanómetro ó multiplicador* es un aparato que sirve para dar á conocer la existencia de las corrientes eléctricas, por débiles que sean, y su sentido é intensidad.

12. *El principio en que está fundada* la construcción del reómetro es el de que si una corriente rectilínea no es suficiente para conmover la aguja, rodeada ésta por el hilo conductor de aquélla encorvado ó tendido en forma de trozo de polígono, por cada uno de sus lados se produce igual efecto sobre la primera y, por la regla de Ampere, todas las acciones tienden á conmoverla en igual sentido, produciendo como una resultante mayor que la de la corriente rectilínea sola; con lo que se logra mover á la aguja como

si se hubiera multiplicado la corriente. Por esta razón, rodeando á la aguja imantada con bastantes circunvoluciones paralelas del mismo hilo, se multiplica prodigiosamente la acción de la corriente sobre la aguja, logrando de esta manera llegar á conmoverla por débil que sea aquélla.

Aunque el número de circunvoluciones multiplique más y más la corriente, no se debe creer que esto pueda conseguirse de una manera ilimitada, pues excediendo cierto límite, el aumento de circunvoluciones se hace más perjudicial que útil.

13. *Los galvanómetros*, aunque tan varios en número y forma según los diferentes usos á que se destinan, sean horizontales ó verticales, se pueden reducir á las dos clases siguientes: 1.ª Los de una sola aguja, y 2.ª los de un par de ellas formando un sistema astático ó semiastático.

14. *El reómetro* de una sola aguja, debido á Schowergger, se reduce á un pequeño cuadro ó bastidor de madera, alrededor de cuyos lados se arrolla un hilo de cobre, cubierto de seda á fin de aislar unas circunvoluciones de otras, dando bastante número de vueltas paralelas, y en el interior va sostenida una aguja imantada sobre un estilete fijo perpendicularmente á uno de los lados del bastidor.

El reómetro de dos agujas, debido á Nobili y que se puede llamar propiamente galvanómetro, se compone de un pequeño bastidor, á cuyo alrededor se arrolla el hilo de cobre cubierto de seda y sobre el cual hay un círculo horizontal graduado, cuyo cero corresponde á un extremo del diámetro paralelo á la dirección de las circunvoluciones del hilo. Dicho círculo lleva la graduación hasta 90°, á uno y otro lado del cero, yendo á parar los extremos del antedicho hilo á unos botones metálicos fijos sobre un apoyo horizontal, que sostiene al bastidor y círculo graduado á él superpuesto, y que puede girar alrededor del centro de aquél por medio de un eje implantado en el centro del pie del aparato. Dichos botones sirven para ligar á ellos, por medio de los correspondientes tornillos, los electrodos de cualquier circuito atravesado por una corriente. Sobre el indicado pie se levanta un pequeño bastidor metálico, que sostiene en el punto medio de su lado superior, con una hebra de capullo de seda, un sistema astático, esto es, una aguja astática ó mejor semi astática, de cuyas agujas la

superior queda sobre el círculo graduado paralela y proxima al mismo, y la otra, pasando por una abertura longitudinal en el sentido del diámetro que corresponde al cero de la graduación del círculo, va á parar á la parte media del espacio hueco comprendido por las circunvoluciones del hilo. El todo se cubre con un pequeño fanal de vidrio para evitar el movimiento de la aguja por la agitación del aire, y el pie lleva tres tornillos para poder nivelar el aparato.

15. *Se hace uso del sistema de agujas semi astáticas*, porque con la disposición de éstas se logra que las acciónes magnéticas de la tierra sobre cada una de ellas casi se neutralicen por la posición opuesta de las mismas, y queden reducidas á una muy pequeña diferencia; razón por la cual, no resultando contrariada con toda la potencia magnética del globo la acción de la corriente para desviar la aguja, puede producir el desvío de ésta, por pequeña que sea la intensidad de aquélla.

16. *Se da el nombre de aguja astática* ó sistema astático á la reunión de dos agujas igualmente imantadas, paralelas, con sus polos dispuestos en sentido contrario y unidas por su centro de gravedad á un pequeño eje de cobre; y el de semiastática al sistema de dos agujas como las astáticas, de las cuales una esté algo más imantada que la otra, á fin de que pueda ser dirigida al meridiano magnético por la acción restante del globo cuando deja de actuar dicha corriente.

17. *El principio en que se funda* la graduación del galvanómetro y medida de las corrientes con el mismo, es el de que las desviaciones de la aguja son proporcionales á las intensidades de las corrientes, mientras los desvíos no exceden de 20°.

18. *El principio fundamental* de la graduación del galvanómetro se demuestra por medio del reómetro diferencial ó de dos hilos, que se construye como se ha indicado al describir el de dos agujas, con la sola diferencia de arrollar, en vez de uno, dos hilos de cobre, cubiertos igualmente de seda é idénticos en longitud y diámetro; de suerte que dirigiendo por ambos á la vez corrientes de igual sentido, se combinen componiéndose en una mayor, ó que haciéndolas pasar una en un sentido y otra en el opuesto, se contraríen.

19. *Para demostrar que los desvíos* de la aguja del galvanómetro son proporcionales á las intensidades de las corrientes, se opera así: se hace pasar por uno de los dos hilos del aparato una corriente dada, y se ve que si ella sola produce un desvío de 4 grados, haciendo pasar á la vez por el otro una segunda de igual valor que la primera, resulta un desvío como 8, doble del primero, siempre que ambas vayan dirigidas en el mismo sentido. Asimismo si se dirigen dos corrientes de igual sentido que por separado produzcan un desvío de 12 la primera y otro de 4 la segunda, al obrar simultáneamente las dos producen 16, suma de aquellos números; pero si recorren dichos hilos en sentido inverso, sólo se obtiene un desvío de 8 grados, diferencia de los 12 y 4 correspondientes á cada una de ellas por separado.

La proporcionalidad de los desvíos de la aguja del galvanómetro no es más que hasta 20°; por cuya razón, para corrientes de mayor intensidad no es posible prolongar la división, sino continuando la graduación directamente en el orden indicado y construyendo á cada galvanómetro una tabla particular para calcular la relación entre la intensidad de la corriente y el desvío producido por ella; así es que los galvanómetros sin la construcción y uso de la correspondiente tabla, no sirven sino para indicar la presencia y dirección de las corrientes, pero no podrá medir las intensidades de éstas cuyos desvíos excedan de 20 grados.

20. *Los galvanómetros de un solo hilo* se pueden construir de dos clases: unos de hilo corto y grueso y otros de hilo largo y delgado.

21. *Los galvanómetros de hilo corto y grueso* son los que se forman con un hilo de estas condiciones y 200 á 300 circunvoluciones solamente: se usan para corrientes débiles y casi imperceptibles, como las termo-eléctricas.

22. *Los galvanómetros de hilo largo y delgado* son los construidos con hilos de esta clase y 600 á 800 circunvoluciones por lo menos, si bien llegan, generalmente, á 2000 ó 3000, y para experiencias muy delicadas hasta 30000: se usan para corrientes de alguna consideración, como las producidas por las acciones químicas.

23. *La electricidad estática* tambièn ejerce acción sobre las agujas magnéticas, si bien produce su desvío con mayor dificul-

tad y muy poca energía, lo que se demuestra experimentalmente haciendo uso de un reómetro de hilo corto y grueso de 200 á 300 vueltas, y estableciendo la corriente uniendo los extremos de aquél, uno con los conductores de una máquina eléctrica y otro con sus almohadillas, ó también cada cual con una de las armaduras de una botella de Leyden, pues en ambos casos, al saltar la chispa, la aguja del galvanómetro se desvía más ó menos en uno ú otro sentido, según el de la dirección en que resulta establecida la corriente y la distancia á que haya saltado la chispa.

La electricidad, como las demás manifestaciones de la energía, siendo entidad que puede aumentar y disminuir, es cantidad, pero ¿es cantidad medible, esto es, cantidad matemática? En un principio se trató de apreciar y relacionar sus efectos de alguna manera, mas no teniendo unidades á propósito, no era fácil su medida ni sujetarla al cálculo matemático. Sin embargo, llegado el estudio de la electricidad á cierta altura con los rápidos progresos de sus invenciones y aplicaciones, especialmente con el descubrimiento de la descomposición del agua y la gran práctica de las pilas eléctricas en galvanosplática y telegrafía, aunque no sea todavía problema completamente resuelto, se ha llegado á establecer ciertas unidades, mediante las cuales se hace posible el empleo del cálculo en el estudio de la electricidad, viniendo á ser su estudio físico-matemático. Por esta razón, si bien no es dable ocuparse de tal cuestión, superior al grado de lecciones elementales, es conveniente indicar las clases de unidades prácticas establecidas, aunque sólo sea para que se conozcan sus nombres, que se van usando ya en tratados de la electricidad y sus aplicaciones.

En efecto, además del empleo del galvanómetro para apreciar la existencia de corrientes eléctricas, su intensidad y dirección, se estableció el equivalente eléctrico, en virtud á que las cantidades de los gases recogidos en la descomposición del agua por la corriente eléctrica en el voltámetro resultaban proporcionales á la intensidad de aquéllas, y además las unidades denominadas: el *coulomb*, el *ampere*, el *ohmad* y el *volta*.

24. *Se dió el nombre* de equivalente eléctrico á la cantidad de electricidad necesaria para descomponer en un minuto un equivalente de agua, que se representa en química por H O.

25. *El coulomb* es la cantidad de electricidad que, al atravesar en forma de corriente una disolución de plata, precipita una milésima de gramo de este metal.

26. *El ampere*, unidad á que se refiere la intensidad de la co-

rriente, es un coulomb por segundo, de modo que la intensidad eléctrica se expresa por amperes diciendo: uno, dos, etc. amperes, según que la cantidad que pasa en un segundo es de un coulomb, dos, etc.

27. *El ohmad*, ó simplemente ohm, unidad á que se refiere la resistencia, aunque no bien determinada aún, se puede decir es la resistencia que opone á la corriente un hilo de cuatro milímetros de diámetro y cien metros de longitud.

28. *El volta*, ó simplemente *volt*, unidad aunque muy indeterminada para la expresión de la fuerza electro-motriz, es la de un par de Daniell próximamente.

LECCIÓN XCIX.

I. Electro-dinámica y diferentes clases de corrientes que en ella es necesario considerar.—Principales leyes electro-dinámicas.—Corrientes por inducción tanto eléctrica como magnética y sus respectivas leyes. II. Corriente derivada y extracorriente. — Corrientes termo-eléctricas, su demostración con el par de Seebeck, diferentes medios de desenvolverlas é indicación de las pilas termo eléctricas.

I.

1.ª *Se da el nombre* de electro dinámica á la parte de la electricidad que estudia las acciones mutuas de las corrientes eléctricas entre sí en los diferentes casos en que pueden actuar unas sobre otras, ya sean fijas ó móviles, ya rectilíneas, sinuosas, etc.

2.ª *Las denominaciones* de corrientes fijas, móviles, etc. significan la forma y disposición de los hilos metálicos por donde se dirigen las corrientes, engendradas con los correspondientes aparatos á fin de hacer actuar unas sobre otras en las varias condiciones con que es posible lo efectúen. Por esta razón se ha convenido en llamar corriente fija á la que pasa por hilos, barras ó partes metálicas de los aparatos que permanecen constantemente inmóviles; móvil á la que circula en hilos ó partes metálicas sostenidas de manera que puedan moverse fácilmente; rectilínea la que atraviesa á un hilo metálico extendido en línea recta; sinuosa cuando dicho hilo forma circunvoluciones más ó menos complicadas; circular cuando el mismo hilo forma círculo y así de las demás denominaciones de esta especie.

3.ª *Las corrientes eléctricas*, por su dirección, pueden ser paralelas ó angulares: son paralelas cuando sus hilos conductores están situados paralelamente, y angulares cuando forman ó tienden á formar ángulo.

4.ª *Las corrientes eléctricas* por su extensión pueden ser limitadas é ilimitadas: limitadas cuando se consideran en una parte limitada del hilo conductor é ilimitadas cuando en hilos cuya longitud se pueda considerar infinita.

5.ª *En la acción mutua* de las corrientes paralelas se observan las dos leyes siguientes: 1.ª Dos corrientes paralelas dirigidas en un mismo sentido se atraen. 2.ª Las mismas dirigidas en sentido contrario se repelen.

6.ª *En las corrientes eléctricas* angulares se observan también otras dos leyes que se enuncian así: 1.ª Dos corrientes angulares se atraen cuando se aproximan ó se alejan ambas á su punto de concurso. 2.ª Las mismas se rechazan si la una se dirige hacia el vértice del ángulo que forman y la otra se aleja.

7.ª *De la comparación* de las leyes de las corrientes angulares con la de las paralelas resulta, que todas se pueden resumir en una ley general con el enunciado siguiente: las corrientes angulares ó partes de éstas, al actuar unas sobre otras se atraen si van dirigidas en un mismo sentido, y se rechazan si lo efectúan en sentidos opuestos, por cuya razón las partes contiguas de una misma corriente se pueden considerar repeliéndose siempre, toda vez que las correspondientes á dos puntos inmediatos pueden concebirse como alejándose la una y acercandose la otra al punto intermedio como vértice de un ángulo.

Estas leyes, y cuantas consecuencias de ellas resultan, se demuestran con aparatos que se suelen denominar electro-dinámicos.

Los empleados para tales demostraciones son los de Amperé y Puillet, tan sencillos como ingeniosos, que no sólo demuestran las leyes de las acciones mutuas de las corrientes y sus consecuencias, sino que sirven también para demostrar con más facilidad y perfección las leyes electro-magnéticas; pero no es dable describirlos según el plan de estas lecciones.

Las corrientes se conducen unas respecto de otras como verdaderas fuerzas y, por consiguiente, como cantidades matemáticas, lo que se prueba por los hechos citados al hablar de la graduación del reómetro de dos hilos con que se demostró la proporcionalidad de los desvíos de su aguja.

La acción mutua de las corrientes, combinadas convenientemente,

pueden producir sistemas á propósito para convertir la electricidad en verdadero motor, como se concibe fácilmente vistos una vez los movimientos atractivos y repulsivos que es posible establecer al presentarse unas corrientes á otras; si bien es más patente tal aserto mediante la combinación del electro-magnetismo, electro dinámica y los efectos de inducción. Ejemplo de ello es la aplicación de motores eléctricos que ya se hace en agricultura, navegación é industria.

8.ª *Corriente por inducción* es la que se desenvuelve en un conductor metálico por la influencia de una corriente eléctrica que circula en otro próximo y convenientemente dispuesto, ó bajo la influencia de imanes poderosos y aun por la sola acción magnética del globo.

9.ª *Corriente inductora* es la que al circular en un conductor desenvuelve por su influencia una segunda en otro más inmediato y corriente inducida la engendrada por la influencia de otra inmediata y preexistente á ella.

10. *Las corrientes inducidas* se dividen en órdenes, denominándolas de 1.er orden, de 2.°, 3.°, etc.: de primer orden es la engendrada por la acción inmediata de una primera corriente, que es la verdaderamente inductora; de segundo orden es la engendrada por una inducida de primero, que viene á ser su inductora; de tercero la producida por una inducida de segundo, y así sucesivamente.

11. *Las corrientes inducidas* de los diferentes órdenes ofrecen en sus intensidades respectivas una gradación semejante á la que se observa en los conductores aislados, esto es, que decrecen sucesivamente, siendo menores las de segundo que las de primero, las de tercero que las de segundo y así sucesivamente.

12. *Las leyes de la inducción* de una corriente eléctrica por otra, ó por los imanes, se demuestran con el aparato denominado *bobina* ó carrete eléctrico, que puede ser de uno ó de dos hilos.

La bobina de un solo hilo es un cilindro hueco en forma de carrete, en que se arrolla un hilo de cobre grueso ó delgado, cubierto con hilo de seda ó algodón, cuyos extremos quedan unidos á dos botones de latón situados sobre la peana en que se coloca fijamente el carrete, y otras veces libres según su uso.

La de dos hilos se puede disponer en un solo carrete ó en dos separados, uno con hilo grueso y el otro con hilo delgado, tales que el diámetro interior del segundo sea mayor que el del primero para poder cubrir ó descubrir el uno con el otro, bajándolo ó subiéndolo.

13. *La inducción eléctrica* se demuestra con la mayor generalidad usando la bobina de dos hilos en dos carretes, del modo siguiente: se ponen en comunicación con los botones de un galvanómetro los extremos del hilo delgado de un carrete; los de los reóforos de un par ó de una pila con los botones del carrete de hilo grueso, y cubriendo este carrete con el otro, nada se observa mientras circula una corriente continua por el hilo grueso. En tal disposición, si se abre y cierra el circuito del hilo inductor, el galvanómetro indica instantáneamente el paso de una corriente en el circuito que forman el hilo delgado y el del galvanómetro. Además, si cerrado el antedicho circuito, se cubre ó descubre rápidamente el carrete de hilo grueso con el otro, se observan iguales resultados respectivamente que los indicados en los casos anteriores: todo lo que es fácil comprender con los experimentos correspondientes.

Los resultados que se obtienen operando con la bobina, según queda indicado, son: 1.° Que al atravesar la corriente por el hilo grueso resulta en el galvanómetro una desviación de la aguja que indica en el hilo de aquél y, por consiguiente, en el delgado de la bobina el paso ó desarrollo de una corriente inversa de la inductora, esto es, dirigida en sentido contrario del de ésta; cuya existencia resulta instantánea, pues que la aguja vuelve al cero y queda estacionaria, mientras que la corriente inductora corre el hilo grueso: 2.° Que al instante en que la comunicación se interrumpe, y deja de circular la corriente por el hilo inductor, se produce un nuevo é inverso desvío en la aguja, que indica una nueva corriente en el hilo fino, instantánea como la del primer caso, en orden inverso de ésta y, por consiguiente, en igual sentido que la corriente inductora. 3.° Que la corriente inducida no sólo se produce instantáneamente al cerrar y abrir el circuito de que forma parte el hilo inductor, sino que también al aproximar ó alejar el circuito inductor respecto de aquel sobre el cual ejerce su influencia: resultados que resumidos constituyen las leyes de la inducción eléctrica.

14. *Las leyes de la inducción eléctrica* son: 1.ª Una corriente continua y constante no desenvuelve ninguna inducida en un circuito próximo, si su distancia permanece invariable, esto es, mientras el primer circuito no se aproxima ó aleja al segundo. 2.ª Toda corriente que empieza á circular engendra en el circuito inmediato una corriente inducida inversa; esto es, en sentido contrario al suyo. Esta corriente se denomina inicial. 3.ª Toda

corriente, al terminar ó dejar de circular en su respectivo circuito, engendra una corriente inducida directa; esto es, en su mismo sentido. Esta corriente se denomina final. 4.ª Toda corriente que se acerca á un circuito inmediato, ó cuya intensidad aumenta por esta ó cualquier otra causa, engendra corriente inducida inversa. 5.ª Toda corriente que se aleja de un circuito inmediato, ó cuya intensidad disminuye por esta ú otra causa, origina corriente inducida directa. 6.ª La llamada ley de Lenz, que resume las dos anteriores y se enuncia así: cuando una corriente se aproxima ó aleja rápidamente á un circuito cerrado, se desenvuelve en éste una corriente inducida en sentido tal que obrando sobre la corriente inductora, según las leyes electro-dinámicas, tiende á comunicarle un movimiento en sentido inverso de aquel en virtud del cual efectuó la inducción.

La electricidad estática de las máquinas eléctricas y de las botellas de Leyden dirigida por un hilo grueso en espiral, desenvuelve también corriente inducida en otro delgado arrollado en igual forma, como se hace ver con las espirales de M. Matteucci.

15. *La inducción por los imanes* se demuestra con la bobina de un solo hilo, de 200 á 300 metros de longitud, del modo siguiente: se fijan los extremos del hilo á los botones del galvanómetro é introduciendo bruscamente en el hueco de la bobina una barra fuertemente imantada, en el acto se ve: 1.° Que la aguja del galvanómetro se desvía de la posición en que se hallaba, indicando así el paso de una corriente inducida instantánea é inversa á la que se puede considerar existe en el imán. 2.° Que vuelta la aguja del galvanómetro á 0° inmediatamente después de su primer desvío, al retirar el imán aquélla sufre un segundo en orden inverso, que indica el desenvolvimiento de otra corriente instantánea desenvuelta en sentido contrario á la primera y, por consiguiente, en el mismo que la del imán.

16. *Las corrientes inducidas* ofrecen el caracter observado de ser instantáneas, esto es, de no durar más que el instante de empezar ó cesar la corriente inductora, al cerrar y abrir su circuito, ó al variar la distancia ó intensidad de la misma.

En las inducidas por los imanes sucede igualmente, que sólo duran el instante en que se introduce ó saca el imán de la bo-

bina, ó en que se modifica la imantación de un imán colocado en el interior de la misma, en cuyo hecho se fundó principalmente la invención del teléfono; sucediendo lo mismo cuando por la influencia de un imán se imanta cualquier barra de hierro dulce situada en el interior de la expresada bobina.

La rotación de los imanes en reposo producida por el movimiento de rotación de las placas metálicas á su inmediación (LXXXV—21) como se efectúa con el aparato de Arago destinado al efecto, así como la imantación del hierro dulce é instrumentos de acero por la acción de la tierra, pueden ser considerados como casos de corrientes inducidas.

17. *Las corrientes inducidas* pueden á su vez ser inductoras de otras de orden inmediato, multiplicándose así por órdenes sucesivos.

II.

18. *Se da el nombre* de corriente derivada á la que se obtiene en un segundo hilo denominado hilo ó alambre de derivación, mientras los extremos de éste se hallan fijos á dos puntos de un primero por donde circula una corriente; denominando corriente primitiva á la existente en un primer hilo antes de bifurcarse, para dar la derivada, al llegar al primero de los dos puntos de derivación. Se llama corriente principal la que resulta en circulación por la continuidad que forma el primer hilo y el de derivación, y corriente parcial la que pasa por el primer hilo mientras dura la derivación. Puntos de derivación son los de unión de los extremos del hilo de igual denominación con el primer hilo, é intervalo ó distancia de derivación la comprendida entre dichos dos puntos.

19. *La corriente derivada* no se debe confundir con la de inducción, pues la primera no es sino parte de la misma corriente de que se origina, cuando la segunda es corriente de existencia instantánea, pero enteramente distinta de la inductora, pues que ésta no sale de su circuito ni se altera mientras no se interrumpe su circulación.

Se da el nombre de extracorriente á la especie de corriente inducida que resulta en los circuitos al abrirlos ó cerrarlos, y que, dirigida ingeniosa y convenientemente, se utiliza en los aparatos electro-magnéticos; en cuyos pormenores no es oportuno entrar.

20. *Corriente termo-eléctrica* es la que se puede desenvolver por la acción del calor en circuitos metálicos: fué descubierta por Seebeck, profesor de Berlín, en 1821, y se demuestra por el experimento de aquél con su par.

21. *El par de Seebeck* está dispuesto del modo siguiente: sobre una planchuela rectangular de bismuto se aplica otra de cobre doblemente encorvada por sus extremos, los cuales se sueldan á la cara superior de la primera, formando sobre ésta la segunda como una especie de puente. La plancha de cobre tiene una abertura de figura á propósito para poder colocar una aguja semi-astática sobre un estilete fijado perpendicularmente en medio de la antedicha plancha de bismuto, en disposición de que la aguja inferior del sistema quede en el hueco comprendido entre las dos planchas, y la superior fuera y próxima á la de cobre. El todo se coloca sobre un sustentáculo á propósito para el experimento.

22. *El experimento* con el par de Seebeck se ejecuta aproximando á una de las soldaduras del par un foco de calor, como una lámpara de alcohol, un ascua, etc.; pues al instante en que por el aumento de temperatura, comunicada á dicha soldadura, resulta exceso de aquélla sobre la de la segunda, se desvía la aguja á la manera que en el galvanómetro, indicando el paso de una corriente.

23. *Para desenvolver* una corriente termo-eléctrica, sólo se necesita, en general, formar un circuito metálico, cuya conductibilidad para el calor no sea uniforme, como sucede formándolo de dos metales heterogéneos soldados por un extremo y unidos los otros á los botones del galvanómetro, pues mientras todos los puntos del circuito total así formado, conservan igual temperatura, la aguja del aparato permanece invariable; mas al instante en que se eleva la temperatura sobre la de los demás puntos del circuito, en uno de los de cualquiera de los dos metales que forman dicho circuito, inmediatamente se produce el desvío de la aguja, que indica el paso de la corriente.

24. *Las corrientes termo-eléctricas* no se desenvuelven solamente en los circuitos formados de metales heterogéneos, sino que se obtienen también con los constituidos por un solo metal ó hilo que, por cualquier circunstancia, no tenga igual conductibi-

lidad en todas sus secciones, pues formando en el hilo un nudo, ó produciendo una torsión, y calentándolo en un punto próximo, inmediatamente se observa el desvío de la aguja del galvanómetro.

25. *Pilas termo-eléctricas* son ciertos aparatos de construcción conveniente para acumular las corrientes termo-eléctricas que se producen en un circuito compuesto de varios pares enlazados entre sí y soldados alternativamente unos con otros. Se usan elevando la temperatura de las soldaduras tomadas en el orden alternativo de una sí y otra no, y conservando inalterable la de las restantes.

De las varias pilas termo-eléctricas conviene conocer principalmente la de Nobili, cuya construcción es la siguiente: consta de pequeñas láminas de bismuto y antimonio soldadas según un orden constante, de manera que después de haber formado una hilera de cinco pares, la barra de bismuto del último se suelda á la primera de antimonio del primero de otra hilera igual, continuando así hasta reunir cuatro de ellas y formar un todo de veinte pares, en disposición de que resulten libres el extremo del antimonio del primer par y el del bismuto del último.

Apilados así dichos pares, se aíslan unos de otros por la interposición de tiras de papel barnizado y se encierran en una pequeña caja de latón abierta por sus bases, de manera que las soldaduras de orden par correspondan á una de dichas bases, y las de impar á la otra.

Por último, sobre una de las caras laterales de la caja, se disponen dos botones de cobre, aislados por un anillo de marfil, comunicando interiormente con los extremos libres de la pila, antimonio y bismuto, que constituyen sus polos: dichos botones sirven para fijar los reóforos que se ponen en comunicación con los botones del galvanómetro cuando se quiere operar.

El reóforo que parte del polo-antimonio es el positivo, y el que corresponde al bismuto el negativo.

26. *Se dice que las pilas termo-eléctricas* son sumamente sensibles, porque al instante en que las soldaduras del orden que corresponde á una de las bases abiertas de la pila, por ejemplo las impares, difieren en su temperatura, por insignificante que sea la diferencia se desarrolla la corriente, como indica la aguja del galvanómetro con su desvío.

27. *La mayor importancia de estas pilas* consiste en la proporcionalidad que resulta, dentro de ciertos límites, entre los des-

víos de la aguja y la diferencia de temperatura de las soldaduras de un orden respecto de las de otro, en cuyo hecho se funda el termo-multiplicador de Melloni (LII—27): dicha proporcionalidad se demuestra manteniendo constante la temperatura de las soldaduras de un orden; haciendo tomar sucesivamente otras diferentes á las del otro, y comparando los desvíos de la aguja del galvanómetro; pues procediendo semejantemente á lo dicho en la graduación de los reómetros, resulta dicha proporcionalidad.

28. *Las corrientes termo-eléctricas* se diferencian de las hidro-eléctricas en que son incomparablemente más débiles que éstas; en no poder atravesar como las hidro-eléctricas los líquidos, y en que pierden gran parte de su intensidad al atravesar hilos largos y delgados.

Por esta razón, en el termo-multiplicador de Melloni se hace uso de un galvanómetro de hilo corto y grueso, pues con el de hilo delgado no sería posible apreciar el paso de las corrientes muy débiles producidas por variaciones casi insensibles de calor, á causa de no poder llegar á correr su largo circuito.

La electricidad dinámica, sobre todo el electro-magnetismo y la electro dinámica se han enriquecido en lo que va de siglo con tal número de hechos, invenciones y aplicaciones, como lo demuestran los catálogos de sus respectivos aparatos, las exposiciones celebradas para dar á conocer los adelantos y aplicaciones de la electricidad y las sociedades eléctricistas establecidas para la explotación de todas sus aplicaciones, que hasta en los textos más extensos de Física es imposible la exposición completa y ordenada de cuanto dichos tratados comprenden: imposibilidad que ha hecho necesaria la multitud de tratados especiales, no sólo sobre la electricidad en general y sus ramos particulares la galvanoplastia, el alumbrado eléctrico, la telegrafía, etc. sino que también respecto de la descripción y uso de las pilas, aparato de Ruhmkorff y máquinas magneto-eléctricas como la de Graham y otras.

Por las antedichas razones sólo se han expuesto en ésta y anterior lección lo más esencial y fundamental del electro-magnetismo, electro-dinámica, inducción y corrientes termo-eléctricas, por cuya razón en la lección inmediata se indica, como complemento y aunque muy ligeramente, los hechos que por su correlación han conducido á consecuencias importantísimas.

LECCIÓN C.

I. Consecuencias del estudio del electro-magnetismo, electro-dinámica é inducción.—Imantación por las corrientes eléctricas.—Electro-imanes.—II. Desenvolvimiento de corrientes eléctricas por los imanes.—Máquinas magneto-eléctricas y dinamo-eléctricas.—Solenoides.—Sus acciones reciprocas, lo mismo que sobre los imanes y viceversa.—Semejanza de los solenoides é imanes é indicación de la hipótesis de Ampere para explicar el magnetismo como efecto de la misma electricidad.

I.

1.ª *Las principales consecuencias* resultantes del estudio del electro-magnetismo, electro-dinámica é inducción han sido: la imantación del hierro dulce y acero por la acción de una corriente eléctrica, lo mismo que por la influencia de un imán, y viceversa; el desenvolvimiento de una corriente eléctrica en virtud de la imantación del hierro dulce al aproximársele ó alejarse de él los imanes, y también la modificación del estado ó potencia magnética de los imanes cuando se les aproxima ó aleja de ellos el hierro dulce; la invención de los electro-imanes, la de las máquinas de Clark con sus modificaciones; la construcción de aparatos electro-medicales, y la de las máquinas magneto-eléctricas.

2.ª *La imantación por las corrientes* es el hecho de poder imantar barras de hierro dulce ó acero por la sola influencia de una de aquéllas, dirigida por un hilo conductor arrollado á dichas barras en mayor ó menor número de circunvoluciones.

3.ª *El efecto de la corriente sobre el hierro dulce* no es el mismo que sobre el acero, pues al primero lo imanta instantánea aunque transitoriamente, como se efectúa por la influencia de un imán, cuando al acero lo convierte en imán permanente, cual se consigue por los métodos de imantación con los imanes.

4.ª *La imantación por la acción de las corrientes* no se produce lo mismo cuando éstas se dirigen paralelamente á las barras ó agujas de hierro dulce, que cuando lo ejecutan perpendicularmente; pues si bien producen imantación más ó menos considerable en el primer caso, en el segundo se efectúa lo más enérgica é instantáneamente posible.

Por esta razón, arrollando á una barra de hierro dulce un hilo

de cobre cubierto de hilo de seda, aquélla se imanta poderosamente al paso de la corriente, cuando puesto sin arrollar dicho hilo sólo alcanza á atraer sobre sí las limaduras de hierro.

En ambos casos desaparece la imantación cuando cesa la corriente, mas si se opera lo mismo sobre hilos ó barras de acero, entonces la imantación resulta permanente, y de aquí el nuevo método de imantación, además de los puramente magnéticos (LXXXVI—2.ª).

5.ª *La imantación* de las barras y agujas de acero por las corrientes se efectúa fácil y cómodamente con las hélices. Éstas se reducen, cada cual, á un cilindro hueco de vidrio, cartón ó madera, sobre el cual va arrollado un hilo de cobre cubierto de seda, cuyas circunvoluciones se disponen de modo que resulten unidas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cilindro, en cuyo interior se coloca la barra ó aguja que se imanta al circular la corriente por dicho hilo.

6.ª *El uso de las hélices* se funda en la acción máxima de la corriente al circular en las multiplicadas vueltas del hilo, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cilindro.

El sentido é intensidad de la imantación con las hélices depende del de éstas, es decir, del en que se arrolla el hilo que las forma; y la intensidad del número de vueltas del mismo y de su distancia á la barra.

La duración de la corriente no influye en la menor ó mayor imantación, pues que se efectúa casi instantáneamente.

7.ª *Las hélices* pueden ser de dos clases: dextrorsum y sinestrorsum.

8.ª *Las hélices dextrorsum* son las en que, colocadas frente al observador y verticalmente, su hilo resulta arrollado de arriba abajo y sus vueltas por delante de derecha á izquierda: en éstas el polo austral de la barra resulta en el extremo que corresponde al de la hélice por donde sale la corriente.

9.ª *Las sinestrorsum* son las en que, colocadas frente al observador y verticalmente, su hilo resulta arrollado de arriba abajo y sus vueltas por delante de izquierda á derecha: en éstas el polo austral de la barra resulta en el extremo que corresponde al de la hélice por donde entra la corriente.

10. *La imantación instantánea* y transitoria del hierro dulce por las corrientes ha conducido á la importantísima invención de los electro-imanes, que tan variadas é ingeniosas aplicaciones tienen.

11. *Todo electro-imán* es una barra ó cilindro de hierro dulce, recto ó encorvado, que, envuelto por un hilo de cobre cubierto con otro de seda ó algodón, arrollado con gran número de vueltas paralelas y siempre en igual sentido, se imanta instantáneamente y conserva su imantación mientras una corriente eléctrica circula por dicho hilo; desimantándose de la misma manera cuando cesa la corriente, si el hierro es perfectamente dulce ó puro: con lo que se puede obtener un movimiento de vaivén que es el fundamento del juego del receptor de los telégrafos.

Si el hierro no es perfectamente puro, al cesar la corriente no desaparece la imantación por completo, quedando vestigios de ella más ó menos perceptibles: fenómeno que se denomina magnetismo remanente y que no deja de efectuarse aunque el hierro sea perfectamente puro, cuando al cesar la corriente se halla en contacto con su puente ó armadura el electro-imán, como es fácil explicar por las influencias recíprocas subsistentes entre ambos.

12. *El electro-iman* de Puillet se construye con un cilindro de hierro dulce, encorvado en forma de herradura, y de un hilo de cobre cubierto de seda, el cual se arrolla sobre dicho cilindro en considerable número de vueltas y cuyos extremos, descubiertos, se aplican á los polos de la pila que haya de suministrar la corriente.

Dicho hilo se arrolla sobre ambas ramas formando sus vueltas dos hélices en sentido inverso, de suerte que si el cilindro de hierro se considera enderezado resulte la una como continuación de la otra, formando entre ambas una sola á fin de que en los extremos libres del cilindro resulten los polos, y éstos con nombre contrario.

En vez de estos electro-imanes se construyen, para los aparatos telegráficos y usos semejantes, otros llamados de tres piezas, que constan de dos cilindros iguales de hierro enlazados por una armadura del mismo metal en forma de plancha, constituyendo una disposición semejante al de herradura, pero más adaptable á los varios usos á que se los destina: sobre cada cilindro se arrolla un hilo constituyendo hélices inversas y dejando libre el extremo de cada una de ellas.

13. *La potencia magnética* resultante en los electro-imanes, y

en la imantación de toda barra de hierro dulce por la corriente eléctrica, crece con la intensidad de ésta, con el número de circunvoluciones del hilo alrededor de la barra y de las dimensiones de la misma; en cuyas circunstancias, á la vez que en la inducción eléctrica y magnética, se funda la construcción y maravillosos efectos de la bobina denominada aparato de Ruhmkorff.

Su construcción, usos y efectos se hallan expuestos en un tomo de 400 páginas por Du Moncel, que tantos volúmenes ha publicado sobre las aplicaciones de la electricidad; mas no siendo dable extenderse á tantos pormenores, bastará, como en otros tantos casos semejantes, hacer la indicación verbal conveniente, valiéndose del aparato y dando á conocer algunos de los efectos que con él se pueden obtener, especialmente los de extratificación de la luz eléctrica y los que se producen con los tubos de Geisler.

14. *La imantación con la electricidad* no sólo se efectúa por las corrientes, sino que también se obtiene por la acción de la electricidad estática ú ordinaria, si bien se verifica con notables diferencias de uno á otro caso.

15. *Las diferencias* que se observan de imantar con las corrientes ó por la electricidad estática son: Primera, que la electricidad ordinaria no imanta al hierro dulce con la facilidad que lo efectúan las corrientes de la pila, pues acercando un alambre de hierro á un hilo metálico y rectilíneo, cuyos extremos pongan en comunicación con los conductores las almohadillas de la máquina eléctrica en actividad, la corriente producida por la recomposición de las electricidades contrarias al través de dicho hilo, si bien no imanta al alambre de hierro, lo efectúa cuando se hace que dicho paso de la electricidad se verifique por intermitencias, sacando chispas de aquéllos: en tal caso, el efecto crece con la dirección perpendicular y con la intensidad y duración de las descargas; siendo posible imantar por la de la botella de Leyden, poniendo en comunicación los extremos del hilo de una hélice, uno con la armadura exterior, y otro con la interior. Segunda, que la imantación por la electricidad estática ó descarga de la botella, no es tan regular como con las corrientes.

II.

16. *Así como las corrientes eléctricas* producen desenvolvimiento de magnetismo, así también la acción de éste desenvuelve corrientes como por inducción, que, reproduciendo todos los efectos de las voltaicas ó hidro-eléctricas, se consideran iguales á éstas. Este hecho se demuestra experimentalmente poniendo los extremos del hilo del electro-imán en comunicación con los botones de un reómetro y presentando á los polos de aquél con los de un poderoso imán en herradura, ó los de nombre contrario de dos barras de bastante potencia magnética; pues al aproximar suficientemente unos á otros, ó ponerlos en contacto, inmediatamente resulta un desvío más ó menos perceptible, que indica el paso de una corriente: lo mismo sucede, aunque el desvío resultante es en orden inverso, alejando el imán del electro-imán ó rompiendo su contacto.

17. *Se da el nombre* de corrientes magneto-eléctricas á las desenvueltas en los hilos metálicos cubiertos de hilo de seda ó algodón arrollados á los electro-imanes, cada vez que éstos se imantan al aproximarles los polos opuestos de vigorosos manojos magnéticos y al desimantarse cuando aquéllos se alejan, ó cuando dichos hilos se hallan arrollados á barras imantadas y éstas modifican su imantación al aproximarse ó alejarse de ellas barras ó láminas de hierro dulce: en este hecho se fundó principalmente el teléfono de Bell.

18. *El descubrimiento* de las corrientes magneto-eléctricas originó la construcción de los notables aparatos denominados máquinas magneto-eléctricas. De éstas la que principalmente se debe conocer es la de Clarke, por ser la más á propósito para su exposición y experimentos de clase que con ella se pueden ejecutar, aunque no sea la más manuable y á propósito para ciertas aplicaciones, como lo es el aparato de Bretón, simplificación de aquélla, que á su vez fué la inmediata modificación de la primera inventada por Pixii, cuyo nombre se le dió.

La descripción y uso de ésta máquina, de las magneto-eléctricas de Nollet, Wilde y Graham, así como del carrete de Siemens, máquina dinamo-eléctrica de Ladd y motores electro-magnéticos, no pudiéndose

exponer sino muy imperfectamente, aun con las mejores láminas, es preferible dar noticia verbal de ellas en forma apropiada á la enseñanza elemental y á la vista de los respectivos aparatos de que se pueda disponer.

19. *Con el aparato de Clarke* se pueden obtener efectos fisiológicos, físicos y químicos como con las pilas poderosas; pues es posible fundir el platino, inflamar el éter, descomponer el agua y causar á los animales sensaciones, que pueden ser más ó ménos débiles, más ó ménos enérgicas y hàsta insoportables.

Dichos efectos resultan diferentes según se hace uso de un electro-imán con hilo delgado de 300 á 500 metros de largo en cada bobina, ó de otro de hilo grueso de 25 á 30 metros de longitud en cada una de las mismas: el primero se usa para producir los efectos fisiológicos y químicos, y el segundo para los físicos; por cuya razón las máquinas de Clarke más completas tienen dichos dos electro-imanes, que se reemplaza uno por otro según el efecto que se quiera producir.

20. *Se da el nombre* de solenoides á los aparatitos construidos con hilo de cobre cubierto de hilo de seda ó algodón y arrollado en forma de hélice, el cual doblándose en uno de los extremos de ella pasa por su interior en forma de eje, hasta presentar su extremo paralelo y frente al otro del mismo hilo que constituye el principio de dicha hélice.

Su objeto es el de formar un sistema de pequeñas corrientes, casi circulares y paralelas, con una sola que circule por dicho hilo.

Los solenoides se construyen con la forma indicada en su definición, ó también doblando el hilo por ambos extremos de la hélice y haciendo pasar sus segmentos extremos por el interior de aquélla, de manera que dirigidos hácia el medio se les hace salir paralelos y perpendicularmente al eje de la misma, á fin de poder soldar sus extremos, uno á una lámina de cobre y el otro á una de zinc, si se trata de disponerlos en flotador, ó bien doblarlos en forma de gancho para suspenderlos ó fijarlos en los aparatos correspondientes.

21. *Del estudio de la acción* de las corrientes rectilíneas sobre un solenoine móvil por donde circule también corriente eléctrica, resultan las deducciones siguientes: 1.ª Que por una parte se observan resultados conformes á las leyes de las acciones mutuas de las corrientes entre sí. 2.ª Que por otra el solenoide obedece á la corriente según las leyes con que éstas obran sobre los imanes móviles ó agujas magnéticas, cual si fuese una de éstas.

22. *De la influencia de un imán* sobre un solenoide móvil resulta, que éste se influencia como si fuese un imán, y de la recíproca de un solenoide fijo sobre otro móvil se sigue que se portan como dos imanes, cuyos polos fuesen los de los solenoides. Además, si se hace pasar una corriente por un solenoide móvil, cuyo eje no se halle en la dirección del meridiano magnético, gira cual una aguja imantada hasta colocarse en la misma dirección de dicho meridiano; lo que prueba la acción directriz que la tierra ejerce en él como sobre la aguja imantada.

23. *En vista de las semejanzas* de los solenoides con los imanes, de las acciones recíprocas de éstos y de la influencia enteramente igual que aquéllos ejercen entre sí, se viene á deducir que la naturaleza de los imanes, así como la acción magnética del globo terrestre, no puede ser otra cosa que sistemas de corrientes paralelas, que rodean á la tierra y á los imanes perpendicularmente á sus ejes, como en verdaderos solenoides, y de aquí la hipótesis de Ampere sobre el magnetismo.

24. *La hipótesis de Ampere* se reduce á explicar el magnetismo, tanto de los imanes como el de la tierra, no por los flúidos, boreal y austral, sino considerando aquéllos y á la misma tierra rodeados de una corriente eléctrica, dirigida con circunvoluciones paralelas entre sí y perpendiculares al eje cual la de los solenoides: corrientes originadas en los cuerpos magnéticos por la orientación ó coordinación de otras parciales que se supone en todas direcciones alrededor de las moléculas, con otros pormenores que no es posible desenvolver en estas lecciones.

No es fácil explicar exacta y determinadamente el origen de la corriente eléctrica que se puede considerar rodea al globo, pues no parece ser única su causa, sino por el contrario debe proceder de la combinación ó concurso de muchas; pero deben concurrir á su producción el calor central y las acciones químicas sobre las masas metálicas no oxidadas; la vegetación, evaporación y demás variaciones sobre la superficie terrestre; el calentamiento de ésta y de la atmosfera por la marcha del sol, y hasta la corriente de la electricidad supuesta en las altas regiones de la atmósfera, que, dirigiéndose hacia los polos terrestres, es considerada como causa de las auroras boreales, aparte de ciertas influencias solares que parecen ser de carácter eléctrico, según el nuevo orden de estudios relativos á la naturaleza del sol y sus acciones: estudios iniciados y continuados por el célebre P. Sechi y otros.

Lo expuesto en las lecciones que anteceden forma el cuadro general de la Física pura, cuyo estudio es hoy indispensable á la generalidad como parte de una buena educación, ó como preparatoria para el más amplio que necesitan los que se dedican á carreras especiales, en las que tan múltiples y variadas aplicaciones se hacen de los conocimientos físicos: aplicaciones que no tienen cabida en dicho cuadro, con tanta mayor razón cuanto mayor es su número, sobre todo, tratándose de la electricidad.

Sin embargo, como por su novedad, importancia y uso general de algunas se suele hacer en los textos indicaciones acerca de ellas, siguiendo tal costumbre se han apuntado en los respectivos lugares de la asignatura las bombas hidráulicas, las máquinas de vapor y la galvanoplastia. Por la misma razón, aunque la telegrafía eléctrica y telefonía, con tantas otras aplicaciones de la electricidad, exijan por sí solas una carrera especial como cualquiera de las diferentes clases de ingenieros, se acostumbra también incluir en las lecciones de Física la noción, aunque siempre insuficiente, acerca de la telegrafía eléctrica, por lo que la siguiente y última de estas lecciones se dedida á este objeto.

LECCIÓN CI.

I. Concepto de la telegrafía y su división.—Sucinta idea de la telegrafía aérea ú óptica.—Telegrafía eléctrica.—Aparatos que principalmente son necesarios para la comunicación entre dos estaciones.—Manipulador, receptor, avisador, pilas, hilos ó alambres de pila y modo de establecer el circuito del telégrafo en el de cuadrante como ejemplo. —Indicación del telégrafo de Morse.—Telégrafos y cables submarinos. —II. Concepto de la Telefonía.—Breve idea acerca de los teléfonos y micrófonos.—Su importancia y aplicaciones.

1.ª *Telegrafía* es el arte de trasmitir noticias, ó de comunicarse los hombres entre sí intantánea y directamente, de unos puntos á otros no obstante las distancias intermedias.

El origen de la telegrafía, en su más sencillo é imperfecto estado, debe ser tan antiguo como la reunión de los hombres en sociedad, como lo atestigua el sistema de encender luces ú hogueras en puntos elevados para servir de aviso y señal determinada, en casos dados, á los moradores de otros desde donde aquéllos pudiesen ser vistos: sistema que originó, tal vez, el de torres y cuerpo de torreros que se estableció en las costas españolas del Mediterráneo y no se extinguió hasta bien entrado el siglo actual: sistema semejante al que parece existió ya en otros países y en tiempos muy remotos.

La verdadera telegrafía como arte, con medios y reglas fijas, data

de fines del siglo pasado, en que el abate Claudo Chappe la inventó en Francia para comunicarse con sus hermanos, que se hallaban á media legua de distancia de su residencia; pues adoptado el sistema de su telégrafo por la Convención nacional francesa en 1793, inmediatamente se generalizó á Inglaterra y, aunque mucho después, á España y otros estados: invención que se denominó telegrafía aérea ú óptica y sirvió como de base y estímulo para el establecimiento de la telegrafía eléctrica.

2.ª *La telegrafía aérea ú óptica* es el sistema de comunicación de unos á otros puntos más ó menos distantes, por combinaciones de signos hechos en lo alto de torres levantadas al objeto y repetidos de unas á otras. Se reducía á colocar en la parte superior de cada torre un sistema de reglas de madera que haciéndoles girar y tomar determinadas posiciones, constituían los signos convenidos, los cuales observados con grandes anteojos desde la torre próxima inmediata, eran repetidos en ésta; y observados y repetidos de la misma manera por la torre siguiente, lo eran sucesivamente por los demás hasta el punto á donde se dirigía la comunicación.

Entre los defectos de esta clase de telegrafía, resultaba el muy grave de no servir bien sino de día y sin nieblas, lluvias ó cualquiera otra causa capaz de impedir la percepción clara de las señales; por cuya razón se desechó tan luego como se realizó la invensión y establecimiento de la electrica.

3.ª *Telegrafía eléctrica* es el arte de comunicarse los hombres con la mayor perfección y rapidez, de unos puntos á otros del globo, al través de los continentes y de los mares, haciendo uso de la electricidad dinámica.

El establecimiento de la telegrafía eléctrica data desde 1837 en que se estableció ya de una manera formal, tanto en América, por Morse, como en Inglaterra por Wheatstone. En dicha fecha quedó realizada la idea que desde 1774, en que el estudio de la electricidad empezó á producir sus rápidos y portentosos progresos, traía ocupada la imaginación de los físicos de varias naciones; pues perpetuada la invención, propagada, aunque tarde, á Francia, que no la tuvo definitivamente sino en 1845, y mucho más tarde á España, que empezó á importarla en 1851, continuó perfeccionándose más y más hasta hoy día en que ha llegado á ese estado de perfección que hace un siglo era imposible imaginar.

4.ª *Los sistemas de telégrafos eléctricos* usados desde su pri-

mera invención han sido principalmente, y prescindiendo de los de agujas, los de cuadrante ó abecedario, los impresores, los electro-químicos y el pantelégrafo ó telégrafo universal de Caselli.

5.ª *De los sistemas* de telégrafos eléctricos ideados, el más á propósito para explicar y hacer comprender lo esencial de la trasmisión es el de cuadrante; mas para explicar y comprender el manejo y uso de éste como de cualquier otro sistema, es necesario considerar dos estaciones, que es el caso más sencillo y base de todos los demás.

6.ª *Los aparatos* que principalmente son necesarios en cada una de dos estaciones entre las que se haya de establecer comunicación, además del avisador, son: las pilas de estación, el manipulador y receptor, que enlazados entre sí por medio de los correspondientes hilos conductores forman un circuito.

Los pararrayos, relevadores y pilas locales; los galvanómetros y reostados para medir las resistencias, y demás pormenores de una estación, son objeto de que no es fácil ocuparse.

7.ª *Manipulador* es el aparato con que en cada estación se abre y cierra el circuito de la manera conveniente, según es el sistema, para producir los movimientos del receptor en la otra.

8.ª *Receptor* es el aparato que en cada estación sirve para producir los movimientos de un electro-imán, y con ellos las señales que constituyen ó producen los signos de los despachos.

9.ª *El avisador* ó aparato de alarma es un timbre movido por un electro-imán, cuyo hilo queda formando parte del circuito que enlaza unas estaciones con otras mientras no se comunica, á fin de que el de cada estación se pueda hacer sonar desde la inmediata siempre que se quiera comunicar algún despacho.

10. *Las pilas* que es necesario usar en las estaciones telegráficas, llamadas de estación, deben ser de corriente constante.

No se usan las de columna y Wollaston por sus inconstancias, las de Bunsen por sus emanaciones, y las de Grove por su caro coste; debiendo desechar toda otra que se halle en casos semejantes. Por esta razón no es posible fijar la clase de pilas que se deben usar; ni el número de pares de que hayan de componerse; pues éste varía en cada clase de pilas y con las distancias intermedias de las estaciones.

Las más usadas hasta hace poco, han sido las de Daniell y las llamadas de arena, pero hoy no sólo se emplean éstas en unas líneas, sino que

en otras se han adoptado las que se han ido ideando, como las de sulfato de mercurio de Marié-Davy, las de Callaud, las de Minotto y recientemente las de Léclanché: razón por la cual es imposible precisar las que son preferibles.

11. *La disposicion del receptor* es tan varia como diferentes son los sistemas de telégrafos á que pertenecen, por cuya razón no es fácil entrar en sus pormenores. En los de agujas su disposición es tal que al paso de la corriente se mueven dos agujas magnéticas, con cuyos movimientos y sus combinaciones resultan signos que, traducidos y escritos por el telegrafista, constituyen los despachos. En los demás todo se reduce esencialmente á disponer un electro-imán, que, por su imantación al paso de la corriente en el hilo que lo rodea, atrae un botón ó barra de hierro dulce, la cual se suelta cuando, al interrumpirse la corriente, se desimanta el electro-imán; pues con este mecanismo se produce cierto movimiento oscilatorio, que, trasformado convenientemente, produce el de la parte que graba, escribe, etc.

12. *La disposición del manipulador* varía, como el receptor, según el sistema de telégrafo que se emplea, por cuya razón no es posible entrar en los pormenores de su descripción; pero en lo esencial todo manipulador está reducido á un mecanismo tal que, movido por la mano del telegrafista, abre y cierra el circuito alternativamente, para que, al circular y suspender la corriente, se produzcan en el receptor movimientos subordinados á los del manipulador.

La subordinación de los movimientos y efectos que se consiguen sobre los receptores con los de los manipuladores ha llegado á tan hábil disposición, que con el pantelégrafo de Caselli, inventado por éste en Florencia 1856 y adoptado ya en Francia y Rusia desde 1865, es posible que su receptor escriba como telégrafo químico, copiando exactamente los despachos, figuras y dibujos trazados en la estación de partida, sobre láminas de estaño que preparadas convenientemenie se someten al manipulador.

13. *El modo de hacer* que el manipulador de una estación funcione sobre el receptor y avisador de otra, se consigue abriendo y cerrando el circuito por medio de un mecanismo fijo y seguro, como sucede en los de cuadrante, ó con la mano del telegrafista educada y adiestrada al efecto.

14. *La comunicación mutua* entre cada dos estaciones parece que se debería establecer con dos hilos conductores desde cada estación, que fuesen á terminar en el receptor de la otra, en cuyo caso resultarían cuatro entre ambas; pero en realidad sólo se necesitan dos, uno denominado alambre de línea, para conducir la corriente de la pila desde la primera estación, mediante su manipulador, al receptor de la segunda, y otro, para igual trasmisión, desde la segunda estación á la primera, completando el circuito en uno y otro caso la tierra.

15. *El circuito entre las dos estaciones* formado por el alambre que lleva la corriente, desde la respectiva pila de una estación al receptor de la otra, y la interposición de la tierra se establece del modo siguiente: el hilo que parte del polo negativo de la pila de la primera estación se liga á una plancha de cobre que se hace vaya á parar á tierra, donde se introduce en sitio húmedo ó en que haya agua; otro hilo que sale del polo positivo de la misma pila se fija á uno de los botones del manipulador, que comunica con una rueda dentada del mismo; al girar ésta por el movimiento que le comunica la mano del telegrafista, sus dientes chocan y dejan de chocar alternativa y sucesivamente con una lámina, que va á terminar en el otro botón del manipulador y permite ó impide el paso de la corriente á otro hilo, el cual parte de dicho segundo botón y se enlaza con el hilo de la línea que va á la segunda estación, donde se une á un extremo del hilo del electro-imán del receptor, cuyo otro extremo se enlaza á una plancha de cobre que se dirige á tierra, donde se introduce en sitio húmedo ó en que haya agua. De este modo, al contacto de cada diente con la lámina pasa la corriente positiva á la línea, circula por el hilo del electro-imán del receptor de la segunda estación y va á parar á tierra; y como la corriente negativa de la pila va también á parar y neutralizarse á tierra, ésta suple la parte del hilo correspondiente á la distancia entre las dos mencionadas planchas de cobre.

16. *Los hilos telegráficos* son generalmente de hierro cubiertos de una capa de zinc, esto es, galvanizados como impropiamente se dice, porque aun cuando sea mejor conductor el de cobre, siendo posible conseguir con el mayor grueso de aquél é igualdad de las demás condiciones, los mismos efectos que con el

cobre, se prefiere el hierro; pues sin que su resultado exceda al del cobre, tiene la ventaja de la mayor tenacidad, que hace menos fácil su rotura por los cambios del calor ó al formar sus uniones ó enlaces en la línea.

17. *De los telégrafos* inventados hasta hoy, los de cuadrante son los que se emplean en las estaciones de las líneas férreas, pero fuera de éstas, el más usado ha sido tal vez el de Morse; sin embargo, usándose hoy los impresores, los electro-químicos y el universal de Casselli, no es posible asegurar cuál sea el más preferible ni el más usado.

18. *El telégrafo de Morse*, tan difícil de describir como todos los demás, no haciéndolo con el orden, extensión y minuciosidad necesarios, pero imposibles en textos de la índole de éste, se reduce esencialmente al movimiento de un estilete ó punzón, engendrado por el del botón, barrita ó temblador del electro-imán, y al paso de una tira de papel, que, mediante un movimiento de relojería, se desliza frente al punzón con movimiento uniforme. De esta manera, comprimiendo el punzón al papel mientras que, cerrado el circuito por el manipulador, circula corriente por el receptor, se graba en dicha tira de papel un punto ó línea de diferente longitud, según el tiempo que se tiene cerrado el circuito: los demás pormenores, las clases de señales que resultan de la combinación de líneas y puntos, sus significados, etc. sólo son propios de obras y estudios de aplicación.

19. *Telégrafos submarinos* son los establecidos entre dos estaciones separadas por grandes masas de agua, como las de los grandes ríos ó mares. El gran problema de la comunicación de una á otra de estas estaciones, ó sea en las líneas submarinas, se ha resuelto con el establecimiento de los cables submarinos.

20. *Cable submarino* es el conductor que en las líneas submarinas, sumergido y tendido sobre el fondo de los grandes ríos ó de los mares, lleva la corriente por entre las aguas de los mismos desde unos continentes á otros, ó desde unas islas á otras ó á los continentes.

21. *El cable submarino* no es un hilo solo como el alambre de línea en las aéreas ó subterráneas, sino que está formado de tres partes denominadas: alma del cable, cubierta aisladora y cubierta protectora.

El alma, el verdadero conductor de la corriente, es un manojo de siete alambres de cobre, de un milímetro de diámetro cada uno, retorcidos á la par. La cubierta aisladora es una envuelta formada con cuatro capas de guttapercha, ó cautchuc, sobrepuestas sucesivamente é interpuestas entre ellas otras de un barniz compuesto con una mezcla de brea, serrín y guttapercha que se aplica en caliente. La cubierta protectora es una túnica ó envuelta de tela embreada, cubierta por otra construida con diez alambres de acero de dos milímetros de diámetro cada uno, forrados á su vez de cáñamo embreado para preservarlos de la acción corrosiva del agua del mar, y que van arrollados formando una hélice muy alargada.

22. *La marcha* ó comunicación de la corriente por los cables submarinos no es tan sencilla como en los alambres de línea, sino de modo más complicado á causa de las influencias entre el alma y la parte de acero de la cubierta protectora.

23. *La velocidad* de la trasmisión telegráfica se puede considerar instantánea, porque atendida la gran velocidad de la electricidad relativamente á la pequeñez de las distancias entre las estaciones que se comunican, pudiera decirse que debe ser casi inapreciable el tiempo empleado en recorrer la corriente toda la línea, pues si se gasta más ó menos tiempo en la comunicación, proviene del que se emplea en el mecanismo del manejo de los aparatos y, sobre todo, en la traslación de despachos de unos centros telegráficos á otros y sucesivamente por sus ramificaciones.

24. *Los aisladores,* en los postes que sostienen los hilos telegráficos, se usan para evitar las corrientes derivadas que se establecerían hacia el suelo, las cuales debilitarían la corriente principal ó primitiva, sobre todo en tiempos de lluvias, nieblas ó mucha humedad.

25. *El uso de la telegrafía* no tendría el inmenso valor que tiene, si la comunicación se hiciese solamente de una estación á otra para tener que repetirla después á otra y así sucesivamente, pues entonces se harían tardías, complicadas y más costosas las comunicaciones á largas distancias: lo que se evita con los ingeniosos mecanismos que, enlazando todas las estaciones intermedias, constituyen las líneas generales por donde se comunican las estaciones más distantes con la misma facilidad y prontitud que entre dos inmediatas.

Admirable es la invención del telégrafo por el sencillo principio fi-

sico en que se fundó, y sin embargo no es comparable con lo complicado y gigantesco de la empresa llevada á cabo en medio siglo próximamente, de establecer la telegrafía eléctrica hasta el punto á que ha llegado; porque sólo considerando, por una parte, los conocimientos físicos, químicos y mecánicos utilizados, ó viendo, por otra, bajo un solo punto de vista, si posible fuera, el conjunto de estaciones con cuanto encierran; los miles y miles de postes y aisladores; la inmensa red de los hilos tendidos por todos los ámbitos del globo, así como los cables sumergidos bajo las aguas de los mares, y el numeroso personal de tan distintas categorías de empleados en tal aplicación, es como se podría comprender lo maravilloso é importante de ella; tanto, que si un siglo há se hubiera imaginado lo que al presente se está viendo, se hubiera creído un imposible, demencia, diablura ó brujería.

Otro tanto se puede decir de la más reciente invención de la telefonía, cuyo desarrollo y múltiples elementos, sus combinaciones y trasformaciones, en unión del fonógrafo y fotófono, hacen difícil predecir hasta dónde podrá llegar el empleo de la telegrafía y telefonía, no sólo por su uso en el comercio social, sino que también por lo que se pueda esclarecer y confirmar las teorías modernas, llegando tal vez á evidenciar el principio de la unidad de la fuerza viendo claramente que todo en la naturaleza es pura vibración.

II.

26. *Telefonía*, que en su acepción más lata pudiera llamarse telegrafía acústica, se puede decir es el estudio y práctica consiguiente de los variados artificios ó medios de trasmitir y hacer llegar los sonidos á distancias mayores que las á que es posible la propagación de las ondas sonoras en el aire libre. Hoy se puede definir mejor, diciendo es la parte de la telegrafía que enseña los sistemas de trasmitir, desde unos puntos á otros distantes entre sí, la palabra y toda clase de sonidos, aislada ó simultáneamente, por medio de los teléfonos, micrófonos y sus combinaciones.

27. *Teléfono* es un aparato que sirve para trasmitir los sonidos, mediante acciones magnéticas y eléctricas, á distancias mayores que las que pueden alcanzar las ondas sonoras por el solo intermedio del aire libre.

La historia del teléfono, aunque invención tan moderna y desarrollada en tan pocos años, es, como todas las de su clase, curiosa y admirable, pero larga.

Por esta razón basta indicar: primeramente, que en virtud de la más

fácil comunicación de los sonidos por los sólidos conpactos que por los líquidos y gases, como se consignó (XLV—16), desde tiempos antiguos se trató de utilizar esta circunstancia para trasmitir los sonidos, como se vió efectuar, hace algunos años, con el instrumento á que de pronto no se dió importancia, sirviendo solamente de entretenimiento de niños y que se le denominó *teléfono de hilo* (*á ficelle* en francés), de bramante y de los enamorados. En segundo lugar, que desde que se conocieron los efectos acústicos que produce en las barras de hierro dulce la corriente eléctrica, tanto mejor si ésta es interrumpida, esto es, con intermitencias, se pensó en utilizar las acciones eléctricas y magnéticas para establecer medios de trasmitir los sonidos á distancia con el auxilio de estas acciones; llegándose primero al establecimiento de los teléfonos musicales y 16 años después al teléfono de articulación, inventado por M. Graham Bell, que fué presentado en la Exposición de Filadelfia el año 1876. Desde entonces ha sido tal el número de sus modificaciones y nuevas invenciones, que no es posible especificarlas; pero que han originado el nuevo ramo de telegrafía, con las estaciones telefónicas dentro de los edificios de ciertos establecimientos y en el interior de las poblaciones, ó enlazando las de unos pueblos con las de otros.

28. *La primera* y más sencilla disposición del teléfono de articulación ó parlante, de M. Graham Bell, fué la siguiente: en un tubo de madera hueco, de forma de tronco de cono con una especie de rebajo ó garganta para cogerlo cómodamente con la mano, va colocada una pequeña barra de acero imantada, á cuyo rededor lleva arrollado un hilo como el de un electro-imán; los extremos de este hilo van á unirse á dos botones ó tornillos de amarre como los de los galvanómetros; de estos botones, situados sobre la base menor y cerrada del tubo, salen dos hilos conductores, cuyos extremos se llevan y fijan en dos botones situados en la cara menor de otro tubo dispuesto exactamente lo mismo que el primero, y cuya base mayor, como la del segundo, la cierra una lámina circular de palastro, delgada y flexible, colocada á corta distancia de la barra imantada: lámina que se sujeta sobreponiéndole un anillo de la misma madera que la del tubo y que se asegura con tornillos. El anillo tiene la forma de una embocadura que sirve para aproximar sus labios el que habla, ó su oído el que escucha.

29. *El teléfono* de M. Graham Bell funciona del modo siguiente: el que ha de hablar aproxima sus labios á la embocadura del primer tubo, y según pronuncia las palabras y el aire

entra en vibración, vibra del mismo modo la lámina de palastro; estas vibraciones aproximan alternativamente dicha lámina al polo próximo de la barra imantada, con lo que, modificándose su magnetismo, se desarrolla en el hilo que la rodea una corriente eléctrica (C—17) que, trasmitida con el hilo conductor, circula por las circunvoluciones del que rodea á la barra imantada del segundo tubo. Esta corriente modifica á su vez el magnetismo de la barra con las mismas alternativas con que se modificó el de la del primer tubo; en su consecuencia, la lámina del segundo vibra como la del primero, hace vibrar el aire en el mismo orden que lo ejecutó la lámina del primer tubo por la emisión de la voz del que habla, y de esta manera el que aplica el oído á la embocadura del segundo tubo, percibe las palabras como si directamente hubiesen conmovido su tímpano las ondas producidas en el aire al hablar por la embocadura del primer tubo.

Esta explicación no se considera completa, teniendo en cuenta algunas otras consideraciones que se han hecho además y que se omiten por no ser cuestión definitivamente resuelta.

Los resultados obtenidos con este teléfono, aunque admirables, no siendo completamente satisfactorios, hicieron se perfeccionase y variase aquél de muchos modos, llegando á idear el introducir en el circuito telefónico la corriente de una pila, esto es, el teléfono de pila, y de modificación en modificación resultó una nueva invención más admirable que la del teléfono, la del *micrófono* de M. Hughes, que en combinación con aquél, y aparte de otras aplicaciones, hace posible de un modo más perfecto la comunicación telefónica.

30. *El micrófono* es un instrumento que, en combinación con el teléfono, sirve para la percepción á distancia de sonidos ó ruidos de la más pequeña intensidad, casi imperceptibles á la proximidad de los puntos en que se producen, y también para reforzar los sonidos todos y hacer más perfecta la trasmisión telefónica de las palabras.

31. *El micrófono* está reducido á un pequeño pedestal rectangular de madera, sobre cuya cara superior hay fijos dos pequeños sustentáculos convenientemente dispuestos, de los que cada cual sostiene un cubito ó pequeño cilindro de carbón, como el de las pilas de Bunsen, entre los que se sostiene verticalmente un pequeño cilindro del mismo carbón, apuntado por sus extremos

que entran holgadamente, como unos garrones, en los huecos formados, como cojinetes, en las caras de dichos cubitos. Éstos están en comunicación por medio de contactos metálicos con dos botones ó tornillos de amarre situados sobre la cara superior del pedestal, que en la inferior lleva unas almohaditas de algodón ó cautchuc sobre las que se sostiene aislado.

32. *La manera de funcionar* el micrófono es la siguiente: se unen los extremos de los dos hilos de un tubo de teléfono á los botones del pedestal del micrófono, interponiendo en el circuito así formado un pila de uno ó dos pares. En esta disposición, aplicando el oído al tubo del teléfono, se oye perfectamente y con grande intensidad el sonido producido cerca de la cara superior del pedestal, aunque sea originado por las más débiles vibraciones excitadas sobre dicha cara, como las resultantes por el paso de una mosca ó por la fricción con las barbas de una pluma ó cosa semejante; así es que si en el circuito formado con dos tubos telefónicos y una pila se intercala un micrófono, la trasmisión de la palabra, canto y sonidos musicales resulta muy perfecta por su intensidad y claridad; con lo que se ha llegado á resultados que sólo es posible reseñar en obras latas ó en tratados especiales, como el de Du Moncel, titulado *el teléfono, el micrófono y el fonógrafo*, ó el de las *maravillas de la telefonia*, publicado en castellano por los editores Trilla y Sierra, de Barcelona, y otros análogos.

33. *La invención del micrófono* se funda en el hecho que, en resumen, consiste en el aumento de intensidad que experimenta la corriente eléctrica, cuando en un circuito se interpone un cuerpo menos conductor, ó un medio de aumentar la densidad de una sección de aquél por aumento de presión ó por una percusión y, por consiguiente, la resistencia de dicha corriente: modificación que es posible conseguir, variando alternativamente la presión en el punto de contacto entre dos cuerpos conductores y apoyados uno sobre otro, siempre que por cualquier pequeño movimiento se modifica dicho contacto, como se efectúa en los carbones del micrófono con los pequeños choques que entre ellos se originan por la comunicación de las más débiles vibraciones producidas de cualquier modo en la cara superior del pedestal.

34. *El fotófono*, inventado también por M. Grahan Bell, es

un aparato ó artificio que sirve para trasmitir los sonidos de un punto á otro distante, sin necesidad de hilos conductores con sólo producirlos cerca de una luz.

Aunque este aparato ha recibido, como el teléfono, diferentes modificaciones y perfeccionamientos, para adquirir idea de su artificio y funcionalidad, conviene fijarse al menos en el de articulación destinado á trasmitir la palabra, prescindiendo de su primer aplicación para trasmitir los sonidos musicales.

35. *El artificio del fotófono* es el siguiente: en la estación trasmisora se coloca una luz que brilla y se extingue alternativa y sucesivamente con grandísima rapidez en virtud de las vibraciones de la membrana ó lámina vibrante de un tubo de teléfono: lo que se consigue mediante un ingenioso mecanismo. Esta luz proyecta sus radiaciones á un espejo convenientemente situado, que á su vez y con las mismas intermitencias que los recibe, dirige los rayos luminosos sobre un trozo del metal selenio, que en la estación receptora forma parte de un circuito constituido con los hilos de un teléfono, por donde se escucha, y de una pila.

36. *El fotófono* funciona así: al hablar ante la embocadura del tubo de teléfono, su membrana vibra en consonancia con las ondas aéreas originadas por la palabra; estas vibraciones, por medio del mecanismo dispuesto al efecto, producen las intermitencias con que los rayos luminosos parten de la estación trasmisora y se consigue que, llegando del mismo modo sobre el selenio, modifique éste su conductibilidad eléctrica y, por consiguiente, la intensidad de la corriente en el circuito de que forma parte; en cuyo caso, variando en el mismo orden la potencia magnética del imán en el teléfono del antedicho circuito, su lámina vibra del mismo modo y el que escucha oye como si estuviera próximo al que habla.

37. *El funcionalismo del fotófono* se funda principalmente en la propiedad descubierta en el selenio, consistente en que la acción de la luz sobre él le aumenta su conductibilidad eléctrica y la privación de la misma se la disminuye, por cuya razón, interpuesto en el circuito del teléfono, al ser iluminado y privado de la luz alternativamente, se modifica la corriente en el mismo orden.

Si los nuevos inventos y sus modificaciones hacen perder su valor y caer en desuso á los anteriores, no sucede así con las casi simultáneas invenciones de los teléfonos, micrófonos, fotófonos y fonógrafos, que á la vez del telégrafo se auxilian y complementan para el gran fin de facilitar la comunicación de los pueblos entre sí, y hacer posible oír la palabra de los hombres de todos los siglos, desde el presente, á los de los venideros por medio del fonógrafo. Con el telégrafo puede decirse se anulan las distancias, desaparecen los mares y allanan las montañas; con el teléfono todos pueden telegrafiar sin necesidad de aprendizaje ni de persona intermediaria, como es necesario para el uso del telégrafo, aunque resulta en cambio el inconveniente de lo fugaz de la palabra que escrita queda por el telégrafo; con el fotófono no sólo pueden comunicarse todos sin necesidad de persona intermediaria, sino que también sin el peligro de interrupción por el corte de los hilos conductores, como sucede en los telégrafos, si bien no es posible salvar tan grandes distancias como por aquéllos, y tiene además la eventualidad de la interrupción por densas nieblas; completando tan mágico cuadro el fonógrafo, que puede decirse archiva, cual notario fiel, la palabra ante él pronunciada un día, para hacerla resonar después de muchos años y aun siglos.

Lo expuesto en las lecciones que anteceden debe hacer comprender el objeto de la Física, su extensión, aplicaciónes, y por consiguiente, su grande importancia, por cuya razón es hoy tan necesario á todos su conocimiento, siquiera sea como cuestión de buena educación en los que no hayan de ampliar su estudio; y aunque la extensión con que resultan pueda juzgarse, por unos, demasiada como así parece, ó ser considerada, por otros, como escasa, si bien se examina se habrá de convenir en que, dada la extensión de la ciencia, la organización de la enseñanza y la calidad de los alumnos de los Institutos, ni debe ser menos, ni puede ser más.

Terminadas estas lecciones, conviene advertir que su redacción, aunque en estilo llano y sin pretensiones, ha sido llevada á cabo en la forma adoptada para que se pueda suprimir, ó dispensar á los alumnos que menos puedan, las partes menos necesarias y las notas aclaratorias ó ilustrantes intercaladas con letra de menor carácter, en cuyo caso el texto resulta bastante reducido y simplificado, lo que no será necesario el día en que se realice, como es indispensable, la ya ordenada división de la asignatura de Física y nociones de Química en dos separadas, con sus respectivos catedráticos numerarios, una de elementos de Física experimental, de lección diaria, y otra de elementos de Química general, de lección alterna, ya que no diaria: división que, ordenada, se efectuó inmediatamente en los dos Institutos de Madrid, nombrando los correspondientes catedráticos numerarios, por cuya razón es de esperar no se retarde por más tiempo el cumplimiento de tan opor-

tuna disposición legal en los demás Institutos, toda vez que no está derogada, como lo testifica el reciente hecho de haber sacado á concurso, desde luego, la vacante ocurrida por el fallecimiento del nuevo catedrático de Química de uno de aquellos dos Institutos. Mientras dicha separación no se realice en todos los demás, si la Física se explica con la conveniente extensión, no puede quedar tiempo sino para escasísimas é insuficientes nociones de Química, ó viceversa, y si se reparte el tiempo por igual entre ambas asignaturas, no haciéndose ilusiones, puede asegurarse que sus resultados serán casi nulos; y, en su consecuencia, tampoco podrán ser lo que deben los conocimientos de ellas al cursarlas, en la Facultad de Ciencias, los alumnos á quienes sean necesarias como preparatorias de las carreras que las exijan.

6 de Noviembre de 1886.

FIN.

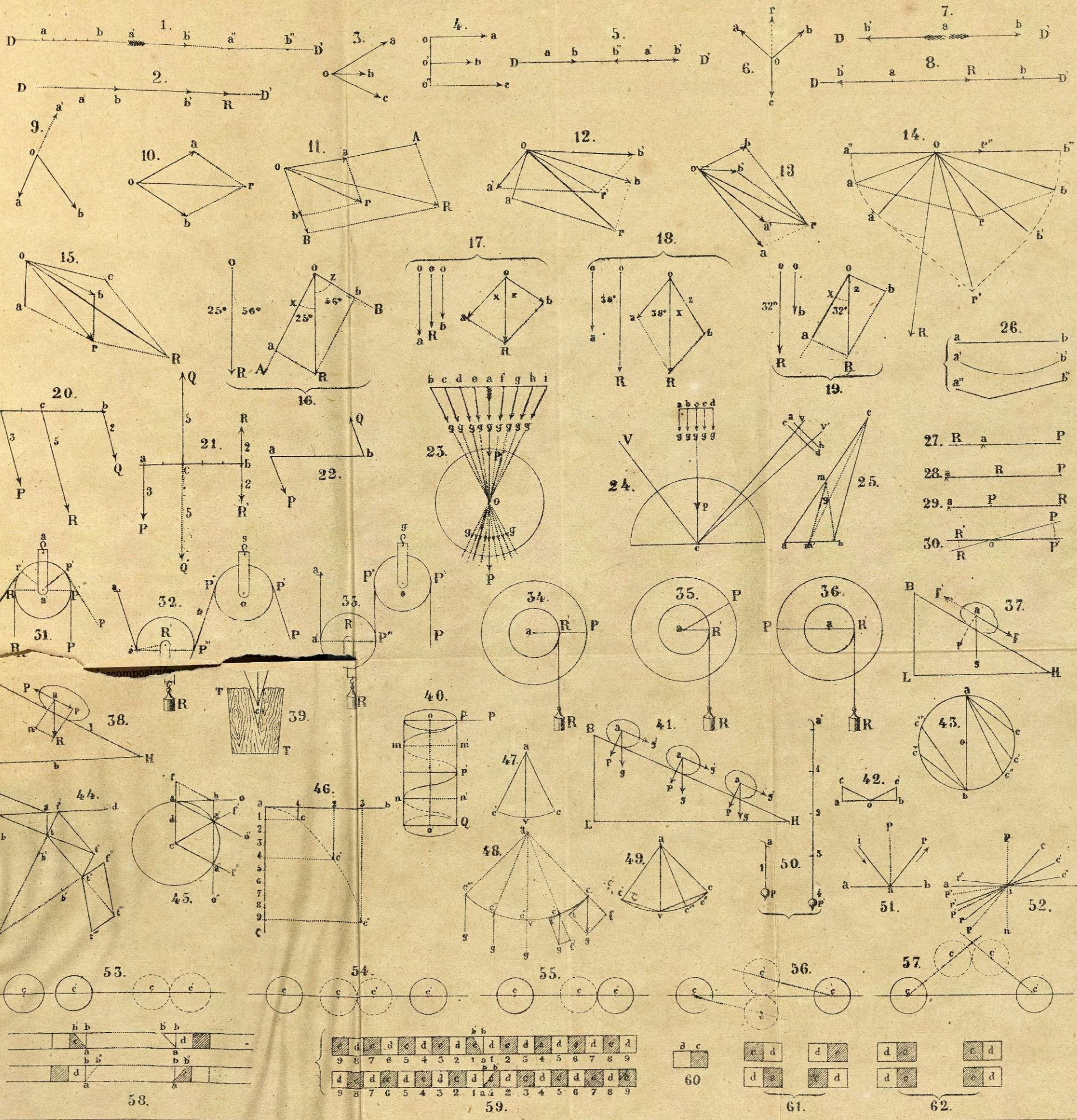
CORRECCIONES INDISPENSABLES.

PÁGINA.	LÍNEA.	DICE.	DEBE DECIR.
1	16	grandes	grandes son
2	27	inmediata	inmediato de otro
5	26	sistema	sistemas
10	1	4.ª	5.ª
10	8	occéano	océano
12	21	occéano	océano
15	16	estudia de los	estudia los
15	20	construcciones	construcción
24	28	éstas	ésta
24	36	denominador	numerador
29	22	contractibilidad	contractilidad
33	12	vuelo y aereostatación	aerostatación
34	21	moviento	movimiento
45	7	a' b'	ab'
45	15	a' b'	ab'
48	22	paralelípedo	paralelipípedo
49	22	aquéllas	aquélla
51	22	de dos	de la resultante de dos
51	29	a c	bc
51	29	ob	ab
52	1	(XIII—2.ª)	(XIV—2.ª)
53	23	asi	á si
54	1	redugese	redujese
56	2	b	V

PÁGINA.	LÍNEA.	DICE.	DEBE DECIR.
60	25	aquilibrio	equilibrio
63	24	velocidades	velocidades virtuales
66	16	ya	y
66	26	vertuales	virtuales
68	29	es	en
68	35	el de lo	el
70	29	P y R	p y r
70	33	mismo á	mismo los P y R á
71	3	Pa'r'	pa'r'
72	7	menor	mayor
72	8	favorecida	perjudicada
72	9	menor	mayor
72	10	mayor	menor
72	10	mayor	menor
72	11	perjudicada	favorecida
73	7	coginetes	cojinetes
74	23	piñón el	piñón es el
76	21	paralela de	paralela al plano inclinado de
77	4	de po-	de ser la po-
85	13	aquél	éste
93	6	trabjo	trabajo
93	8	hubiera	hubieran
104	11	cuerpos planos	cuerpos por planos
105	10	gt'	gt
105	10	—11	9.ª
105	13	$\sqrt{2Eg}$	$\sqrt{2Eg'}$
105	30	h y g constantes	g constante
115	1	gastó	gasta
115	3	emplearía	empleará
136	29	igual al suyo	igual al peso de un volumen de líquido igual al suyo
138	3	al del cuerpo	al peso del volumen de líquido desalojado
138	9	dicha	cada
141	8	y	(VII—14) y

PÁGINA.	LÍNEA.	DICE.	DEBE DECIR.
141	23	al que	del que
142	14	el del	el
143	24	peso del	peso p' del
143	25	al P' del	al del
173	28	observaciones	observaciones barométricas
176	20	veceversa	viceversa
190	9	AEREODINÁMICA	AERODINÁMICA
193	33	diámentro	diámetro
257	5	—36°	—39° 5
257	31	termóscopo	termoscopio
259	35	en	por
259	35	ó	como
263	26	éstas	ésta
293	27	el aire	el del aire
299	19	trabajos que	trabajos ejecutados al objeto, que
300	17	fusión y disolución	fusión. II. Disolución
300	18	frigoríficas	frigoríficas. Solidificación y congelación. Sobrefusión, Regelación del hielo
302	22	pura	sólida
304	27	restablecimiento	reblandecimiento
310	6	Tufour	Dufour
313	2	menta el vapor, no	menta, el vapor no
317	10	73°	37°
319	1	que es	es
326	29	bióxido	óxido
337	9	continuamenie	continuamente
349	3	relacionada	relacionadas
357	27	Mección	Lección
362	34	regularldad	regularidad
371	11	cosiderables	considerables
379	24	circunctancias	circunstancias
384	29	hilo;	hilo:
384	13	agregación, molecular,	agregación molecular,

PÁGINA.	LÍNEA.	DICE.	DEBE DECIR.
389	7	ésta	ella
400	34	reflejado	reflejados por aquel,
499	20	sonoras la	sonoras en la
512	5	anuales son	anuales de las agujas de declinación.
512	11	aguja imantada	aguja de declinación
512	29	oscilaciones de	oscilaciones diurnas de
512	29	imantadas	de declinación
512	36	declinación	inclinación
513	7	declinación	inclinación
531	34	y	ó
565	36	bastantes	bastante
567	1	Experimento	El experimento
626	7	con los	los
629	23	pila	línea
639	1	garrones	gorrones


1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13
14.
15.
16.
17.
18.
19.
20.
21.
22.
23.
24.
25.
26.
27.
28.
29.
30.
31.
32.
33.
34.
35.
36.
37.
38.
39.
40.
41.
42.
43.
44.
45.
46.
47.
48.
49.
50.
51.
52.
53.
54.
55.
56.
57.
58.
59.
60
61.
62.

ÍNDICE PROGRAMA

PARTE PRIMERA

PRELIMINARES

PARTE SEGUNDA

MECÁNICA

ESTÁTICA

DINÁMICA

Lecciones. Págs.

HIDROSTÁTICA

HIDRODINÁMICA

AEROSTÁTICA

AEREODINÁMICA

ACÚSTICA Ó FONOLOGÍA

PARTE TERCERA

FLÚIDOS IMPONDERADOS

CALÓRICO Ó TERMOLOGÍA

Lecciones. Págs.

METEOROLOGÍA DEL CALÓRICO

HIGROMETRÍA

MAGNETISMO Ó MAGNETOLOGÍA

ELECTRICIDAD Ó ELECTROLOGÍA

ELECTRICIDAD ESTÁTICA

ELECTRICIDAD DINÁMICA