

BIBLIOTECA HOSPITAL REAL
GRANADA

Sala:

A

Estante:

4

Número:

591

Biblioteca Universitaria

GRANADA

Sala

~~2~~

Estante

~~9~~

Tabla

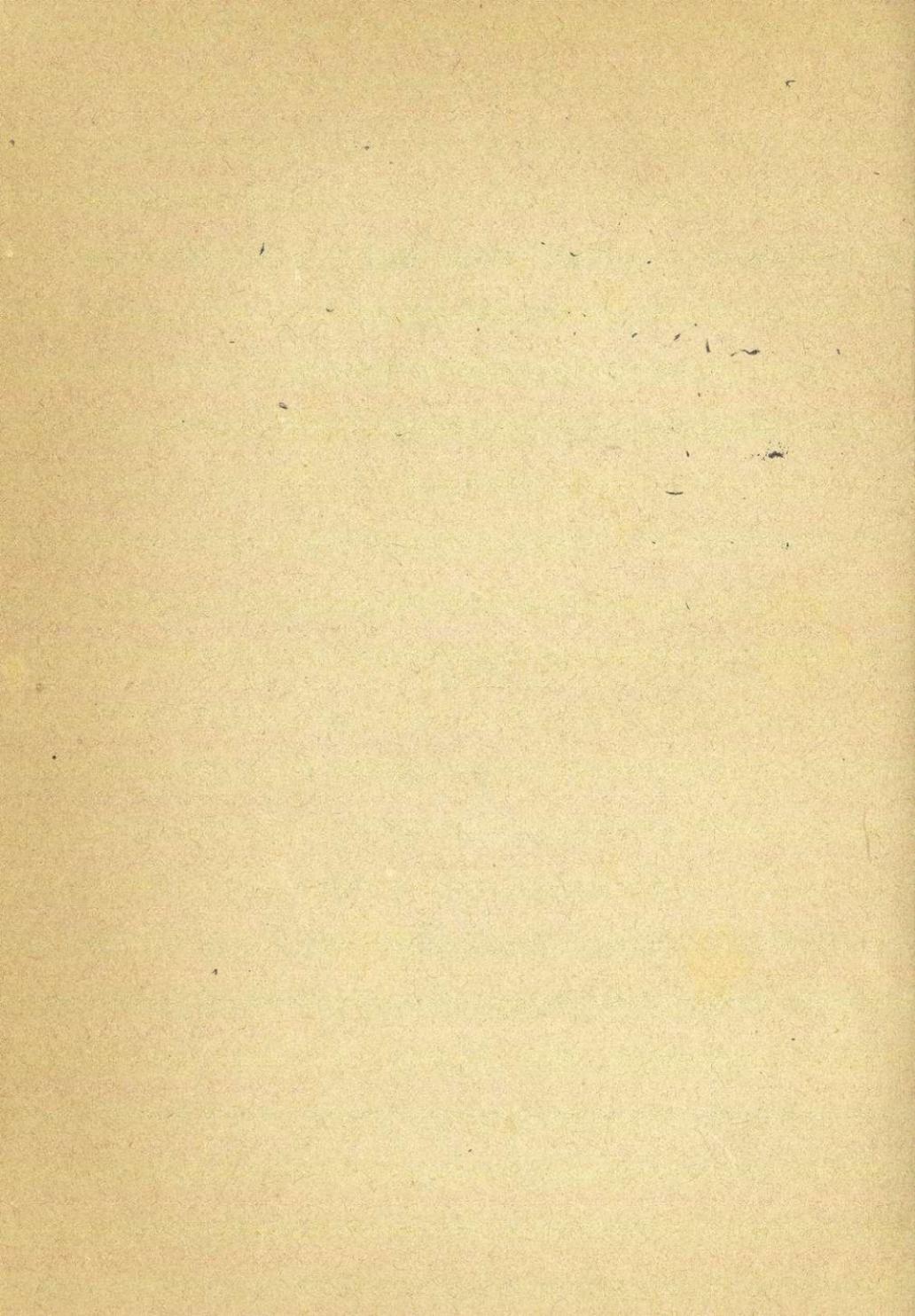
Número

~~434~~

215674058

1. ~~42 - 116~~²





MANUAL DE FÍSICA

NOVENA EDICIÓN

POR EL DOCTOR

D. Manuel Fernández de los Ríos

Esta obra es propiedad del autor, quien perseguirá ante la ley al que la reimprima, denunciando todo ejemplar que no lleve su rúbrica.



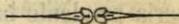
BRANCA

Imprenta y librería de D. José María Gómez

1861



INTRODUCCION.



LECCION I.

Definicion de la Fisica.—Del número de los agentes, causa y efecto; ley física.—Teoria, sistema.—Observacion, esperiencia y experimento.—Qué son cuerpos y cómo se reconocen: propiedades generales y particulares.—De los tres estados de los cuerpos y propiedades que los caracterizan.

1. Definiciones preliminares. *La física es la ciencia que trata del conocimiento de los fenómenos que nos presentan los cuerpos y agentes ó fuerzas naturales. La lluvia, el relámpago y el trueno; la caída del granizo, la corriente de las aguas, los vientos, la aparición del arco iris, etc. son otras tantas manifestaciones de la naturaleza, llamadas fenómenos; de manera que fenómeno es todo cambio que ocurre en los cuerpos. No tratándose en física sino de los cuerpos sin órganos, sin vida, ó inertes, y no siendo dichos cambios necesarios para su existencia, se admite como un axioma que todo fenómeno ha de reconocer una causa que lo produzca. Estas causas, que podemos considerar aparte de los cuerpos, se denominan mas concretamente fuerzas y agentes de la naturaleza. El resultado de las fuerzas y agentes sobre los cuerpos constituyen sus efectos.*

El número y esencia de los agentes se mira en física como un secreto de la creacion; porque nuestros sentidos no pueden ser afectados por ellos á menos que obren sobre cuerpos materiales; sin embargo, de los diferentes órdenes de fenómenos que reconoce el estado

actual de la ciencia, se deduce que pueden explicarse bastante bien admitiendo la existencia de cinco causas ó agentes universales, que son: la *atraccion*, el *calórico*, el *luminico*, el *magnético*, y el *eléctrico*. Muy probable es que todas ellas sean grandes evoluciones de una causa única, en razon á que guardan tal dependencia entre sí, que, sin escepcion, se trasforman unas en otras.

En el estudio que vamos á emprender procuraremos apartarnos, cuanto posible sea, de semejantes ó parecidas suposiciones, pues por razonables que parezcan no seria prudente basar sobre ellas la ciencia. Es, por el contrario, mucho mas lógico dirigir nuestro espíritu al perfecto conocimiento de los *hechos*, y á la determinacion precisa y rigurosa de sus consecuencias y aplicaciones, con lo cual conseguiremos que no entren en nuestros raciocinios sino datos verdaderos que nos conduzcan al perfecto conocimiento de la ley del fenómeno. Y entendemos por *ley física el modo constante y regular que tiene un fenómeno de verificarse; ó bien la relacion que hay entre la causa y el efecto, deducida de la manera con que aquella obra sobre este*. Si vamos comprimiendo un gas dentro de una vasija herméticamente cerrada y resistente, haremos que cada vez ocupe un espacio menor; el esfuerzo desenvuelto para conseguirlo es la *causa*, la reduccion de volúmen el *efecto*, y el conocimiento de cuanto disminuye el volúmen primitivo del gas segun aumenta la fuerza comprimente, constituye el de la ley del fenómeno, ó de la compresibilidad de los gases. La explicacion de un fenómeno, ó de cierto número de ellos, dependientes de una ó de varias leyes con un lazo comun, por *causas reales*, forma la *teoría física*; y se llama *hipótesis* ó *sistema* si la causa no pasa de la categoria de *probable*.

Desgraciadamente no siempre es dable alcanzar el conocimiento de la ley segun la cual se desenvuelven los fenómenos de la naturaleza; en muchos casos estamos limitados á saber si estas ó las otras circunstancias son, ó no, necesarias, ó acompañan su produccion; pero como todo fenómeno ha de estar sujeto á una ley que lo rija, de aqui apelar á la *observacion* y á la *esperiencia* para descubrirla. La *observacion* es el *exámen asiduo y atento de un hecho dado*; y la *esperiencia* la *repetición de este procedimiento las veces necesarias para descubrir la manera de su realizacion*. La *esperiencia* se vale

del *experimento, que es la reproduccion artificial de un fenómeno*. Los fenómenos susceptibles de repetirse en nuestro gabinete, como sucede con el relámpago y el trueno, que en pequeño sacamos de la máquina eléctrica, se conocen mucho mejor que aquellos que solo contemplamos, como la formacion del granizo y de la aurora boreal.

2. **De los cuerpos.** Debiendo preceder el estudio de los cuerpos al de las fuerzas y agentes naturales, diremos que *cuerpo es todo ser que pueda obrar sobre el sentido del tacto*. Las piedras, los árboles, el agua, el aire, por diferentes que parezcan todos son cuerpos. Sin embargo de lo dicho, hay casos en los que, al parecer, no es suficiente el tacto por sí solo para reconocerlos, y otros en que no es necesario: tal sucede, por ejemplo, en los cuerpos de pequenísimas dimensiones, que solo ayudando la vista con fuertes microscopios conseguimos idea de ellos, mientras que con mirar un árbol, una estatua adquirimos la misma seguridad que con tocarlos. Es verdad que el sentido de la vision reemplaza en gran parte el del tacto, pero es muy susceptible de engaño; pues nadie desconoce la aparente union del cielo con la tierra; la de dos filas paralelas de árboles, mirados desde lejos, ni que las imágenes *áreas* de los espejos obran sobre nosotros como los objetos á que pertenecen, no obstante ser cosas tan diferentes. Los sentidos se auxilian todos para la adquisicion de las ideas, y á la falla ó torpeza de alguno, suple en parte el mayor desarrollo y la sutileza de los demás; de aqui el tacto delicado de los ciegos, y la perspicacia con que entienden las señas y gesticulaciones los sordo-mudos.

3. **Propiedades.** Al dirigir nuestros sentidos al exámen de los cuerpos experimentamos ciertas modificaciones que, referidas á los cuerpos mismos, constituyen sus propiedades. Entendemos pues, por *propiedades de un cuerpo, las diferentes maneras como obra sobre nuestros sentidos*: Las comunes á todos los cuerpos, se llaman *generales*, y *particulares*; las *esclusivas de uno ó de cierto número de ellos*. Citanse entre las primeras la *estension*, la *impenetrabilidad*, la *porosidad*, la *divisibilidad*, la *compresibilidad*, la *elasticidad*, la *inercia*, la *gravidad* y la *movilidad*; y entre las segundas la *dureza*, la *maleabilidad*, la *ductilidad* y la *tenacidad*.

4. **Estados de los cuerpos.** Todos los cuerpos que hay en la naturaleza se dividen en tres grandes secciones, ó se presentan bajo tres estados, que son á saber: *el estado sólido, el estado líquido y el estado gaseoso*. Los líquidos y los gases bajo una denominacion comun se llaman *flúidos*.

Los *cuerpos sólidos* tienen las partículas de que están formados bastante unidas las unas á las otras para oponer una resistencia sensible á su separacion; tales son la madera, las piedras, la seda, etc.

Los *líquidos* están compuestos de partículas tan sueltas y móviles, que ni oponen obstáculo á su desunion, ni adquieren mas forma que la de las vasijas donde están contenidos, y á las que se amoldan exactamente; son líquidos el agua, el aceite, el vino, etc.

Los *gases* tienen sus partículas dotadas de una fuerza de repulsion continua, que tiende á separar las unas de las otras, lo que les dá la propiedad de ocupar todo el espacio vacío que se les presenta; sirven de ejemplo el aire y el ácido carbónico.

Esta division no escluye que un mismo cuerpo se presente en los tres estados, segun sean las circunstancias en que se coloque; así vemos el agua en el estado sólido en la nieve y en el hielo, en el estado líquido en las fuentes y los rios, y en el estado de vapor en las nubes. Esto mismo sucede con el azufre y con otros varios. Sin embargo, hay sólidos y gases que hasta ahora no ha sido posible liquidarlos, y líquidos que no se trasforman en sólidos y vapores; pero mas bien que como escepcion á la regla general del tránsito progresivo por los tres estados, debemos ver la falta de medios para poner estos cuerpos en las condiciones de temperatura y de presion que requieren sus cambios de estado.

LECCION II.

Estension y necesidad de los limites para separar los cuerpos del espacio. — Modo de medirla. — Teoria y aplicacion del Nonius. — Impenetrabilidad, materia. — Demostrar esta propiedad en los tres estados de los cuerpos. — Aplicacion á la medida de los volúmenes irregulares y á las campanas de buzos.

5. **Estension.** *La estension es la propiedad que tienen todos los cuerpos de ocupar una parte del espacio.* Constituye su *volúmen* la porcion de este mismo espacio limitada por las superficies que los forman. Ningun cuerpo puede concebirse sin esta propiedad, de la que no es posible despojarlos sin aniquilar su propia existencia; así como tampoco sería dado distinguirlos del espacio en general, si no se hallaran terminados ó limitados.

Estos límites, tan necesarios para darnos idea de los cuerpos, no son otra cosa que las tres dimensiones de que se compone todo volúmen, llamadas *longitud*, *latitud* y *altura* ó *profundidad*. Física-mente hablando, no podemos admitir la existencia de ninguna de estas dimensiones con absoluta independencia de las otras; pero si imaginamos que en un cuerpo va desapareciendo la altura por grados insensibles, llegará una ocasion en que pueda mirarse esta dimension como nula, y entonces formaremos la idea de las superficies como limite de los volúmenes. Por un decrecimiento análogo vendremos á parar á las líneas como límites de las superficies; y finalmente, la carencia de toda dimension, ó el limite de la línea, nos dará la idea del punto.

6. La medida de la estension es un problema que corresponde esclusivamente á la geometría; pero como quiera que las matemáticas se ocupan mas bien de establecer principios generales y deducir consecuencias aplicables á todas las ciencias y á todos los casos que de hacer uso de ellos á cuestiones determinadas, creemos deber nuestro entrar en una de sus aplicaciones, dando á conocer el artificio empleado en física para determinar, sin el auxilio del cálculo, cantidades infinitamente pequeñas.

Desde luego se advierte, que si la cantidad que vamos á medir puede descomponerse en un número de partes iguales á la unidad de medida el problema se resuelve fácilmente; tal sucedería, por ejemplo, si fuéramos á saber cuantas varas tenia un hilo, y encontráramos que despues de poner esta seis veces sobre aquel, los extremos coincidían; si despues de esta operacion sobrara un poco de hilo, tomaríamos otra unidad menor y repetiríamos con ella la misma operacion; mas en este caso como en aquel, puede muy bien quedar un sobrante menor que esta segunda unidad y así sucesivamente en todas las restantes.

La subdivision de la unidad de medida no bastaria en muchos casos para encontrar el valor real, aunque nos acercaria á él, pero las aproximaciones serian por este procedimiento muy pequeñas y casi irrealizables en ciertas aplicaciones tanto físicas como astronómicas. Para evitar, pues, estos inconvenientes, se ha ideado el aparato que vamos á describir, el cual, ó bien dá la estension con toda exactitud, ó lleva sus aproximaciones hasta el punto que se quiera.

7. **Nonius.** *El Nonius ó Vernier* (fig. 1.^a), está reducido á la combinacion de una regla AB dividida en partes iguales, con otra CD de la misma forma, pero de menor longitud.

Si tomamos de la primera una parte AE compuesta de nueve divisiones, y la misma estension la dividimos en diez para la segunda, que tambien se suele llamar *Nonius*, cada una de las partes de este tendrá una décima menos que las de regla, y no valdrá mas que 0,9. Segun esto, haciendo coincidir los ceros de las dos escalas, claro está que la primera division CN del Nonius se atrasará 0,1 de la correspondiente de la regla; la segunda se retrasará de 0,2; la tercera de 0,3; y finalmente, la décima lo hará de diez ó de una unidad entera. Esto prueba ya que es dable medir las cantidades con una exactitud tal que solo falte una décima para tomar el todo Si la misma parte de la regla la hubiésemos dividido en 19, 99, 999, partes iguales, y en 20, 60, 100, 1000 para el Nonius, la aproximacion seria de 1|20, 1|60, 1|100 ó 1|1000; por consiguiente en nuestra mano está, por decirlo así, medir la estension con la aproximacion que deseamos.

Esplicada la construcción y teoría del aparato, veamos como se emplea.

Sea por ejemplo PC (fig.^a 2.^a), la estension que deseamos medir con la aproximacion de décimas de pulgada; para conseguirlo, se aplica sobre la regla AB dividida en pulgadas, de modo que uno de sus extremos coincida con el cero, y vemos que se compone de dos unidades, mas la porcion *sr*; para conocer esta, se pone á continuacion el Nonius CD, y se mira cuál de sus divisiones coincide con otra de la regla, y el número que la señale nos dará las décimas que vale el residuo *sr*, y que en el caso presente son 6; de suerte que la longitud PC, vale 2, 6 de pulgada.

8. **Impenetrabilidad.** *La impenetrabilidad es la propiedad que tienen todos los cuerpos de no poder ocupar á la vez el mismo lugar en el espacio.* Esta propiedad sirve para demostrar la existencia de la *materia*, ó la sustancia en general de que se componen los cuerpos; porque no se concibe que una estension dada presente resistencia á que se introduzca en ella un cuerpo, á no ser que se halle ocupada por alguna cosa; y como no puede haber impenetrabilidad sin espacio ocupado, de aqui el que se diga que la estension es otra propiedad inherente á la materia, recibiendo las dos el calificativo de inseparables. Por eso, fisicamente hablando, *la materia, ó sustancia de que se componen los cuerpos, no es mas que la estension dotada de impenetrabilidad.*

Demuéstrase la impenetrabilidad de una manera muy sencilla tomando las seis combinaciones que pueden hacerse, dos á dos, de los tres estado de los cuerpos, á saber: sólidos con sólidos, sólidos con líquidos y sólidos con gases; líquidos con líquidos, líquidos con gases, y finalmente gases con gases.

La primera combinacion se hace evidente con solo citar la disposicion que damos á los objetos de mas' uso, pues donde está uno de ellos no podemos colocar otro, sin quitar antes el primero.

Se comprende la segunda, sumergiendo un sólido dentro de un vaso que contenga un líquido, porque el nivel de este se eleva hasta describir un volúmen igual al del cuerpo introducido. Esta propiedad dá el medio de medir con todo rigor el volúmen de un cuerpo por caprichosa é irregular que sea su forma; introduciéndole den-

tre de un vaso lleno de agua y recogiendo cuidadosamente la parte que desaloje, el volúmen de esta será precisamente igual al del cuerpo sumergido.—La operacion se hace mas cómodamente con un vaso dividido en partes iguales, en razon á que basta contar el número de divisiones que sube el nivel.—Y hé aqui una ocasion en que la física auxilia poderosamente á la geometría resolviéndole uno de sus problemas mas intrincados.

El uso de las vidrieras para impedir los vientos frios del invierno, el de los abanicos para refrescar la cara, agitando el aire en el verano, hacen patente la tercera combinacion.

Para el cuarto caso se toman dos vasos de diferentes líquidos, agua y mercurio por ejemplo; y vaciando el uno en el otro el mercurio desaloja el agua, derramándola si los vasos están llenos, ó produciendo en otro caso una elevacion de su nivel igual al del volúmen del mercurio, de tal manera que el volúmen total resulta igual á la suma del de los dos líquidos empleados. Es preciso cuidar de no hacer este esperimento con líquidos que tengan accion química entre sí, como sucede con el ácido sulfúrico y el agua, pues hallariamos en semejantes casos una reduccion de volúmen dependiente de una combinacion mas íntima que entre ellos se opera. Es verdad que hay un desprendimiento de calor en estos casos, y con cuatro partes de ácido sulfúrico y una de agua, se eleva tanto la temperatura que no es extraño se rompan las copas de vidrio en donde se hace la mezcla. Este esperimento, que ahora no podemos apreciar en su justo valor, nos indica ya que el *volúmen de los cuerpos está ligado al calor que encierran*, y que este se desprende á medida que aquel se reduce.

Para demostrar la impenetrabilidad en la quinta combinacion, se toma un embudo que ajuste exactamente al cuello de un frasco, notándose con estraneza que echando el líquido en el embudo no cae al fondo de él, como es natural que lo hiciera, si dentro no le presentara el aire un obstáculo que no puede vencer; y lo que prueba mas la resistencia de este gas es ver al líquido entrar libremente aflojando el embudo para que á la vez deje salida al aire encerrado. Otro esperimento suele hacerse bastante útil por las aplicaciones que proporciona, y consiste en introducir un vaso boca abajo en una

vasija de agua, la que no lo llena, aun cuando se le fuerce á bajar hasta el fondo; siendo costumbre poner dentro del vaso una cerilla encendida que flota sobre un corcho, á fin de que conservándose ardiendo bajo el nivel del agua, haga el experimento de mejor vista. En cuanto á la impenetrabilidad de los gases unos con otros, se hace un experimento curioso y concluyente; tómense dos probetas de cristal, una con aire y otra con gas ácido carbónico, é introdúzcase en ellas una cerilla encendida, y veremos que sigue ardiendo en la primera, mientras que se apaga en la segunda; pero si se invierte esta sobre aquella y despues de algunos minutos hacemos la misma operacion, la cerilla se apaga donde antes ardia y arde donde antes se apagaba, lo que prueba el cambio y desalojamiento recíproco de los gases.

En todo lo espuesto se fundan las campanas de *buzos*, usadas en la esploracion del fondo de los mares, y en la construccion de las obras hidráulicas, cuyos cimientos se encuentran bajo del agua. Las campanas de que hacemos mencion suelen ser de forma cónico-trunca-da, provistas de una bomba de inyeccion de aire, para renovar la atmósfera en que se halla el operador, y hacer que se conserve siempre en disposicion de servir para la respiracion, pues, como veremos mas adelante, un espacio herméticamente cerrado solo puede sostenerla por un tiempo limitado, y el hombre rodeado de aire que no se renovara, sufriria la asfixia indefectiblemente.

9. Hasta ahora hemos tratado de la impenetrabilidad como si perteneciese á los cuerpos, y sin embargo no es así, porque todos son penetrables. Con efecto, introduciendo un clavo en un trozo de madera deberia resultar un aumento de volúmen, si este no fuera penetrable, y como esto no se verifica, debemos concluir y concluimos que los cuerpos son *penetrables*; no obstante, entiéndase que solo es parte del espacio que ellos ocupan, pero en manera alguna la materia de que se componen. Para darnos cuenta de lo que aqui pasa, preciso es advertir que los cuerpos están formados por la agregacion de pequeñas particulas materiales, que dejan entre sí espacios vacíos de su propia sustancia; por consiguiente, al introducir el clavo dentro de la madera, desaloja las moléculas contiguas á su paso, y causando en ellas mayor agrupamiento, hace que muchos espacios vacíos se reunan en uno solo capaz de contenerle.

LECCION III.

Porosidad.—Por qué pertenece á los cuerpos y no á la materia: *porosidad aparente y molecular.* Ejemplos que la demuestran en las piedras y metales: *experimento de los físicos de Florencia.*—*Porosidad orgánica: lluvia de Diana.*—*Porosidad de los líquidos y de los gases; volumen real y aparente.*—*Divisibilidad.*—Ejemplos notables de ella en los sólidos, en los líquidos y en los gases.—*Ídem tomados del reino animal.*

10. **Porosidad.** Todos los cuerpos están formados por la agregacion de un gran número de pequeñísimas porciones de materia, que no hallándose en íntimo contacto, dejan entre sí ciertos espacios vacíos de su propia sustancia, denominados *poros*. De modo que *porosidad es la falta de continuidad en la sustancia de cada cuerpo*. La última ó mas pequeña parte que se puede separar de los cuerpos, se llama en física *átomo, molécula ó partícula*. Se admite, por punto general, que los poros de los cuerpos en vez de estar enteramente vacíos, contienen otros mas ténues como son los gases y los líquidos, y los flúidos imponderados. La porosidad no pertenece á la materia, la cual estando representada por los átomos ó moléculas impenetrables, ó mas claro, siendo para la cuestion presente, esencialmente simple, y sin ninguna agregacion, es imposible que contenga poros. Suelen distinguirse dos clases de porosidad: la una *molecular, invisible y cuyos poros solo están ocupados por los flúidos imponderados*: pertenece á todos los cuerpos y es una propiedad general, porque, como su nombre lo indica, depende de la agregacion de las moléculas; la otra se llama *aparente y solo es peculiar de algunos cuerpos sólidos*; es permeable á los gases, á los líquidos y á los sólidos mismos en algunos casos, siendo entonces fácil de distinguir á la simple vista como en la esponja. Esta porosidad, la única conocida vulgarmente, proviene de la reunion de varios grupos de moléculas, ó de la desaparicion accidental de alguna sustancia interpuesta entre ellas.

11. En la demostracion de la porosidad citaremos ejemplos tanto del reino *inorgánico* como del *orgánico*. Para demostrarla en las

pedras, basta sacarlas del fondo de los rios, romperlas y ver que la humedad ha penetrado en todas sus partes. Echada una gota de aceite sobre una mesa de mármol, se estiende y penetra hasta cierta profundidad. El hidrófano se convierte de opaco en trasparente, y aumenta en un sexto de su peso por la absorcion de la humedad.

Las grutas se ven con frecuencia cubiertas y embaldosadas de *estalactitas* y *estalagmitas*, que provienen de la infiltracion de los líquidos á través de espeso número de capas de tierra que las circundan: las hermosas vistas que presentan las *dendritas* y las *arborizaciones*, tampoco reconocen otra causa.

Los metales tambien son porosos á pesar de la tersura y buen pulimento de sus superficies, y esta vez tenemos el gusto de citar un experimento de los físicos de Florencia, verdaderos fundadores de la física experimental. Queriendo saber si el agua se comprimia, encerraron una pequeña porcion de ella en una esfera formada de diferentes cubiertas metálicas, y sometiéndola á fuertes presiones por medio de un tornillo, su admiracion fué grande al ver que al aplastarse la esfera, aparecia el líquido en su superficie como el sudor sobre nuestro cuerpo. El experimento no deja de ser curioso aunque no se considere hoy decisivo, como entonces, para demostrar la porosidad de los metales, pero revela en cambio su agregacion molecular. Habiendo apreciado la consideracion geométrica de que á igual superficie el cuerpo de mayor volúmen es la esfera, al desfigurarse esta, hubieran deducido, á mi ver, la compresibilidad del agua, y adquirido la gloria que Kanton y Perkins recogieron despues.

La porosidad de las maderas, de las pieles, cabellos, etc. y todos los cuerpos que pertenecen tanto al reino vegetal como al animal, está bien demostrada por la importancia que tiene en las funciones necesarias al desarrollo y crecimiento de sus seres; aparte de que nos son bien conocidos sus efectos por la variacion de volúmen que toman las puertas y ventanas en tiempo de humedad, las cuerdas cuando se mojan, y otros objetos tan comunes como los que acabamos de citar, y de los cuales sacaremos útiles aplicaciones para la meteorología.

Fundándose en la porosidad de la madera y de las pieles, suele hacerse el experimento llamado de la *lluvia de plata* ó de *Diana*. Se



toma para ello un tubo cilindrico de cristal, ABCD, (fig. 3.^a) que se atornilla por la parte inferior á la máquina neumática: á la superior se ajusta un casquillo EF cuyo fondo es de cuero y madera bien compacta. Echando mercurio en este vaso y estrayendo el aire con la máquina, se le ve caer dentro del tubo en gotas muy menudas: su parecido con la lluvia y el metal que se emplea han dado nombre al experimento.

Demuéstrase la *porosidad de los líquidos*, ya porque son susceptibles de disminuir de volúmen, segun veremos luego, ó ya porque reunidos dos ó mas, tales como el ácido sulfúrico y el agua, despues de agitados, el volúmen de su combinacion es menor que la suma de los volúmenes componentes; lo que no podria suceder, si las moléculas del uno no penetrasen en los poros del otro.

En cuanto á los gases, su constitucion molecular y la fuerza repulsiva lo prueba sobradamente. No siendo admisible la creacion de la materia, para que una misma porcion de gas ocupe sucesivamente todo el espacio vacío que se le presenta, es indispensable que el aumento de volúmen sea á consecuencia del *crecimiento de sus poros*.

12. **Volúmen real y aparente.** Enseñándonos la porosidad que los cuerpos son un agregado de poros y materia, conviene distinguir en ellos el *volúmen real* y el *volúmen aparente*: el primero es el espacio que ocuparía la materia de que se componen, si fuera posible aislarla sin porosidad; y el segundo todo lo que desde luego ocupan.

15. **Divisibilidad.** La *divisibilidad es la propiedad que tienen todos los cuerpos de poder ser reducidos á pequeñísimas porciones de su sustancia*. Esta propiedad ha sido mirada desde muy antiguo hasta nuestros dias bajo dos puntos de vista: unos la consideraban de una manera abstracta ó *algebráica*, y entonces la *divisibilidad es infinita*; porque dada una cantidad, por pequeña que sea, siempre es dable tomar su mitad, su tercera parte y en general formar con ella una série indefinida. Otros, por el contrario, la miraban bajo el punto de vista *físico ó mecánico*, y en este caso hay gran número de fenómenos, ya físicos, ya químicos, que tienden á demostrar la existencia de los limites; es decir, que no es

posible dividir los cuerpos mas que hasta llegar á la materia ó á los átomos.

En el dia se concede lo primero por todos, y se admite lo segundo por muchos, dándonos esto un ejemplo de que la mayor parte de nuestros errores y extravios, provienen del doble é incompleto sentido de las palabras, y que fijada la acepcion en que estas se toman, las disputas desaparecen, las ciencias adelantan y las cosas se aproximan mas y mas á su perfeccion.

14. Los ejemplos de divisibilidad son verdaderamente portentosos, ya dirijamos la vista sobre el reino mineral, ya sobre el vegetal ó ya sobre el animal, encontrándose nuestro entendimiento detenido en todas partes por el abismo de lo infinito.

De la mica y de la cal carbonatada, minerales que citaremos en adelante, se sacan por la esfoliacion láminas de gran delgadez. El oro se reduce por medio del laminador á una finura tal que 360000 hojas, puestas unas sobre otras, no componen el espesor de una pulgada; y si fuese posible imprimir en esta clase de cuerpos, tendríamos 1800 volúmenes, de 400 páginas cada uno, en el grueso de una pulgada. La gran divisibilidad del oro explica los precios tan módicos de los dorados, y lo comunes que se han hecho por estar su adquisicion al alcance de todas las fortunas.

La hilera es otro aparato que nos suministra una divisibilidad tan portentosa como la anterior. Haciendo que un hilo vaya pasando por todos los agujeros de mayor á menor, llega á reducirse á un diámetro de $\frac{1}{1500}$ de línea. Wollaston, que fué el primero en conseguir estos alambres finísimos, se valia de un método tan sencillo como ingenioso: tomaba un hilo de platino segun se le podia proporcionar la hilera, y despues introducía una porcion de él en un molde que llenaba de plata fundida, de tal suerte que el hilo de platino era el eje del cilindro de plata; sometido de nuevo este cilindro compuesto á la hilera hasta que no se podia estirar mas, y separando la plata con el ácido nítrico, quedaba libre el alambre de platino reducido á una delgadez estrema.

Becquerel hace uso de este mismo procedimiento, con la diferencia de que sustituye el platino con el hierro, y el ácido nítrico con el mercurio, para proporcionarse hilos de hierro que reemplazan

con ventaja los cabellos en los instrumentos de matemáticas.

El amianto y el vidrio son empleados para el tejido de telas finísimas: del primero se hacian las llamadas incombustibles, muy usadas entre los romanos para la fabricacion de los sudarios ó sábanas en que envolvian los cadáveres, para que sus cenizas no se confundieran con las de la pira en donde se quemaban; y del segundo se obtienen hoy día hilos tan finos que á pesar de lo quebradizo de esta sustancia, se hacen con ellos vestidos de gran precio y valor.

Unos pequeños trozos de almizcle despiden partículas olorosas durante muchos años, sin experimentar la menor disminucion en su peso, al menos apreciable por las balanzas mas delicadas. Un grano de añil dá color á 8 arrobas de agua.

Los líquidos estienden aun mas allá los límites de la divisibilidad, y esta propiedad la encontramos en el color que presenta la luz al atravesar las burbujas de jabon. Newton, valiéndose de su teoría sobre los anillos coloreados, ha obtenido el siguiente resultado, á saber: que el espesor de dichas burbujas es de $1/1200$ de línea cuando presenta muchos colores, y un $1/200000$ si forma un anillo negro.

El reino animal tambien suministra ejemplos en gran copia, y no menos curiosos de una prodigiosa divisibilidad. Se admite la existencia de animalitos diminutos hasta creer que en un grano de trigo cabe un millon de ellos; y segun Ehremberg, en una pulgada cubica de la roca llamada tripoli, hay hasta 41 mil millones de individuos. Si reflexionamos que cada uno de estos animalitos tiene movimientos, vasos circulatorios etc., y que además cada pequenísimas porcion se compone de cuatro elementos, acabaremos de convencernos del grado portentoso á que llega la divisibilidad en todos los seres que pueblan el globo.

LECCION IV.

Compresibilidad; modo de ensayarla y fenómenos que la demuestran en los sólidos.—Compresibilidad de los gases: eslabon neumático: ley y tubo de Mariotte.—Precauciones que hay que tomar respecto de los gases que cambian de estado, y de la temperatura.—Compresibilidad de los líquidos: aparato de OErsted.—Coeficiente de compresion y causas que lo alteran.

15. Compresibilidad. *Se llama compresibilidad á la propiedad que tienen todos los cuerpos de disminuir de volúmen por las fuerzas comprimentes.*

Habiendo demostrado (10) que las moléculas de los cuerpos, en vez de hallarse en contacto íntimo, dejan entre sí espacios penetrables, se comprende sin dificultad que dichos espacios ó poros podrán ser menores bajo la acción de las fuerzas, y que las moléculas agrupándose mas y mas irán disminuyendo el volúmen de los cuerpos.

A pesar de la exactitud de este raciocinio, cuando se pasa á las vias esperimientales, se encuentran bastantes dificultades para demostrarla directamente en los sólidos. Con efecto, si apretamos con los dedos un trozo de cera, vemos que esta cede dejando una impresion muy perceptible, que al parecer demuestra su compresibilidad; pero se objeta á este experimento, y á todos los análogos, diciendo que en lugar de disminuir de volúmen, hay mas bien un desarreglo de las moléculas, y que se estienden por un lado tanto como se les ha comprimido ó reducido por el otro. Para contestar á esta objecion, es necesario apelar á medios indirectos, tales son, comparar las densidades antes y despues de la compresion, por cuyo medio se consigue la demostracion de que la compresibilidad es una propiedad general. Esta propiedad pertenece á los cuerpos y no á la materia, la que careciendo de porosidad, de ninguna manera puede ser compresible.

No obstante lo dicho, citaremos algunos fenómenos que la demuestran en los sólidos. Dejando caer una esfera de marfil sobre un plano de mármol empolvado ó cubierto con una ligera capa de gra-

sa, aparece despues del choque una superficie circular enteramente limpia. Como la esfera y el plano solo tienen un punto de contacto, claro está que dicha superficie es ocasionada por la compresibilidad del mármol ó del marfil, ó bien por la de los dos cuerpos á la vez.

El hundimiento de algunos edificios prueba la compresibilidad de las piedras, y cuánto conviene que los arquitectos é ingenieros sepan elegir los materiales de construccion, muy particularmente para los cimientos de grandes edificios.

Los *relieves* de madera, el *acuñado* de toda clase de moneda, las *ensambladuras* de cabezuelas, y la extraccion de los vinos, de los aceites, etc., son otras tantas aplicaciones de la compresibilidad.

16. Compresibilidad de los gases. El aire y todos los gases sufren una gran disminucion de volúmen por la menor fuerza comprimente; así que, el estado gaseoso es tambien el mas compresible y elástico. Es costumbre hacer la demostracion con el eslabon neumático (fig. 4.^a), que se compone de un cilindro hueco de cristal AB, cerrado por un extremo y abierto por el otro, llamado *cuerpo de bomba*: á este cilindro se ajusta otro macizo, dicho *piston*: introduciendo este en aquel, el aire que encierra el primero va reduciéndose á menor espacio segun aumenta el esfuerzo empleado; pero el piston jamás llega hasta el fondo, en virtud de la impenetrabilidad del gas. Haciendo que la compresion del aire sea muy rápida, como sucede cuando se dá un golpe fuerte con el piston, se desprende bastante calor para *inflamar* la yesca.

El hecho que se acaba de demostrar por medio del eslabon neumático, recibe nueva y comprobante sancion con los esperimentos de Boile y de Mariotte, los cuales no solo demuestran la compresibilidad de los gases, sino que hacen ver la ley que siguen.

El aparato que se emplea con este objeto, llamado de Mariotte, es un tubo ABC, (fig. 5.^a), de vidrio, encorvado ó compuesto de dos ramas dichas brazos: el menor BC, está cerrado por la parte superior C, y dividido en partes de igual capacidad, doce por ejemplo: el mayor AB, al contrario, se halla abierto por el extremo A y la division es en partes de igual altura. Es indispensable que las escalas de los dos brazos tengan su cero en una misma línea hori-

zontal MN. El tubo se fija á una tabla rectangular sobre la que se pintan las escalas, hallándose además provista de una mesita que le sirve de pié para sostenerla en la posicion vertical.

El experimento se hace de la manera siguiente: se introduce el mercurio necesario para que su nivel coincida con la línea MN, ó llegue al cero de las dos escalas, con cuyo requisito conseguimos tener el aire del brazo corto á la misma presion que el exterior, que equivale á una atmósfera; añadiendo mercurio por el brazo largo hasta que su altura sea de unas 28 pulgadas, ó que comprima el aire con una fuerza de otra atmósfera, el nivel en el brazo corto sube á la division 6, y el volúmen del aire se reduce á la mitad; añadiendo otra presion el nivel se eleva á la division 8, y el volúmen del aire queda en su tercera parte; para otra atmósfera mas el nivel llega al número 9, y el aire ocupa tan solo la cuarta parte de su volúmen primitivo.

Ahora bien; segun el experimento que acabamos de citar, cuando las presiones ó las fuerzas comprimentes aumentan segun la série de los números naturales 1, 2, 3, 4, etc., los volúmenes de los gases se reducen á la mitad, tercera, cuarta parte, etc., y pueden representarse por los números 1, $1\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{3}$, $1\frac{1}{4}$, etc. *Luego los volúmenes de los gases están en razon inversa de las fuerzas comprimentes.*

La exactitud de esta ley fué comprobada por los Sres. Dulong y Petit hasta 27 atmósferas, sin haber notado la menor variacion; pero Regnault empleando medios mas exactos para apreciar el volúmen del gas cuando está ya muy comprimido, ha encontrado que la ley de la compresibilidad de los gases no es absoluta, porque algunos, como el *aire* y el *azoe*, se comprimen mas de lo que indica el cálculo de Mariotte, mientras que el *hidrógeno* y otros se comprimen menos; si bien las diferencias son tan insignificantes que pueden mirarse como nulas sin error sensible.

17. Si en lugar de someter el aire y los gases á presiones fuertes, se procede en sentido inverso esponiéndolos á presiones mas débiles enrareciéndolos, se encuentra que el *aumento*, como la reduccion de volúmen, sigue aun la ley de Mariotte. Iguales resultados ofrecen todavia las mezclas de varios gases que no ejercen accion química entre sí.

18. Cuando se opera con gases liquefactibles ó reductibles á líquidos bajo fuertes presiones, es indispensable tomarlos en condiciones bastante distantes del cambio de estado; pues de lo contrario, variando mucho su constitucion molecular, al acercarse á este punto, ofrecerian resultados desiguales que conducirian á conclusiones encontradas.

La temperatura de los gases puede ser cualquiera segun Petit y Dulong, siempre que permanezca constante durante el esperimento; mas si variase, sería origen de muchas causas de error no siempre fáciles de corregir.

19. **Compresibilidad de los líquidos.** Los reiterados esfuerzos que, sin fruto, hicieron los físicos de Florencia y otros hábiles esperimentadores, para conocer la compresibilidad del agua y otros líquidos, dieron margen á que fuese mirados por mucho tiempo como incompresibles, hasta que Canton, por primera vez, demostró y midió su compresibilidad.

El aparato empleado actualmente debido á OErsted, suele conocerse con el nombre de *piezometro*, que Perkins dió al empleado por él, y del cual se diferencia bastante.

Dicho aparato se compone (fig. 6.^o), de una botellita de cuello largo y capilar, dividido en partes iguales y en una relacion dada con la capacidad total. Esta botella se fija á una plancha metálica sobre la que está grabada la escala, sosteniendo además una campanita *mn*, invertida, y dispuesta como el brazo corto del tubo de Mariotte. Todo ello se encierra en un frasco de vidrio CD, de paredes resistentes, y armado de su pié: en la parte superior y en el cuello de este frasco, hay un tornillo P, que pone en movimiento el piston y comprime el líquido. El embudo *z* sirve para llenar por completo de agua el frasco, y la abertura *h* para dejar salir el aire.

Para hacer el esperimento, se llena la botella del líquido sobre el cual se vaya á operar, de agua por ejemplo, dejando en la parte superior una gota de mercurio para que sirva de índice. En seguida se coloca dentro del frasco, y despues de llenarlo perfectamente de agua y cerrar las llaves, se dan vueltas á la rosca para verificar la compresion: la marcha del índice de mercurio indica

la disminucion de volúmen que experimenta el liquido encerrado en la botella, y la altura á que se eleva el agua en la campanita *mn*, dá la presion en atmósferas. Así se llega á determinar el *coeficiente de compresion en los líquidos*; esto es, *lo que disminuye la unidad de volúmen á cero grados por la unidad de presion.*

Dos causas de error hay en esta manera de operar. La primera proviene de que no se advierte si el indice de mercurio penetra dentro del liquido; por lo cual propone Despretz hacer el cuello de la botella mas largo y encorvado, y reemplazar el mercurio por una burbuja de aire; y la segunda del cambio de capacidad que por la compresion experimenta la botella, cuyo volúmen se reduce de tanta cantidad como lo haria un cilindro macizo de vidrio de las mismas dimensiones; siendo necesario añadir esta compresion al coeficiente observado ó aparente, para tener el coeficiente verdadero ó real.

Los coeficientes de compresion varian con la temperatura y probablemente aumentan con ella, aunque en pequeña cantidad. Respecto á las presiones, el agua y el mercurio se *comprimen proporcionalmente á las fuerzas comprimentes*, creciendo menos rápidamente para los otros líquidos; pero segun M. Aime, que ha conseguido operar con la enorme presion de 220 atmósferas, introduciendo en el mar vasijas convenientemente dispuestas, debe tenerse la ley como general para todos los líquidos.

LECCION V.

Qué es elasticidad y cómo debe ensayarse dentro de ciertos limites.—Influencia del templado y del recocido.—Elasticidad de primera y segunda especie.—Movilidad.—Movimiento y reposo relativos y absolutos.—Esplicacion de la inercia.—Principios que de ella se deducen.—Fenómenos comunes dependientes de esta propiedad.

20. **Elasticidad.** Una vez que los cuerpos son compresibles, falta examinar si cuando cesa la fuerza comprimente siguen con la forma y volúmen que esta les ha hecho tomar, ó si vuelven á recobrar la que tenían antes de la compresion. La observacion y la es-

periciencia hacen ver que en todos se desenvuelve una fuerza mas ó menos grande, llamada de *elasticidad*, de *resorte* ó de *tension*, en virtud de la cual los cuerpos *recobran en todo ó en parte su forma y volumen primitivos*, cuya propiedad recibe el nombre de *elasticidad*.

La elasticidad es bien fácil de conocer en algunos cuerpos como el aire, el marfil, el acero, etc.; en efecto comprimida una vejiga de gas, recobra su forma en el momento que cesa la compresion: una esfera de marfil arrojada sobre el mármol, rebota por su fuerza de resorte y no presenta aplanamiento alguno por pronto que se la examine, y las varillas de acero, fijas por un extremo y encorvadas por una traccion aplicada en el otro, abandonadas repentinamente hacen gran número de oscilaciones alrededor de sus posiciones de equilibrio, ó toman un movimiento de vaiven antes de conseguir el reposo.

Haciendo iguales ensayos con pasta, carton ó papel mojados, se encuentra que por el contrario conservan fielmente la figura que en ellos imprime el cuerpo mas duro, pareciendo á primera vista que estos cuerpos están desprovistos de elasticidad. Para darnos cuenta de lo que aqui pasa, debemos advertir, que una gran esfera y un perdigon arrojados de la misma altura sobre un pavimento, no presentan igual fenómeno: la esfera se aplasta y no parece elástica, en tanto que el perdigon reobra sobre sí mismo y presenta su forma esférica. Dejando caer una gota de agua sobre una superficie limpia, se aplasta y produce una mancha mojada; mas si está recubierta de polvo muy fino ó de grasa, la gota salta ó rebota como si fuera una esferita de marfil: haciendo igual operacion con globulitos de mercurio, el fenómeno se presenta mejor y mas visible, pues la mayor fuerza de cohesion les permite variar su forma entre límites mas estensos, dándonos por ello una prueba mas clara de la elasticidad de los líquidos.

Estos esperimentos indican que la elasticidad debe ensayarse dentro de ciertos límites, diferentes para todos los cuerpos, y variables en un mismo cuerpo, con las circunstancias en que esté colocado, como son: la masa, la forma, la agregacion molecular, la temperatura y la manera de aplicar sobre ellos la fuerza modificadora.

El *límite* de elasticidad servirá, pues, para dar una idea del espacio dentro del cual pueden las moléculas girar las unas al lado de las otras, modificar su modo de estar en los cuerpos, y conservar la facultad de volver á sus posiciones de equilibrio tan luego como deje de obrar la fuerza que las conmueve; y en un orden inverso, cuando el desarreglo es grande, cuando su desviacion sale de los límites espuestos, entonces los cuerpos *frágiles* se rompen, y los *flexibles* se amoldan á las nuevas formas que conservan en todo ó en parte, segun la relacion de su elasticidad con el desarreglo producido.

La elasticidad de los cuerpos es mas bien un resultado de la agregacion molecular que de su composicion química: sirvan de ejemplo el acero y la mayor parte de los metales que adquieren un gran desarrollo en su fuerza elástica elevándolos á una temperatura muy alta y haciéndolos enfriar repentinamente, operacion llamada del *templado*; y por la inversa, la pierden de nuevo si despues de calentados os dejamos enfriar con lentitud, que es lo que constituye el *recocido*. La aleacion de 0,78 de cobre y 0,22 de estaño, de que se hacen los *tantanes*, presenta una escepcion notable, aumentando de dureza y de sonoridad por el recocido, y perdiendo estas propiedades por el templado.

Aunque es verdad que todos los cuerpos son elásticos, no podemos concluir que lo sean igualmente; y tan cierto es esto, que sus diferencias sirven de base para dividirlos en dos secciones. *Llámanse cuerpos elásticos de primera especie, ó perfectamente elásticos, á los que recobran instantáneamente su primer volúmen, y conservan en el mismo estado esta propiedad por repetido que sea el número de veces que se les comprima; tales son el aire, los líquidos y el marfil; y entiéndese por cuerpos elásticos de segunda especie, ó no perfectamente elásticos, los que emplean un tiempo perceptible en sus cambios de forma, y se debilita con el uso su fuerza de tension; asi sucede á la goma, madera, lana, etc.*

21. Movilidad. *La movilidad es la propiedad que tienen todos los cuerpos de poder ser trasladados de un punto á otro: esta propiedad, como se deja conocer, corresponde tambien á la materia. Cuando un cuerpo ocupa sucesivamente diferentes puntos en el espu-*

cio, se dice que está en movimiento; y se entiende por reposo la carencia de todo movimiento y de todo esfuerzo que tienda á comunicarlo.

Tanto el reposo como el movimiento deben considerarse *absoluta y relativamente*. Seria reposo *absoluto* el estado en que se hallara un cuerpo ocupando constantemente el mismo lugar del espacio. Este estado no existe para nosotros, porque no se conoce cuerpo alguno que no esté en perpétuo movimiento: el globo que habitamos, la luna, el sol y todos los cuerpos celestes muévense sin cesar, cambiando continuamente el aspecto del cielo: la tierra, girando sobre su eje y dando vueltas sobre la eclíptica, produce los días y las noches y las estaciones del año.

El reposo relativo es el estado de quietud que guardan algunos cuerpos respecto de otros que se mueven; tal sucede á los edificios y á los árboles comparados con los animales; así como se llama movimiento relativo cuando un cuerpo varia de posición ó de distancia mientras que otros permanecen fijos. Finalmente, si un cuerpo ocupa á cada momento un lugar diferente del espacio en general, diríamos que estaba en movimiento absoluto, si bien por carecer de un punto fijo ó del reposo absoluto, no podemos medir esta clase de movimiento.

22. Inercia. *A la falta de actividad que tienen los cuerpos y la materia para cambiar el estado de reposo ó movimiento en que se encuentran, se llama inercia.*

La primera parte de esta proposición parece desde luego evidente. La observación y la esperiencia nos enseñan que ni los libros, ni las sillas, ni otros cuerpos por el estilo, se ponen en movimiento por sí y sin el auxilio ó intervención de las fuerzas; mas no se presenta tan clara la segunda, mediante á que la misma observación y esperiencia atestiguan á cada instante que todos los movimientos comunicados por nosotros acaban á cierto tiempo, de donde concluían los antiguos que los cuerpos tenían una tendencia al reposo. Semejante conclusión no es cierta, por mas que las apariencias estén á su favor; y un sencillo raciocinio bastará para poner las cosas en claro y disipar todas las dudas sobre el particular. En efecto, nadie ignora que una esfera de marfil rueda mucho mejor sobre una mesa de

billar que un trozo grosero sobre el suelo, ni que al disminuir los puntos de contacto entre el cuerpo que se mueve y el camino por donde lo verifica se aumente la duracion del movimiento. Por otra parte, el aire ó la atmósfera en donde vivimos, y la atraccion que ejerce la tierra sobre todos los cuerpos, son otras tantas causas contrarias al movimiento; y por punto general dan poco á poco el mismo resultado que una fuerza *aplicada* de repente; como por ejemplo, cuando queremos detener un cuerpo, que solo conseguimos nuestro objeto, desenvolviendo un esfuerzo igual y contrario al que lleva. En suma, si los cuerpos no pierden su movimiento á no ser por los obstáculos naturales que á él se oponen, separados estos obstáculos, el movimiento se perpetuaria sobre la tierra.

Representado el movimiento por M, la resistencia que encuentre por R, y por T su duracion, se tiene $T = \frac{M}{R}$; y si $R=0$; $T=\infty$.

Este resultado en vez de ser una abstraccion matemática, es una verdad que tiene aplicacion á nuestro sistema solar y á los demás del universo; la tierra, la luna y todos los cuerpos celestes girando en el vacio conservan hoy dia el mismo movimiento que les dió el Criador en la época de su formacion.

De lo dicho se deducen algunas consecuencias ó principios de inercia.

1.º Todo cuerpo puesto en movimiento en el vacio, seguirá siempre en la misma direccion y con igual velocidad que al principio; pues si la pudiera retardar, acelerar ó variar en algo, tambien sería necesario admitir en ellos la cualidad de pasar del reposo al movimiento, resultado visiblemente absurdo.

2.º Un cuerpo en reposo necesita de cierto esfuerzo para ponerse en movimiento, en virtud de su inercia; luego suponiéndole desprovisto de esta propiedad, podemos mirarle como dotado de otra fuerza igual y en sentido contrario de la que obra sobre él, y por consiguiente la *reaccion será igual y contraria á la accion que la produzca*.

23. Hay fenómenos muy curiosos dependientes de la inercia. Las personas que van en carruaje, ó á caballo, experimentan un mo-

vimiento hácia atrás cuando estos echan á andar, y hácia adelante cuando se detienen de repente. El que se apea de un coche en movimiento cae en la direccion que este lleva, y las liebres burlan la persecucion de sus enemigos con cambios repentinos que aquellos no pueden hacer con igual facilidad.

LECCION VI.

Gravedad y razones que hay para admitirla como propiedad general.— Demostrar que es una fuerza elemental, constante y que obra con igual energia sobre los cuerpos que sobre las moléculas que los constituyen, no reconociendo mas principio que las masas y las distancias.— Gravitacion en general, cohesion, afinidad.— Division de las propiedades generales. Propiedades particulares.— Dureza, maleabilidad, ductilidad y tenacidad.

24. Gravedad. Todos sabemos que cuando los cuerpos no están sostenidos ó colgados y se dejan abandonados á sí mismos, caen ó se precipitan sobre la superficie de la tierra; verificándose la caída siempre lo mismo, bien sea sobre los continentes, bien sobre los mares, bien sea sobre la cima de elevadísimas montañas, ó bien finalmente en la profundidad de las minas; de suerte que los cuerpos caen en todos los puntos de nuestro globo, ó lo que es lo mismo, todos los cuerpos son graves, ó la gravedad es una propiedad general de ellos: luego *la gravedad es la tendencia que tienen todos los cuerpos de dirigirse hácia el centro de la tierra*. No obstante lo dicho, la esperiencia parece contradecir á primera vista este principio en algunos cuerpos, que en vez de descender se elevan: así sucede con el humo, las nubes, etc. Pero semejantes hechos, en lugar de ser verdaderas escepciones no lo son sino aparentes, que bien examinadas confirman la ley general. Con efecto, si tomamos varios cuerpos tales como el corcho, el hierro, el platino, y los dejamos caer, todos en virtud de su gravedad, se dirigen hácia el centro de la tierra: por consiguiente, *todos estos cuerpos son graves*; pero si en lugar de dejarlos caer á través del aire, los hacemos en el agua, todos se van al fondo menos el corcho; ¿se dirá por eso que no es grave?; mas aun, sumergiéndolo á viva fuerza dentro del agua, sube á la superficie

tan luego como se le deja solo. Ahora bien, puesto que el corcho, á pesar de ser grave, introducido en el agua sobrenada como lo hace el hierro sobre el mercurio, ¿no podrá suponerse en la atmósfera igual fenómeno con el humo y las nubes sin concluir por eso que estos cuerpos están desprovistos de gravedad?

En uno de los tratados que hemos de examinar mas adelante, veremos comprobado todo lo que acabamos de decir (118); demostrando que todo cuerpo introducido en un flúido está sometido á una fuerza de abajo á arriba, que cuando prepondera, es decir, cuando es mayor que la gravedad, hace que los cuerpos suban en vez de caer.

25. *La gravedad es una fuerza que obra sobre todos los cuerpos sin tregua ni descanso: es elemental y constante para cada punto de la tierra.* Decimos que es *continua* é incansable, porque en cualquiera momento que dejamos de sostener un cuerpo cae, sin que la observacion y la esperiencia puedan citar un solo caso en contrario: es *elemental*, porque obra de la misma manera sobre todas las moléculas que constituyen un cuerpo; y esto es tan cierto, que todos ellos sin embargo de ser porosos, y á pesar de que sus moléculas no están en contacto íntimo, conservan su integridad y su forma despues de la caída.

Si la gravedad de una molécula fuese mayor que la de otra, la mas pesada de ellas ó la mas grave, llegaria al suelo primero, ó bien cambiaria de lugar desfigurando la forma del cuerpo. Por otra parte, dos cuerpos iguales, uno en masa y otro reducido á polvo, por fino que sea, caen de la misma manera si están colocados en circunstancias convenientes, lo que no tendria lugar si la gravedad de los cuerpos fuera diferente de la de las moléculas de que se componen. La direccion que siguen los cuerpos en su caída se llama *vertical*; y *línea de plomo* ó *plomada* la que toma una cuerda que sostiene un peso y sirve para señalarla. La perpendicular á la vertical se llama *horizontal*.

26. La gravedad no es la única fuerza atractiva que existe en la naturaleza, pudiendo tomarse muy bien como un caso particular de la gravitacion ó atraccion universal. Esta fuerza obra sobre todos los cuerpos así terrestres como celestes: su energía es independiente

de la naturaleza de la materia, y no reconoce en ella mas principio que su cantidad y su distancia; *así es que obra proporcionalmente á las masas y en razon inversa de los cuadrados de las distancias*; es la que mantiene á los satélites en las órbitas que describen alrededor de los planetas y enlaza estos astros con el sol; es la que armoniza nuestro sistema solar con los demás que hay esparcidos por la inmensidad del espacio; y en una palabra, *es la que rige el sistema del mundo.*

Si esta fuerza la consideramos mas en pequeño que en los casos anteriores y obrando á distancias inapreciables á nuestros medios de observacion, como son las que separan las moléculas de los cuerpos, tendremos la fuerza de cohesion. *La fuerza de cohesion es la que mantiene unidas las moléculas de los cuerpos, y determina por su mayor ó menor energía los estados que estos afectan*: influye en la dureza de los sólidos, en la viscosidad de los líquidos y en la densidad de los gases. Y por último, *la fuerza que une los átomos de naturaleza diferente para formar los cuerpos compuestos, recibe el nombre de afinidad.*

En resúmen diremos, para concluir, que la fuerza de atraccion considerada en sus distintas fases, reúne los átomos de naturaleza diferente por la afinidad, forma los cuerpos por la cohesion, mantiene la atmósfera alrededor de la tierra por la gravedad, y hace girar á esta alrededor del sol por la gravitacion universal.

27. **Division de las propiedades generales.** Por todo lo que acabamos de esponer, queda bien sentada la importancia del estudio de las propiedades generales, como que de ellas y no de otras, sacamos el conocimiento físico de los cuerpos y de la materia: al paso que para llegar al de los individuos sería preciso examinar y comprender sus propiedades particulares.

Tambien conviene notar las diferencias que presentan entre sí las propiedades generales mismas, por ser la estension, la movilidad, la inercia y la gravedad comunes á los cuerpos y á la materia; la porosidad, compresibilidad, divisibilidad y elasticidad exclusivas de los cuerpos, mientras que de la impenetrabilidad solo goza la materia.

Propiedades particulares. Al ocuparnos de las propiedades particulares debemos advertir que solo vamos á hacerlo de

aquellas que tienen verdadera importancia en física, pues de ser más latos entraríamos en las que son del dominio de la química ó de la mineralogía.

28. **Dureza.** Damos el nombre de *dureza* á la *resistencia que oponen los cuerpos á ser rayados*. Esta propiedad particular depende más bien de la fuerza de cohesión que de la naturaleza química del cuerpo; y por eso una misma sustancia presenta diferentes grados de dureza con solo alterar el estado de su agregación molecular. Sirva de ejemplo el aumento de dureza, como de elasticidad, que recibe el acero por el templado, y lo dócil que se vuelve el hierro por la elevación de temperatura.

La dureza es una propiedad que puede dar lugar á equivocaciones si no se hacen las advertencias necesarias; y á fin de evitar toda causa de mala inteligencia, se ha convenido en admitir que la *dureza se ensayaría siempre por medio de la presión con rozamiento; teniéndose por cuerpo más duro aquel que raya sin ser rayado*. De esta manera se forma la escala de dureza de Mohs, que tantas aplicaciones ofrece en Historia natural, suministrando al mineralogista uno de los caracteres más esenciales para el reconocimiento de las sustancias (1). La forma del filo, la velocidad, la presión, la temperatura y otra multitud de circunstancias modifican la dureza en uno y otro sentido, que no es posible analizar en un ensayo como este. Designase generalmente la falta de dureza con el nombre de *blandura*. La blandura no es en realidad una propiedad, consistiendo solamente en un estado relativo de más ó menos dureza, y en este sentido llamamos cuerpos *blandos á todos los que, como los pastosos, ni son casi elásticos, ni presentan resistencia sensible al rayado*.

29. **Maleabilidad.** La *maleabilidad es la propiedad que tienen algunos cuerpos de poder ser estendidos en láminas muy delgadas*. Entre los ejemplos que citamos de la divisibilidad (13) los hay bastante á propósito para hacer comprender hasta qué punto llega esta propiedad en los metales, y las aplicaciones que de ella se

(1) La escala de dureza de menor á mayor, la representan los cuerpos siguientes: 1.º el talco, 2.º el yeso, 3.º la caliza, 4.º el espato fluor, 5.º el apatito, 6.º el feldespato, 7.º el cuarzo, 8.º el topacio, 9.º el corindon, y 10.º el diamante.

sacan; solo falta añadir, que esta propiedad depende de la temperatura y del modo de ensayarla: el oro que es el cuerpo mas maleable operando con el laminador, haciendo uso del martillo dejaria ocupar al estano el primer lugar de la escala.

30. **Ductilidad.** *La ductilidad es la propiedad particular de estenderse en hilos ó alambres delgados; es casi esclusiva de los metales, figurando en primer término el platino, el hierro, el oro, la plata, etc.*

31. **Tenacidad.** *Llámase tenacidad la fuerza con que resisten los cuerpos á romperse, cuando reducidos á hilos y sujetos por un extremo están solicitados por pesos ó estirados por el otro. La tenacidad de cada sustancia se mide por el peso mínimo que consigue la separacion de sus partes; mas para compararla entre varias sustancias es indispensable dar á los hilos el mismo diámetro y dejar los pesos pendientes igual tiempo; pues un peso que no rompe un hilo en treinta minutos, puede romperlo en una hora ó mas. El hierro es el mas tenaz de los metales, circunstancia que unida á su abundancia en la naturaleza, fácil estraccion, conservacion y elaboracion, le hacen de tanto uso que sirve para calcular los adelantos de un pais por el gasto que de él haga anualmente.*



MECÁNICA.

LECCION VII.

Mecánica y partes en que se divide.—Explicar qué son fuerzas y el modo de representarlas.—Problema general de la composición y descomposición de las fuerzas.—Sistema, componentes y resultante.—Equilibrio.—Fuerzas iguales, dobles, triples, etc.—Composición de las fuerzas que obran en la dirección de una recta.

32. **Estática.** Dáse el nombre de *Mecánica*, á la ciencia que tiene por objeto el estudio de las fuerzas. Se divide en *Estática* que significa quietud, y en *Dinámica* que quiere decir movimiento. *La Estática examina las condiciones que han de tener las fuerzas para producir el equilibrio, y la Dinámica estudia las propiedades del movimiento.*

La circunstancia de presentarse los cuerpos bajo tres estados, hace que se anteponga á la division anterior una palabra griega para indicar de cuál de ellos se trata. Así, la *Estática* y *Dinámica* tienen relacion solamente con los sólidos, la *Hidroestática* é *Hidrodinámica* con los líquidos, y la *Aereoestática* y *Aerodinámica* con los gases. Algunos autores dividen la mecánica, en mecánica de sólidos, y en mecánica de flúidos, comprendiendo entonces esta segunda parte los líquidos y los gases.

33. **Fuerzas.** Dáse el nombre de fuerza á toda causa que produzca ó tienda á producir movimiento, ó á impedir que se verifique.

Parece indispensable abrazar estos extremos en la definición, porque un esfuerzo capaz de poner en movimiento un cuerpo es insuficiente para mover otro de masa mayor; y sin embargo, en los dos casos hay aplicación efectiva de una fuerza. Además, los cuerpos en movimiento necesitan, en virtud de su inercia, para ser detenidos que les opongan una fuerza igual y contraria á la que llevan; por consiguiente, todo lo que desde luego destruya el movimiento ó lo retarde, aun cuando no lo aniquile, es fuerza también.

Al entrar en el exámen de las fuerzas nos encontramos con que se desconoce su número y naturaleza, siendo apreciables tan solo por los efectos que sobre los cuerpos producen. Sirva de ejemplo el origen tan diverso que tienen la fuerza muscular, la adquirida por una piedra que cae de cierta altura, la expansiva del vapor y la electromagnética. A pesar de todo, una consideración sencilla y natural allana todas las dificultades que esto pudiera traer al estudio de la mecánica. Es indudable que siendo las fuerzas heterogéneas no pueden compararse ni medirse unas con otras; mas admitiendo la *hipótesis de que son proporcionales á los efectos que producen*, según la observación y la experiencia lo acreditan, midiendo estos efectos y comparándolos entre sí, sus relaciones nos darán á conocer la verdadera magnitud ó intensidad de las fuerzas, independientemente de su origen y naturaleza.

34. Fundándose en que las fuerzas pueden ser mayores y menores, se las mira como cantidades matemáticas, y en este sentido se emplean para su representación los mismos signos de que esta ciencia hace uso, ya sean números, letras ó líneas; y si por regla general son preferidas las últimas, es porque facilitan el conocimiento simultáneo de las cuatro cosas que sirven para determinarlas y son las siguientes:

1.º *Punto de aplicación, que es aquel que se halla sometido desde luego á su influjo*; 2.º *dirección, que es la línea recta que dicho punto describe*; 3.º *intensidad, que es la mayor ó menor energía con que la fuerza obra*, y suele representarse por una parte proporcional de la misma línea recta que marca la dirección; 4.º y por último, el *sentido* en que las fuerzas obran; es decir, si *empujan ó tiran del cuerpo hácia sí*: siempre que no se advierta nada en contrario,

entenderemos que las fuerzas tiran en la direccion de las flechas con que acostumbran señalarse.

Elegida la representacion lineal, conviene tener en cuenta las *relaciones de posicion y magnitud*. Las fuerzas podrán ser mayores ó menores; hallarse en un mismo plano ó en planos diferentes; y estando en un mismo plano, tener sus direcciones concurrentes ó paralelas; de cuyos extremos nos iremos ocupando por su órden.

35. A esta altura podemos entrar ya con el problema general de la *composicion y descomposicion* de las fuerzas, esto es; *dado un sistema de fuerzas que actúe sobre un cuerpo, hallar una que por sí sola produzca el mismo efecto que todas juntas; y vice versa; dada una fuerza descomponerla en las que han podido producirla.*

La solucion general de esta cuestion exige conocimientos matemáticos bastante profundos, por cuya consideracion advertimos que no deben confundirse en manera alguna con un tratado de mecánica general las ligerísimas nociones que de ella vamos á esponer, ni esperar las demostraciones necesarias á un gran cuerpo de doctrina. Nuestro propósito no va tan lejos: redúcese á conocer las proposiciones mas elementales de la *mecánica física*, si nos es permitida esta frase, que á la vez que allanen el estudio que vamos ó emprender, sirvan de base á las principales y mas comunes aplicaciones á que las máquinas se destinan.

36. **Componentes y resultante.** *Se dice que varias fuerzas forman un sistema, euando sus puntos de aplicacion están ligados los unos á los otros de una manera invariable: las fuerzas que forman el sistema se llaman componentes, y resultante la que puede reemplazarlas produciendo el mismo efecto que todas juntas.*

37. *Si varias fuerzas obran sobre un cuerpo sin causar movimiento, tanto ellas como el cuerpo están en equilibrio.* El equilibrio no debe confundirse con el reposo, que es la carencia de movimiento y de fuerza que tiende á comunicárselo. El reposo, segun lo dicho (21), no existe en la naturaleza.

38. *Dos fuerzas que obran sobre un punto, en la direccion de una recta, y en sentido contrario, sin producir efecto alguno, son evidentemente iguales; y una fuerza será doble, triple, etc. de otra,*

si comunica á un mismo cuerpo un movimiento, dos, tres etc. veces mayor.

39. *Todas las fuerzas que aplicadas á un punto, ó á un cuerpo, obren en el mismo sentido y direccion, tienen una resultante igual á su suma; por ser así conforme á la idea que tenemos de fuerza. Si unas fuerzas tiran en un sentido y otras en el opuesto, la resultante será igual á la diferencia; pues siempre podrán reducirse á dos fuerzas, una representanté de las positivas y otra de las negativas. En este caso, si las dos sumas resultan iguales, el sistema estará en equilibrio; de no ser así, se descompondrá la mayor en dos partes, una igual á la menor con la cual quedará destruida, y otra igual á la diferencia que representará el movimiento en direccion de la mayor.*

LECCION VIII.

Paralelógramo de las fuerzas.—Dos fuerzas angulares tienen siempre una resultante que viene representada en direccion y magnitud por la diagonal del paralelógramo construido sobre sus intensidades.—Método gráfico de hallar la resultante de cualquier número de fuerzas.—Relacion que hay en todo sistema en equilibrio entre cada fuerza y la resultante de las demás.—Descomposicion de una fuerza en sus componentes.—Composicion de las fuerzas que se hallan en el espacio.—Paralelipipedo.

40. **Fuerzas concurrentes.—Paralelógramo.—**

1.º *Dos fuerzas angulares tienen siempre una resultante.* De hallarse en equilibrio las fuerzas P y Q (fig. 7.^a), se seguiria que al introducir una fuerza P' , igual y directamente opuesta á la P , el punto A se moveria en la direccion AD ; pero equilibrándose tambien las P y P' , la Q produciria todo su efecto, y el punto caminaria por la línea AB : luego el punto A iria á la vez por dos caminos diferentes; y como esto no es admisible, queda probado que dos fuerzas angulares no producen nunca el equilibrio.

2.º *La resultante, puesto que la hay, se hallará en el plano de las componentes.* De estar en un plano que pase por la parte superior, por ejemplo, siempre será posible tomar otro por la inferior simétricamente colocado con el primero, y entonces la misma razón

habria para que pasara por el de arriba que por el de abajo; y no pudiendo hacerlo simultáneamente por los dos, de hecho se hallará en el mismo plano.

3.º *Pasará por dentro del ángulo ABC que ellas forman. De no ser así, eligiendo posiciones simétricas con relacion á las dos fuerzas, vendriamos á parar á la misma conclusion que en los casos anteriores.*

Corolario. *Dos fuerzas iguales AB y AC (fig. 8.ª), tienen una resultante que biseca el ángulo formado por ellas; no habiendo razon para que se acerque á la una con preferencia á la otra.*

4.º *En el caso de ser desiguales se aproxima á la mayor. De esto nos damos cuenta descomponiendo la AD en dos partes: la AC igual á la menor, y la CD que represente el exceso ó diferencia; la resultante de las AB y AC, es la bisectriz AR. Componiendo esta fuerza con la CD trasladada al punto A, daa la resultante final AR', que, como vemos, se aproxima á la componente mayor AD.*

5.º Finalmente, si en el punto A (fig. 9.ª) aplicamos una fuerza X que produzca el equilibrio de las P y Q, será igual y directamente opuesta á su resultante. Tirando por el punto E la EF paralela á AC, y por el C la CF á la AE, se forma el paralelógramo CAEF, en el que $FC=AE$; pero como en el paralelógramo AFCE, tambien $FC=AR$, resulta que $AE=AR$; ó $X=R$, de manera que la *resultante de dos fuerzas que forman ángulo, viene representada en direccion y magnitud por la diagonal del paralelógramo construido sobre sus intensidades.*

El aparato (fig. 10), denominado *paralelógramo de las fuerzas*, sirve para aclarar espermentalmente lo dicho hasta aquí; pues obrando sobre la esfera *m* la accion vertical de la gravedad, y la horizontal aplicada al cordón, toma un movimiento en direccion de la diagonal AB.

Así pues, dadas dos fueras P y Q (fig. 11), aplicadas al punto A, bastará para componerlas, tirar por el extremo de cada una de ellas una paralela á la otra, y tomar por resultante R, la diagonal del paralelógramo formado.

41. Sabido el procedimiento para determinar la resultante de dos fuerzas, podemos conocer, siguiendo el mismo método, la de un

número cualquiera de ellas; basta para ello *combinar con la tercera fuerza la resultante de las dos primeras; tomar la nueva resultante y componerla con la cuarta, y así sucesivamente iremos reduciendo el sistema con cada composicion á otro equivalente de una fuerza menos, hasta llegar á la resultante final.*

Sean por ejemplo las fuerzas P, P', P'', P''' , (fig. 12), representadas por las magnitudes AC, AD, AE y AF . Componiendo las dos primeras, su resultante es AC' , que en union con las fuerzas restantes forma un sistema de una fuerza menos. Combinada la resultante AC' con la fuerza P'' , hallamos otra resultante AC'' , y compuesta esta con la última fuerza P''' , dá la resultante final R , representada por la distancia AC''' .

Como puede notarse, despues de conocida la resultante final AC''' , para nada son necesarias las intermedias AC', AC'' , etc., y en esto se funda un procedimiento gráfico muy á propósito para simplificar la operacion. Consiste este, en tirar por el extremo de la primera fuerza una línea paralela á la segunda y tomar sobre ella una longitud CC' igual á esta fuerza; por el extremo C' , se tira otra línea $C'C''$ igual y paralela á la tercera, continuando este procedimiento hasta que no haya mas fuerzas; en cuyo caso la distancia del extremo de la última paralela al punto de aplicacion, medirá la estension de la resultante.

Si en el sistema anterior introdujéramos una fuerza P^iv ó AG , igual y directamente opuesta á la resultante R de las anteriores, la última paralela sería la línea AC''' , que cerraria por completo el poligono; y entonces confundiéndose su extremo con el punto A de aplicacion, la resultante es nula y el sistema está en equilibrio.

Luego si tenemos cierto número de fuerzas aplicadas á un punto, que puedan representarse por un poligono cuyos lados sean proporcionales á su intensidad y paralelos á su direccion, formarán un sistema en equilibrio si el poligono se cierra, y por el contrario, si queda abierto tendrán una resultante igual á la distancia del extremo del último lado al centro.

42. Se comprende muy bien por todo lo dicho, que para estar un sistema en equilibrio necesita ser cada una de las fuerzas igual y directamente opuesta á la resultante de las demás. En efecto, si

las componemos todas menos una, indudablemente su resultante solo podrá ser contrarestada por otra fuerza igual y contraria con ella; y como la fuerza restante no puede restablecer el equilibrio sin neutralizar esta resultante, claro está que dichas dos fuerzas son iguales.

43. El problema de la *descomposicion de las fuerzas* es completamente *indeterminado*, si además de la *magnitud* de la resultante no se dá el *ángulo* que con ella han de formar las componentes pedidas.

Tómense para demostrarlo dos fuerzas P y Q (fig 13), que supondremos iguales para mayor sencillez; y dándoles diferentes aberturas, se verá por la simple inspeccion de la figura, que su resultante varía entre límites bastantes estensos y siempre en sentido contrario del ángulo que forman.

Si el ángulo es el máximun, esto es, de $180.^{\circ}$, las fuerzas son diametralmente opuestas, y la *resultante* viene representada por su *diferencia*, mientras que si el ángulo es nulo, las fuerzas se sobrepone, y la resultante es igual á la *suma* de las componentes.

Por consiguiente, *la resultante de dos fuerzas podrá ser mayor, igual ó menor que cada una de las componentes, haciendo variar el ángulo que ellas forman.*

44. **Fuerzas que se hallan en el espacio.** Antes de ocuparnos de las fuerzas paralelas, vamos á examinar la composicion de las que hallándose en diferentes planos ó en el *espacio*, como suele decirse, tienen un punto comun de interseccion ó de aplicacion.

Para resolver este problema demostraremos: que *la resultante de tres fuerzas P, Q y S, que concurren en un punto y están en diferentes planos, viene representada en direccion y magnitud por la diagonal del paralelepípedo construido sobre las intensidades de las fuerzas.*

Supongamos que las longitudes AB, AC y AD (fig. 14), representen las intensidades de las fuerzas propuestas; como tomadas dos á dos han de hallarse necesariamente en un mismo plano, la resultante de P y Q será la la R', diagonal del paralelógramo construido sobre sus intensidades, (40, 5.^o); por idénticas razones, la resultante

de R' y de la fuerza S será la R , que, como se vé, es la diagonal de un paralelipípedo cuyas aristas son las fuerzas dadas P , Q y S .

Si en lugar de tres fuerzas hubiera un número mayor, el problema sería mas largo pero no mas difícil; porque todo estaría reducido á combinar la nueva fuerza con otras dos, y hallar la diagonal del paralelipípedo correspondiente, y prosiguiendo de esta manera llegaríamos, por fin, á la composicion de todo el sistema.

45. En todo lo dicho hasta aquí para conocer gráficamente la resultante de un sistema de fuerzas, las hemos supuesto aplicadas á un punto y con una direccion dada, sin cuidarnos de examinar las condiciones que implícitamente lleva consigo este procedimiento, que á la verdad no son pocas; y tan cierto es, que no miraremos la resultante como bien determinada, en cuanto no se fije el punto de aplicacion por sus *coordenadas*, la intensidad de las fuerzas, los ángulos que forman con los ejes y sus signos, ó el sentido en que obran.

LECCION IX.

Fuerzas paralelas.—Direccion y magnitud de la resultante.—Punto de aplicacion.—Ecuacion de los momentos.—Conocer el punto de aplicacion de la resultante de dos ó mas fuerzas.—Discusion del caso en que las fuerzas obran en sentido contrario.—Pares de fuerzas.—Aplicaciones de la descomposicion de una fuerza.

46. **Fuerzas paralelas.** *Llámanse fuerzas paralelas las que hallándose en un mismo plano conservan, aun cuando se las prolongue, igual distancia entre dos cualesquiera de sus puntos.*

47. *Dos fuerzas paralelas é iguales, aplicadas á los extremos de una recta y obrando en el mismo sentido, tienen una resultante paralela á las componentes, igual á su suma, y que pasa á igual distancia de ellas.*

Sean las fuerzas iguales P y Q (fig. 15), obrando á los extremos de la línea AB . Si tanto la una como la otra fuerza tiran del cuerpo para llevarlo en la misma direccion, el movimiento que adquiriera dependerá de la intensidad de las dos, y en su consecuencia la resultante será igual á su suma; luego $R=P+Q$.

El punto de aplicación C, debe estar en el medio de la línea AB, porque siendo las dos fuerzas iguales, no hay razón para que se aproxime á la una con preferencia á la otra. Si las fuerzas P y Q (fig. 16), fuesen desiguales, la resultante se aproximaría á la mayor de una manera proporcional á su intensidad; y como á doble, triple fuerza etc. deberá de haber la mitad, tercera parte etc. de la distancia que las separa, se obtiene la proporción $P:Q::BC:AC$; de donde resulta, que las intensidades de las fuerzas son inversamente proporcionales á las distancias de sus puntos de aplicación al de la resultante. Multiplicando extremos y medios $P \cdot AC = Q \cdot BC$.

El producto de la intensidad de una fuerza por su distancia al punto de aplicación de la resultante, se llama momento de la fuerza. La igualdad entre los momentos de dos fuerzas forma la ecuación de los mismos. Estas denominaciones son muy usadas en mecánica.

De la proporción anterior sale la siguiente: $P+Q:P::BC+AC:BC$; pero $P+Q=R$ y $BC+AC=AB$; luego $R:P::AB:BC$; lo cual nos manifiesta: que la resultante es á cada una de las componentes como la distancia total á la que hay entre el punto de aplicación de la resultante y el de la fuerza no comparada.

Por último, $BC = \frac{P}{R} AB$; y como las cantidades del segundo miembro

son dadas, la distancia BC será conocida, y con ella el punto C de aplicación de la resultante. Para fijarlo bastará tomar desde el punto B hácia la izquierda, el valor lineal de la anterior ecuación.

Resuelta la cuestión para dos fuerzas, lo está en realidad para mayor número de ellas; mas con el fin de presentar un ejemplo, nos proponemos hallar la resultante del sistema P, P', P'', P''', (fig. 17).

La dirección de la resultante es la de las fuerzas; su intensidad la suma de las componentes, ó $R = P + P' + P'' + P'''$; veamos donde ha de estar el punto de aplicación. Para conseguirlo, supondremos los puntos de aplicación A, B, C, D, unidos entre sí de tal suerte, que las fuerzas formen un sistema. Hecho esto, la resultante de las P y P' será R', y su punto de aplicación se hallará por la expresión

$BX' = \frac{P \cdot AB}{R'}$. Componiendo la resultante R' con la fuerza P'', ha-

llaremos el punto de aplicacion de su resultante R'' por la ecuacion

$CX'' = \frac{R' \cdot CX'}{R''}$. Por último, la fuerza P''' y la resultante anterior componen la resultante final R , cuyo punto de aplicacion se hallará, como

los anteriores, por la expresion $DX = \frac{R'' \cdot DX''}{R}$

Aunque en este sistema, ó en otro cualquiera de fuerzas paralelas, varíe la direccion de las componentes, conservando sin embargo su intensidad y paralelismo, no por eso cambia el punto de aplicacion de la resultante; porque para determinar lo no hacemos uso de la posicion de las componentes. La propiedad de conservarse este punto fijo é invariable, ha hecho que se le dé el nombre de *centro de fuerzas paralelas*.

48. Cuando dos fuerzas desiguales P y Q , (fig. 18), están aplicadas á los extremos de una recta y obran en sentido contrario, tienen una resultante en el sentido de la mayor, igual á su diferencia, y cuyo punto de aplicacion se halla fuera de la distancia que separa las componentes. Si en lugar de la fuerza Q tuviéramos la Q' , que solo se diferencia en el signo, la resultante sería $R = P + Q'$; mas siendo $Q' = -Q$, hecha la sustitucion, resulta $R = P - Q$, que es la primera parte de la proposicion. ¿En qué sentido obrará la resultante y cual será su punto de aplicacion? Si $P > Q$ la resultante es positiva y sigue la direccion CR ; pero si $P < Q$ es negativa, y sigue la direccion opuesta CR' ; de manera que siempre obra en el sentido de la mayor.

El punto de aplicacion lo determinaremos como en los casos anteriores por la ecuacion $BC = \frac{P \cdot AB}{R}$, ó $BC = \frac{P \cdot AB}{P - Q}$; por ser $R = P - Q$.

Si $P > Q$ se encuentra para BC una cantidad mayor que AB , debiendo estar la resultante aplicada á un punto tal como C' , mas cerca de la fuerza mayor; si por el contrario $P < Q$ el valor de BC , aparece negativo, manifestándonos la variacion de signo el cambio de posicion; esto es, que en lugar de tomar la distancia BC hácia la izquierda, debemos tomarla hácia la derecha, y en su consecuen-

cia el punto de aplicacion se hallará en C'' , mas próximo tambien de la fuerza mayor Q .

Hallándose siempre el punto de aplicacion de la resultante fuera de la distancia que separa las componentes cuando las fuerzas obran en sentido contrario, para conseguir físicamente el equilibrio, es preciso que una de las fuerzas sea muy pequeña respecto de la otra, ó que el cuerpo tenga una longitud muy grande, á fin de que pueda contener el punto de aplicacion de la resultante. En todos los demás casos el equilibrio es imposible.

49. Con todo cuidado dejamos para último el caso de $P=Q$; pues haciendo la sustitucion se halla $R=0$. Este resultado del cálculo está al parecer en abierta contradiccion con los principios mas evidentes de mecánica, por presentarse una resultante igual á cero sin que las fuerzas componentes sean, además de iguales, directamente opuestas como para ello se necesita.

Con el objeto de resolver estas dudas, conviene saber que la

ecuacion $BC = \frac{P \cdot AB}{R}$ se transforma en la $BC = \frac{P \cdot AB}{0} = \infty$; de don-

de deducimos que el punto de aplicacion de la resultante está en el infinito; cuya conclusion demuestra de una manera evidente que *dos fuerzas paralelas iguales y contrarias, aplicadas á los extremos de una recta no se equilibran jamás*; y como por otra parte tampoco son reemplazables por una fuerza única, es preciso admitir que engendran un nuevo género de movimiento diferente del de traslacion, y que cabalmente es el llamado de *rotacion*. El sistema que acabamos de estudiar recibe el nombre de *par de fuerzas*, y su conocimiento es hoy dia tan útil, que Poisson ha logrado demostrar con sus propiedades, principios de mucha importancia para la mecánica racional.

50. El problema de la descomposicion de una fuerza, mirada como resultante de un sistema que ha desaparecido, es tan indeterminado en las fuerzas paralelas como en las concurrentes, á no ser que, á mas de la magnitud, conozcamos sus distancias á los puntos de aplicacion. Afortunadamente hay casos de los cuales se puede sacar partido de esta indeterminacion; porque dada la fuerza R , (fig. 19),

ya provenga del peso de un cuerpo, ó de un movimiento que se le quiera comunicar, es admisible suponerla descompuesta en tantas fuerzas paralelas, iguales y elementales, m, m', m'', m''' , como moléculas tenga el cuerpo, aplicadas en puntos simétricamente colocados respecto del centro de gravedad G . De esta suerte haremos ver que el peso de un cuerpo y su movimiento final están íntimamente ligados á la masa.

LECCION X.

Esplicar que la gravedad forma en los cuerpos un verdadero sistema de fuerzas paralelas cuya resultante es el peso —Fórmula del peso de un cuerpo; consecuencias que de ella se deducen.—Centro de gravedad y modo de encontrarlo.—Equilibrio.—Aparato correspondiente.

51. Peso de los cuerpos. La gravedad produce en todos los cuerpos un verdadero sistema de fuerzas paralelas cuya resultante, llamada *peso*, es igual á su suma. Con efecto, esta fuerza obra sobre cada una de las moléculas en particular, con la misma intensidad y direccion que sobre los cuerpos; y si bien no están en contacto inmediato todas ellas, dejando lugar á la porosidad; les dá la fuerza de cohesion á los sólidos, y la cubierta donde están contenidos á los flúidos, el enlace suficiente para formar un todo compacto. Por consiguiente, *el peso de un cuerpo es la suma de todas las fuerzas con que la gravedad tira de sus moléculas*. Se forma idea del peso de los cuerpos por el esfuerzo que es necesario hacer para sostenerlos. Los cuerpos dan el mismo peso en masa ó en polvo, que reducidos á líquido ó á vapor. *La suma de todas las moléculas de un cuerpo se llama masa; y densidad la masa bajo la unidad de volumen*. Segun lo dicho, si M representa la masa de un cuerpo, y g la intensidad de la gravedad, el peso lo daría la emanacion $P=Mg$.

Conviene saber distinguir la *gravedad* del *peso*; la primera es la *causa*: el segundo *el efecto*. Si fuera dable deshacer los cuerpos en sus moléculas, el valor de la gravedad, multiplicado por el número de ellas, darían los pesos de una manera absoluta; como no lo es, solo se calculan por meras relaciones.

Con el fin de descubrirlas tomaremos las ecuaciones $P=Mg$, y $P'=M'g'$, que representan el peso de dos cuerpos, las cuales puestas en la proporcion $P:P'::Mg:M'g'$ manifiestan que los pesos son proporcionales á las masas y á las intensidades de la gravedad. Supuesto el caso para un mismo punto de la tierra $g=g'$; y $P:P'::M:M'$; es decir, los pesos son proporcionales á las masas. Reemplazando la masa por el volúmen multiplicado por la densidad; puesto que $M=VD$, se tendrá, $P:P'::VD:V'D'$; los pesos son proporcionados á los volúmenes y á las densidades; si los volúmenes son iguales, los pesos guardan la relacion de las densidades; pues para $V=V'$; $P:P'::D:D'$; y si las densidades son iguales, los pesos son entre sí como los volúmenes; porque de ser $D=D'$, queda $P:P'::V:V'$; por último, tomando el mismo peso de los dos cuerpos, los volúmenes están en razon inversa de las densidades; porque si $P=P'$; $VD=V'D'$ y $V:V'::D':D$. Cuando en lenguaje ordinario decimos, por ejemplo, que el plomo es mas pesado que el corcho, nos referimos, aunque sin espresarlo, á un mismo trozo, ó á un mismo volúmen de ambos.

52. **Centro de gravedad.** Una vez que los cuerpos tienden á caer en virtud de su peso, para impedirlo es indispensable oponerles una fuerza igual y directamente opuesta. Con este objeto diremos que se llama centro de gravedad de un cuerpo, el punto donde se supone aplicado el peso, ó por donde pasa la resultante de todas las acciones elementales de la gravedad, que es lo mismo. Y recordando (49) que el centro de un sistema de fuerzas paralelas no cambia de lugar aunque varíe la posicion de las componentes, si conservan su paralelismo, podemos ya decir que el centro de gravedad debe permanecer fijo y enteramente independiente de las posiciones del cuerpo, con tal que en ellas conserve igual forma dentro y fuera de su masa.

Por consiguiente, suspendido un cuerpo por cualquiera de sus puntos, y abandonado á la gravedad, no permanecerá en equilibrio hasta tanto que su resultante pase por el punto de suspension, con cuya resistencia quede destruida; y si imaginamos prolongada una linea por dentro del cuerpo en la direccion del hilo que lo sostiene, necesariamente ha de pasar por el centro de gravedad. Suspendido el cuerpo de la misma manera, pero eligiendo una direccion in-

clinada y convergente con la anterior, tambien contendrá el centro de gravedad. Y por último, si el centro de gravedad se halla á la vez en dos direcciones concurrentes, indispensablemente ha de ser el punto de su interseccion.

Supongamos para fijar las ideas, que se nos presente el trozo de madera M, (fig. 20), con el objeto de encontrar su centro de gravedad. Principiaremos por suspenderlo de un punto tal como A, y establecido que sea el equilibrio, estaremos seguros que el centro de gravedad se halla en la prolongacion vertical de la línea AB; porque no de otra suerte es destruible con la resistencia del hilo aplicado en A. Marcada la direccion AB, se vuelve á suspender por otro punto C, y tambien la direccion CD de equilibrio contendrá, como antes, el centro de gravedad; cruzándose estas dos direcciones, el punto G de su interseccion es el centro de gravedad buscado. Si en lugar de suspender el cuerpo lo colocásemos sobre el corte de un cuchillo, ó de la arista de un prisma, llegaríamos al mismo resultado, sabiendo que las direcciones prolongadas de tres planos fijan la posicion de un punto.

En el caso de ser los cuerpos *homogéneos*, esto es, *que tengan las moléculas á igual distancia en toda su masa*, el centro de gravedad coincide con el de la figura, si lo tienen, ó está en la interseccion de los ejes y planos de simetria. Esto pasa con el círculo, la línea recta, los poligonos regulares, y la esfera; en los paralelógramos y prismas está en la interseccion de dos diagonales; en los triángulos á la tercera parte de la línea que desde un vértice vaya á la mitad del lado opuesto, á contar desde este mismo lado; en las pirámides y conos á la cuarta parte de la línea que une la cúspide con el centro de gravedad de la base, á partir de ella; y por fin este punto en el hombre está en el centro de la parte llamada bacinete, y tanto en él como en los demás animales varía con las actitudes que tomen.

Para conocer el centro de gravedad de las figuras y cuerpos irregulares, si son homogéneos, se sigue el procedimiento siguiente: se descomponen en líneas, en triángulos ó en pirámides, y suponiendo aplicados respectivamente á sus centros de gravedad pesos proporcionales á la estension de cada parte, la composicion de estas fuerzas paralelas dará el punto pedido.

55. Equilibrio estable, inestable é indiferente.

Para que un cuerpo esté en equilibrio basta destruir su peso *suspendiéndole*, ó *sosteniéndole* con seguridad; la condicion indispensable y suficiente es que la vertical *del centro de gravedad pase por el obstáculo que se le opone*; que puede ser un *punto*, una *línea* ó un *plano*. El obstáculo sobre que insiste un cuerpo se llama *base de sustentacion*. La mas ó menos estabilidad del cuerpo depende de varias cosas. Si el centro de gravedad dista lo menos posible de la base de sustentacion se dice que el cuerpo está en *equilibrio estable*; tal sucede con el elipsoide M (fig. 21) puesto sobre el eje menor; en este caso al dar á los cuerpos otra posicion cualquiera, el centro de gravedad *sube* necesariamente y describe una curva cuya convexidad se dirige hácia la base; pero lo que caracteriza este estado es que los cuerpos abandonados á sí mismos, despues de impremirles un ligero movimiento, oscilan alrededor de su primera posicion hasta que la recobran. El equilibrio es *inestable* cuando el centro de gravedad dista un máximum de la base; esto sucede con el elipsoide N (fig. 21) puesto sobre el eje mayor; al separar los cuerpos de este estado el centro de gravedad *baja* sin remedio y describe una curva cóncava hácia la base; separados los cuerpos, por poco que sea, de esta posicion, caen para no volver á recobrarla por sí solos; y de aquí el llamar á semejante equilibrio inestable ó inseguro. El equilibrio es *indiferente* cuando el centro de gravedad dista siempre lo mismo de la base de sustentacion; en este estado se encuentra una esfera homogénea.

Fundados en la tendencia que tienen los cuerpos á tomar el equilibrio estable, hay algunos aparatos que conviene conocer. En nuestros gabinetes suele presentarse el llamado *plano inclinado*, que consiste en un cilindro ó rueda de madera (fig. 22), la cual lleva oculto por una parte cierta porcion de plomo para atraer hácia allí el centro de gravedad; puesta la rueda en la parte mas baja del plano inclinado, de manera que el centro de gravedad G esté en todo lo alto y que la vertical tirada por él caiga hácia la parte superior, el cilindro, obedeciendo á la pesantez, sube por el plano inclinado al propio tiempo que desciende su centro de gravedad. La rueda es reemplazada algunas veces por un doble cono. La adición de un cuerpo pesado á otros ligeros, es un gran recurso para buscar equi-

librios inestables muy sorprendentes al parecer, pero que no lo son para los jugadores de manos, que saben donde están.

De todo lo espuesto se deduce que un cuerpo *estará tanto mas seguro de no caer cuanto mas bajo tenga su centro de gravedad y mayor sea la base de sustentacion*. Las galeras no vuelcan con la facilidad de las diligencias porque son mas anchas y llevan los pesos cerca del suelo, mientras que en estas, por llevarlos en la vaca, hacen subir el centro de gravedad. Cuando nosotros al andar, ó en lucha tememos caer, apartamos los piés para agrandar la base de sustentacion que es nuestra seguridad.

LECCION XI.

Qué son máquinas y en qué consiste que con su ayuda se consigue siempre el equilibrio de la resistencia.—Division de las máquinas y clasificacion de las simples.—Palanca y qué debemos entender por brazos en las curvas y angulares.—Condicion de equilibrio y principio de las velocidades virtuales.—Sistema de palancas y método general de hallar sus condiciones de equilibrio.

54. **Máquinas.** *Llámanse máquinas los cuerpos que sirven para transmitir y dar una direccion conveniente á las fuerzas, á fin de vencer un obstáculo ó conseguir el equilibrio de otra fuerza. En toda máquina hay dos clases de fuerzas; la destinada á conseguir el resultado apetecido, llamada potencia ó fuerza motora, y la que se procura vencer, que es la resistencia ó fuerza resistente.*

El estudio de las máquinas es de suma utilidad, porque en la mayor parte de las ocasiones no se aprovecha sin su uso la accion del motor, y además presta el recurso de equilibrar ó vencer con una fuerza cualquiera, otra fuerza por grande que sea; verdad que el ilustre Arquímedes formuló de un modo sublime diciendo: *dadme una palanca y un punto de apoyo y moveré el mundo* Esta misma escelencia de las máquinas ha dado sin duda márgen á caer en el error de que nos prestan la fuerza que necesitamos, sin advertir que mal pueden dar lo que no tienen. Por el contrario, para hacerlas funcionar es indispensable vencer la inercia de los cuerpos de que se componen, el rozamiento del apoyo sobre que insisten y la resistencia

de los medios donde se encuentran. Pero si esto es así, ¿en qué consisten las ventajas de su empleo?

Lo que tiene lugar en todas las máquinas es lo siguiente: la potencia se combina con la resistencia de tal suerte que su resultante pasa por el obstáculo que sirve de apoyo y se destruye con él; por otra parte, con la resistencia de este punto de apoyo se introduce una fuerza nueva que solo depende de la naturaleza de la máquina, y neutralizando igual fraccion de la resistencia hace que podamos conseguir con la misma potencia un efecto mucho mayor que aplicada directamente.

En este concepto puede decirse que si las máquinas no dan fuerza, favorecen al menos el influjo de la potencia; por lo demás, considerando como otra fuerza la resistencia del punto de apoyo, con el uso de las máquinas hay una pérdida de la potencia dependiente, segun hemos dicho, de las resistencias á sus movimientos.

55. Division de las máquinas. Las máquinas se dividen en *simples y compuestas*. Definiremos *las simples diciendo que son la representacion material de las leyes físicas*; entendiéndose por *compuestas las diferentes combinaciones que con las simples se pueden formar*.

Las máquinas simples suelen clasificarse en tres grupos, segun que el apoyo sobre que insisten es un punto, una línea ó un plano. Al primero corresponden la palanca y las poleas; el torno al segundo, y el plano inclinado, el tornillo y la cuña al tercero; formando las cuerdas, por decirlo así, una seccion completamente distinta, conocida bajo el nombre de poligonos funiculares. Algunos mecánicos no admiten como máquinas simples sino á la palanca, el torno y el plano inclinado, refiriendo á cada una de ellas las que corresponden á su grupo en la clasificacion anterior; mientras que otros las explican todas por la palanca.

Semejante divergencia en la clasificacion, que, dicho sea de paso, no modifica en nada cuanto vamos á esponer sobre el equilibrio de cada máquina en particular, proviene de que hay algunos aparatos comprendidos entre el número de las máquinas citadas que no sirven, sin embargo, para favorecer la potencia; en la *polea fija*, por ejemplo, con una potencia como uno solo podemos equilibrar una

resistencia como uno; y de aquí el que tambien se diga que son *máquinas todos aquellos medios que sirven para cambiar alguna de la circunstancias del movimiento, como son: su velocidad, su direccion ó su género de movimiento.*

56. **Palanca.** *La palanca es una barra inflexible, recta, curva ó angular, sujeta á girar alrededor de un punto fijo llamado de apoyo, (fig. 23, 24 y 25).*

Para mayor sencillez se supone la barra desprovista de espesor y de peso, y representada en todos los casos por líneas rectas ó curvas.

La potencia P y la resistencia R, se aplican á dos puntos diferentes, tendiendo á moverla en sentido contrario; entendiéndose por *brazos de palanca en las rectas, (fig. 23), las distancias AC y BC que hay desde sus puntos de aplicacion al punto de apoyo C.* En las palancas curvas (fig. 24), y en las angulares (fig. 25), no debemos mirar como brazos de palanca sino á las perpendiculares CE y CD tiradas del punto de apoyo á la direccion de las fuerzas.

Para conseguir el equilibrio en la palanca recta (fig. 25), en la cual las dos fuerzas son paralelas, es necesario que se verifique la ecuacion de los momentos (47), $P \times AC = Q \times BC$; que puesta en la proporcion $P:Q::BC:AC$; nos dice, *que la potencia y la resistencia están en razon inversa de los brazos de palanca.* Cuando esta condicion se cumple, la resultante de las dos fuerzas pasa por el punto de apoyo y se destruye con él.

Si suponemos el equilibrio perturbado por un instante, y que la palanca pase á la posicion A'CB' (fig. 23), los puntos A y B describirán los arcos AA' y BB', proporcionales á los radios ó brazos de palanca AC y BC; y si en la proporcion anterior ponemos la relacion de los arcos en vez de la de los radios, tendremos esta otra, $P:R:: \text{arco } BB': \text{arco } AA'$; por consiguiente, *las intensidades de la potencia y de la resistencia están en razon inversa de los caminos que recorren sus puntos de aplicacion.* Este principio, llamado de las *velocidades virtuales* y uno de los mas generales que se conocen en mecánica, pone en evidencia que *se pierde en tiempo lo que se gana en fuerza, y vice versa.*

La palanca suele dividirse en *tres géneros*, segun la posicion que

ocupe el punto de apoyo respecto de los de aplicación de la potencia y resistencia. *Es palanca de primer género la que tiene el punto de apoyo entre la potencia y la resistencia*; esta puede ser ventajosa á la potencia, á la resistencia ó igualar á las dos; *de segundo género, cuando la resistencia está entre la potencia y el punto de apoyo*; en la cual se halla aventajada la potencia, pues se multiplica por toda la palanca en tanto que la resistencia lo hace solo por una parte; y *de tercer género, cuando la potencia está entre la resistencia y el punto de apoyo*; la potencia está ahora perjudicada por idénticas razones á las que dimos para la resistencia en el caso anterior.

57. En muchas ocasiones es preferible emplear la combinación de dos ó mas palancas formando un *sistema*, que una sola; el ejemplo siguiente servirá para esplicar una de sus disposiciones. En la fig. 26, se vé de qué manera la potencia P, aplicada sobre la primera palanca, equilibra á la resistencia R aplicada sobre la última. Falta ahora hallar la relacion de sus intensidades; para conseguirlo, consideraremos la condicion de equilibrio en cada palanca por separado y tendremos:

$$\text{Para la 1.}^{\text{a}} \dots\dots\dots P : R' :: l : L$$

$$\text{Para la 2.}^{\text{a}} \dots\dots\dots R' : R'' :: l' : L'$$

$$\text{Para la 3.}^{\text{a}} \dots\dots\dots R'' : R :: l'' : L''$$

Multiplicadas ordenadamente estas proporciones, y suprimiendo los factores comunes, resulta: $P:R::l \times l' \times l'' \dots : L \times L' \times L'' \dots$; es decir, *que la potencia es á la resistencia como el producto de los pequeños brazos es al de los grandes brazos*. Si los brazos fuesen iguales respectivamente, tomando los pequeños por unidad, *la potencia sería á la resistencia como uno, á una potencia del brazo mayor espresada por el número de palancas*; así, $P:R::1:Ln$; si $L=4$, y $n=3$; $P:R::1:4^3::1:64$; que es el caso del modelo de nuestro gabinete y de la mayor parte de los institutos.

En la combinación del sistema de palancas, y en los que esplicaremos de otras máquinas simples, *siempre la resistencia de la primera es potencia de la segunda: la resistencia de la segunda potencia de la tercera*, y así sucesivamente. Depues de la multiplicacion ordenada, no resta de las primeras razones mas que la *potencia*, ó el

término primero de la primera proporción, y la *resistencia*, ó segundo término de la última; sirva esto de regla general.

LECCION XII.

Descripción de la balanza.—Condiciones que debe reunir para ser buena, y en dónde debe estar el centro de gravedad.—Aparato dicho del fiel de las balanzas para hacer la demostración experimental.—Método de las dobles pesadas.—Romana, y explicar en qué consiste el entrar con unidades.

58. **Balanza.** *La balanza es una palanca de primer género de brazos iguales, que dá la igualdad entre la potencia y la resistencia; ó mas claro, entre el peso del cuerpo y el de las pesas destinadas á conseguir el equilibrio.*

La balanza (fig 27), se compone de una barra inflexible AC, construida en forma de cuchillo para que con el mismo grueso pueda sostener mayores pesos; en sus extremos hay dos cortes de los cuales se suspenden los ganchos de los platillos, que son de la misma forma, para hacer menor el rozamiento, é impedir que el punto de suspensión varíe con las oscilaciones de la balanza. El empleo de varillas en lugar de cadenas de alambre, evita la introduccion de cuerpos estraños en sus intersticios siempre perjudiciales á la exactitud del aparato. Por el centro de dicha barra y perpendicularmente á su longitud pasa un prisma triangular de acero bien templado que descansa con una de sus aristas sobre dos coginetes dispuestos en el cuerpo de la balanza ó en dos chapas separadas, dichas *armas*. La arista sobre que gira la balanza, llamada eje, se apoya en un plano terso y duro, hecho de ágata ó acero bruñido para disminuir el rozamiento, y en la misma recta horizontal que une los puntos de suspensión de los platillos. Perpendicularmente á la barra y al eje hay una aguja *mn*, llamada *el fiel*, que recorre en las oscilaciones un arco de círculo dividido en partes iguales; el cero está en el medio y los mismos números á los lados. Cuando los pesos son iguales, la barra está horizontal y el fiel señala el cero; si se aparta á uno ó á otro lado, ó si las oscilaciones no llegan á las mismas divisiones, las pesas y el cuerpo no están en equilibrio. Las buenas ba-

lanzas tienen unas horquillas k donde descansan los brazos para dejar el eje en el aire cuando de ellas no se hace uso; de esta manera no se mella con el tiempo, y las oscilaciones del tanteo del equilibrio son menores.

59. Las condiciones necesarias á toda buena balanza son muchas y muy difíciles, ó casi imposibles de llenar; pero sobresalen mas principalmente las siguientes. La balanza debe tomar la posición *horizontal* cuando no se halle solicitada por peso alguno y tener los *brazos iguales*, ó los platillos suspendidos en puntos equidistantes del eje. Si estas condiciones no están satisfechas, un peso menor, colocado en el platillo del brazo caído, ó al extremo del brazo mas largo, haría equilibrio á otro peso mayor colocado en el platillo mas alto, ó al extremo del brazo menor.

Aparte de esto, el centro de gravedad del aparato puede tener respecto del eje de suspension tres posiciones, á saber: *mas alto, en el eje mismo, ó mas bajo que él*: vamos á demostrar que solo la última llena nuestros deseos.

Cuando se halla en un punto mas alto G , (fig. 28), al pasar la palanca de la posición AB , á la $A'B'$, el centro de gravedad se traslada al punto G' , describiendo el arco GG' , tanto mayor cuanto mas elevado esté. En esta posición, la vertical de dicho punto no pasa por el eje de suspension donde sería destruida, sino que obrando sobre el brazo mas inclinado por la acción del peso mayor, contribuye á que este brazo no pueda levantarse para recobrar la posición horizontal; si añadiéramos nuevos pesos al otro platillo, la menor oscilación haría inclinarse la balanza hácia el lado opuesto, sin que tampoco pudiera levantarse. El aparato estaría en equilibrio inestable, y de aquí el llamar *locas* á estas balanzas.

Supongamos ahora el centro de gravedad en el eje mismo. En este caso la balanza guarda el equilibrio en todas las posiciones que se le dan, porque siendo invariable el centro de las fuerzas paralelas, la resultante es destruida por aquel. El equilibrio sería indiferente, y la balanza *indiferente* tambien.

Por último, supongamos el centro de gravedad mas bajo que el eje de suspension. Al pasar la balanza de la posición AB á la $A'B'$, (fig. 29), el centro de gravedad se traslada del punto G al punto G' ;

la gravedad obra en direccion de la vertical del punto G' , y en lugar de pasar por el eje de suspension se aplica al brazo mas alto y de menos peso con una fuerza igual á $G \times O'C$; y tirando de él en este sentido, impulsa la balanza á volver á la posicion horizontal, oscilando mas ó menos tiempo segun la diferencia de los pesos, la longitud de sus brazos, y la desviacion que hayan experimentado.

Estando el centro de gravedad en el lugar que hemos dicho, la balanza se encuentra en equilibrio estable, y cumple con las condiciones apetecidas; pero si el centro de gravedad estuviese muy distante, las oscilaciones serian muy lentas, tardariamos mucho tiempo en conseguir el equilibrio, y las balanzas serian *perezosas*.

El aparato (fig. 30), dicho del *fiel de las balanzas*, sirve para demostrar la mayor parte de lo que llevamos espuesto; dando á la tuerca M diferentes posiciones, el centro de gravedad se desaloja y pasa por los puntos mencionados.

60. **Método de dobles pesadas.** Debemos á Borda el medio de hallar el verdadero peso de un cuerpo sin que la balanza tenga sus brazos enteramente iguales; para ello, puesto el cuerpo en un platillo se le hace equilibrio en el otro, con granalla de plomo ó pesos cualesquiera; en seguida se quita el cuerpo y se reemplaza por pesas conocidas, las que en el caso de equilibrio necesariamente han de ser iguales al peso del cuerpo.

Cuando lo que se ha de pesar es una cosa insignificante, se principia por equilibrarlo; despues se reunen estos dos pesos iguales en un solo platillo y se equilibran de nuevo, para juntarlos otra vez y así sucesivamente hasta tener un peso de algun valor, del cual es una fraccion conocida por el número de pesadas lo que se queria buscar.

61. **Romana.** Otro aparato destinado á pesar, y acaso de tanto uso como la balanza, es la romana. *La romana es una palanca de primer género de brazos desiguales* (fig. 31). La potencia es un cilindro de hierro ó *pilon* que puede correr á lo largo del brazo mayor, y la *resistencia* ó *cuerpo que se ha de pesar* se pone en un platillo pendiente del brazo *menor*, ó suspendido de unos ganchos que hay con este objeto. La romana tiene dos ejes de suspension en vez de uno que hay en la balanza; cuyo mecanismo permite favore-

cer mas ó menos á la potencia dándole un brazo mayor ó menor; y así se dice en el lenguaje comun, *pesar por el lado mayor ó pesar por el lado menor*. Aquí son constantes, la potencia y el brazo de palanca con que obra la resistencia, y variables, esta fuerza y el brazo de palanca de la potencia.

En el caso de equilibrio, la potencia y la resistencia están en razon inversa de los brazos de palanca; de modo que para conocer el peso de cada cuerpo sería indispensable hallar el cuarto término de una proporcion. Para evitar las dificultades y entorpecimientos que los cálculos traerian consigo, y hacer el aparato de uso mas general, se divide el brazo mayor en partes iguales que representan los cuartos términos de todos los valores comprendidos entre ciertos límites, y poniendo el pilon en una de estas divisiones, nos dice su número la relacion en que está la potencia con la resistencia; ó mas claro, nos dá el *peso* del cuerpo.

Hasta ahora hemos supuesto tácitamente que el centro de gravedad del aparato cae en el eje de suspension; pero si está mas hácia la derecha ó hácia la izquierda, entonces la relacion de las fuerzas, ó de los pesos, no es ya la de los brazos de palanca, á no añadir ó quitar al brazo de la potencia un número igual de divisiones á las que equivalga dicha separacion.

Por regla general es preferido el primer medio, y por eso se añade á la primera division del pilon un número n , que se espresa en la práctica diciendo, *la romana entra con tantas libras ó arrobas*.

La balanza y la romana son de un uso muy general, para lo cual reciben diferentes disposiciones que sería largo enumerar, pero fáciles de comprender con el mas ligero exámen.

LECCION XIII.

Qué son poleas y cómo se dividen.—Condicion de equilibrio en las poleas fijas.—Razones que hay para considerarlas como máquinas.—Condiciones de equilibrio en las poleas móviles.—Condiciones de equilibrio de los sistemas de poleas mas en uso.—Tróculas y polipastos.

62. **Poleas.** La polea está formada por un cilindro recto, de pequeña altura relativamente á su base, que lleva alrededor de la

superficie convexa una cavidad llamada garganta, carril ó cajera, capaz de alojar en ella una cadena ó cordon. Se pone en movimiento por el roce ó frote de la cuerda que la hace girar alrededor de su eje, el cual está sostenido por unas chapas verticales llamadas armas.

— Dos clases de poleas se distinguen, á saber: *poleas fijas* y *poleas móviles*.

65. **Poleas fijas.** Las poleas fijas (fig. 52), están sostenidas por sus armas, y se *mantienen siempre en el mismo plano horizontal*. La potencia se aplica á un extremo de la cadena ó cordon que pasa sobre la polea, y la resistencia al opuesto.

La potencia P y la resistencia R , no pueden estar en equilibrio á menos de ser iguales; pues de lo contrario, la fuerza mayor arrastraria á la menor y el cordon se deslizaria por su garganta. Añadamos aun, que ya sean las fuerzas concurrentes ó paralelas, su resultante solo quedará destruida pasando por el punto fijo, en cuya direccion vertical está el eje; y como las dos fuerzas pueden ser trasladadas á los puntos A y B de la circunferencia de la polea, sus distancias al punto de apoyo vienen representadas por los radios CB y CA , los cuales teniendo la misma longitud, nos dicen que *las fuerzas son iguales*. Con efecto, las poleas fijas no son otra cosa que palancas de primer género, rectas ó angulares, para cuyo equilibrio se necesita la ecuacion de los momentos $P \times AC = R \times BC$; y siendo $AC = BC$, claro está que $P = R$. Luego *las poleas fijas no favorecen á la potencia ni á la resistencia*.

Sin embargo, estos aparatos no solamente sirven para cambiar la direccion del movimiento, de donde les viene la denominacion de poleas de *retorno*, sino que facilitan el mejor empleo y aprovechamiento de las fuerzas. Con efecto, si quisiéramos levantar un cuerpo verticalmente, inclinándonos para cogerlo del suelo, tendríamos necesidad de vencer su resistencia y el peso del nuestro, en tanto que, haciendo uso de la polea tiramos de arriba abajo, lo cual, á parte de sernos mucho mas fácil por razon de nuestra constitucion orgánica, dejándonos caer, ayudamos al esfuerzo muscular. Otras veces hacemos á las bestias elevar grandes pesos en la direccion vertical, y aprovechamos la potencia de estos motores en operaciones que se

rian completamente inútiles sin el concurso de semejantes máquinas.

64. Poleas móviles. En las poleas móviles (fig. 33), el cordón que las sostiene pasa por debajo de las mismas: por un extremo se ata al punto fijo y por el otro recibe el esfuerzo de la potencia. La resistencia pende de las armas de la polea y sube verticalmente con ella. Estas poleas pueden reducirse á palancas angulares de primer género, si las direcciones de las fuerzas son convergentes (fig. 33), ó á rectas de segundo, si son paralelas (fig. 34). Admitiendo esta manera de considerarlas, deduciremos sus condiciones de equilibrio de la ecuacion de los momentos; $P \times AC = R \times BC$, que puesta en la proporcion, $P : R :: BC : AC$, manifiesta que si ha de haber equilibrio, *la potencia debe estar con la resistencia en la misma relacion que el rádio de la polea con la cuerda del arco que abraza el cordón ó cadena.*

De esta ley general dedúcense tres casos notables de equilibrio, y son: 1.º Cuando la cuerda del arco es mas pequeña que el rádio, ó $AC < BC$, la potencia resulta perjudicada. 2.º Cuando el ángulo es de 60° , la cuerda, como lado del exágono regular, es igual al rádio, ó $AC = BC$, la potencia ni está favorecida ni perjudicada. 3.º Cuando es la cuerda mayor que el rádio, ó $AC > BC$, la potencia está favorecida; y si los cordones son paralelos (fig. 34), ó la cuerda se confunde con el diámetro, $AC = 2BC$; *la potencia es á la resistencia como el rádio es al diámetro, ó como uno es á dos.*

65. Sistemas de poleas. La combinacion de las poleas fijas con las móviles, ó la de las móviles unas con otras, proporciona varias máquinas compuestas de uso tan general que nos vemos impulsados á entrar en el estudio de las mas importantes.

Supongamos un sistema de tres poleas móviles (fig. 35), interpuesto entre la potencia y la resistencia, y veamos cual será la disposicion de cada una de ellas.

A las armaduras de la polea inferior se aplica la resistencia ó el cuerpo que se ha de elevar, y á su garganta un cordón que se sujeta al punto fijo por un extremo y á las armaduras de la polea siguiente por el otro: á la garganta de esta polea aplicamos otro cordón atado á un punto fijo por uno de sus extremos, y por el otro á la armadura de la polea que le sigue, y así sucesivamente hasta lle-

gar á la polea superior donde se aplica la potencia.

Para hallar ahora la condicion de equilibrio debe tenerse presente, aquí como en las palancas (57), que la resistencia de la primera es potencia de la segunda, la resistencia de la segunda potencia de la tercera, etc. Fundados en esto y representando por T, T'... las tensiones de los cordones, estableceremos las siguientes proporciones:

$$\begin{aligned} \text{Para la 1.}^{\text{a}} & \dots\dots\dots P : T :: BC : AC \\ \text{Para la 2.}^{\text{a}} & \dots\dots\dots T : T' :: C'B' : A'C' \\ \text{Para la 3.}^{\text{a}} & \dots\dots\dots T' : R :: C''B'' : A''C'' \end{aligned}$$

Multiplicando ordenadamente y simplificando queda, $P:R::CB \times C'B' \times C''B'' \dots : AC \times A'C' \times A''C'' \dots$. Luego la potencia es á la resistencia como el producto de todos los rádios es al producto de todas las cuerdas. Si en este sistema suponemos las fuerzas paralelas, segun representa la (fig. 35), y tomamos los radios por unidad, la proporcion anterior se convierte en la siguiente: $P:R::1:2^n$; representando por n el número de poleas móviles.

Esto quiere decir, que en un sistema de poleas móviles y de cordones paralelos, la potencia es á la resistencia como la unidad á una potencia del número 2 espresada por el número de poleas. Si $n=3$, que es el caso en cuestion, $P:R::1:8$.

Es muy frecuente aanadir alguna polea fija con las móviles; pero como con ellas no se alteran las condiciones de equilibrio, nos creemos dispensados de entrar en mayores detalles sobre su disposicion.

Los sistemas que acabamos de explicar favorecen bastante la intensidad de la potencia, mas en cambio tienen el inconveniente de ocupar mucho terreno y hacer el movimiento de la resistencia tan lento como corresponde al principio de que se pierde en tiempo lo que se gana en fuerza.

66. **Troculas ó polipastos.** Las troculas ó polipastos son diferentes sistemas de poleas fijas y móviles. En el representado por la (fig. 36), todas las poleas tienen su eje, y hay dos armaduras, una para las fijas y otra para las móviles. En el de la (fig. 37), no hay mas que dos ejes, y como las poleas de cada especie están á la misma altura ocupan menos espacio.

El cordon se ata á las armas de las poleas fijas y sigue por la garganta de la primera móvil á la primera fija, á la segunda móvil, á la segunda fija, y así hasta el fin. La resistencia pende de varias vueltas del cordon igualmente tensas, y que sostienen la misma fraccion de su peso; y como la potencia solo sujeta una de ellas, resulta que la condicion de equilibrio en los polipastos consiste en que *la potencia es á la resistencia como la unidad al número de cordones en que se apoya ó descansa la resistencia.*

LECCION XIV.

Condiciones de equilibrio en el torno y principio de las velocidades virtuales.—Torno chino y condicion de su equilibrio.—Cabrestante, cabria y grúa.—Condicion de equilibrio en un sistema de tornos.—Engranages, sus divisiones principales y relacion que hay entre las vueltas que dan el piñon y la rueda.—Crik simple y compuesto.

67. Torno. *El torno es un cilindro que gira alrededor de su eje llevando unida á la superficie convexa una rueda de mayor diámetro (fig. 58). Esta rueda suele estar muchas veces suplida por palancas ó por manubrios, entendiéndose en estos casos por rueda, la circunferencia que describe la potencia. Aplicando la potencia P tangencialmente á la rueda en A, la ponemos en movimiento y á su vez el cilindro donde está el peso R, que sube por cada vuelta una magnitud igual á su circunferencia. Si se hace uso de palancas ó manubrios se llega al mismo resultado.*

Supongamos representado un torno por la proyeccion de una seccion perpendicular á su eje como se vé en la fig. 59. La potencia se aplica sobre la rueda y la resistencia sobre el cilindro; trasladando estas fuerzas á los puntos A y B de tangencia, trasformamos el torno en una palanca de segundo género, toda vez que la resistencia tendrá siempre su punto de aplicacion B entre el de la potencia A y el de apoyo C; por consiguiente, la potencia en esta máquina está constantemente favorecida.

Esto mismo se comprende aun mejor por la ecuacion de los momentos $P \times AC = R \times BC$, de donde sale $P : R :: BC : AC$; es decir, que en

el torno *la potencia es á la resistencia como el rádio del cilindro es al rádio de la rueda.*

La condicion de equilibrio no varía aun cuando la potencia, en lugar de ser paralela   la resistencia, tenga una direccion divergente segun $A'P'$, mediante   que siendo $CA' = CA$, el brazo de palanca se conserva el mismo.

Conviene tener mucho cuidado en evitar que la cuerda vaya arroll ndose de manera que unas vueltas se pongan sobre las otras, pues de lo contrario, los rádios del cilindro y de la rueda aumentar an en una cantidad igual á su espesor, y la condicion de equilibrio deber a modificarse en este sentido, *siendo la potencia   la resistencia como el rádio del cilindro, mas el espesor debido al cordon, es al rádio de la rueda, mas el grueso que aumentara el cordon*

Si en la proporcion anterior sustituimos los rádios por las circunferencias, se transformar a en la siguiente: $P : R :: \text{circunferencia del cilindro} : \text{circunferencia de la rueda}$; cuyo principio virtual nos dice que en esta máquina, como en todas, la ventaja de la potencia es   espensas del tiempo.

68. **Torno chino.** Segun lo espuesto en el torno, para ayudar mucho á la potencia es preciso dar gran diámetro   la rueda,   hacer muy pequeño el del cilindro, condiciones no siempre fáciles de llenar; ya porque sería contrario   la solidez de la máquina, ya tambien porque la poca estension del paraje donde se establezca no lo permita. A fin de evitar estos inconvenientes suele emplearse el *torno chino*, llamado asi, por haberlo visto por primera vez pintado en unos papeles traídos de la China.

Se compone de un cilindro AB (fig. 40), de dos diámetros desiguales: el menos grueso lleva arrollado un cordon que sostiene la resistencia por un extremo y está atado por el opuesto al cilindro del diámetro mayor. Aplicada la potencia   la rueda se pone el torno en movimiento; la cuerda se desarrolla del cilindro menor y se envuelve sobre el mayor, por lo cual la resistencia solo se eleva en cada vuelta de una longitud igual   la diferencia entre las circunferencias de los dos cilindros.

En cuanto á la condicion de equilibrio, tengamos en cuenta que estando la resistencia sostenida por dos cordones igualmente tensos,

cada uno recibe la mitad de su peso, y la ecuacion de los momentos será $P \times r = \frac{R(r' - r'')}{2}$; representando por r, r', r'' , los rádios de la rueda, del cilindro mayor y menor. Poniendo esto en proporcion, resulta $P : R :: \frac{r' - r''}{2} : r$; esto es, para que haya equilibrio *la potencia ha de ser á la resistencia como la semidiferencia entre los rádios de los cilindros al rádio de la rueda.*

69. Cabrestante, cábria y grúa. Si en lugar de subir los pesos, hubiera que arrastrarlos en una direccion horizontal, el eje del torno se dispone verticalmente y recibe el nombre de *cabrestante* (fig. 41); y con el fin de que unas vueltas no se coloquen sobre las otras, se le dá una forma cónica truncada, cuya base menor corresponda á la parte superior; disposicion que permite ir deslizando la cuerda al mismo tiempo que las vueltas del cilindro la arrojan sobre su superficie convexa. La aplicacion de la potencia es por medio de grandes palancas, y la condicion de equilibrio, la ya esplicada para el torno.

La cábria es otra disposicion del torno (fig. 42), y sirve para levantar los cuerpos del suelo, llevando la máquina de un punto á otro. Se compone de un tripode con dos piés fijos y el tercero que se separa mas ó menos segun la base que requiera su seguridad. En el vértice C, hay una polea fija para cambiar el movimiento; el peso pende del estremo de una cuerda, que se ata por el otro al torno MN donde se aplica la potencia. *La grúa* se refiere tambien al torno. Su principal destino es levantar los cuerpos y llevarlos en alto á otro punto equidistante de su pié; para lo cual el árbol principal CD (fig. 43), gira alrededor del eje pudiendo describir una circunferencia entera, si bien con la mitad ó la cuarta parte, y aun con menos, es bastante. Es muy usada en los puertos de mar para cargar y descargar los buques, en las aduanas y en las maestranzas de artilleria. Con un gancho se sujeta un fardo en el buque, se levanta, se hace girar la grúa y lo deja bajar en tierra, ó vice versa.

70. Sistemas de tornos. Para disponer una máquina compuesta de tornos, tendremos muy en cuenta (fig. 44), que aplicando

la potencia á la rueda del primero conseguimos que su cilindro actúe sobre la rueda del segundo y la ponga en movimiento, ya sea directamente ó por medio de una cuerda sin fin: que el cilindro del segundo torno obre á su vez sobre la rueda del tercero, y así sucesivamente se trasmite el movimiento á todo el sistema.

En su consecuencia, aquí como en las palancas y poleas, la resistencia del primer torno es potencia del segundo, la resistencia del segundo potencia del tercero, etc.; y sin mas detalles podemos escribir las proporciones siguientes:

$$\text{Para el 1.}^\circ \dots\dots\dots P : R' :: CB : AC$$

$$\text{Para el 2.}^\circ \dots\dots\dots R' : R'' :: C'B' : A'C'$$

$$\text{Para el 3.}^\circ \dots\dots\dots R'' : R :: C''B'' : A''C''$$

multiplicando por órden, término á término, resulta: $P : R :: r \times r' \times r'' \dots : p \times p' \times p'' \dots$; representando por $r, r', r'' \dots$ los rádios de los cilindros, y por $p, p', p'' \dots$ los correspondientes de las ruedas. *Luego la potencia es á la resistencia como el producto de los rádios de los cilindros es al de los rádios de las ruedas.*

Si los rádios de los cilindros son iguales y $p = mr$, la relacion anterior toma la forma siguiente: $P : R :: 1 : m^n$.

71. Engranages. Si en vez de tener los cilindros y las ruedas su superficies convexas lisas, las dividimos en partes iguales haciendo unos intervalos salientes y otros entrantes, formamos los *engranages*. Los engranages necesitan que las partes salientes de la rueda, llamadas *dientes*, entren ajustando exactamente en los huecos de los cilindros, de tal suerte, que el diente de la rueda ponga en movimiento el torno por su rozamiento.

Los cilindros se llaman en este caso *piñones* y sus dientes *aletas*, á fin de no confundirlos con los de las ruedas.

En los engranages nada hay que añadir respecto á las condiciones de equilibrio, no siendo otra cosa que tornos; pero no estará demás indicar las diversas clases de engranages que en general se conocen. *Los engranages pueden ser rectos ó cilindricos, angulares ó cónicos. Llámanse engranages rectos cuando los dientes son paralelos entre sí tanto en la rueda como en el piñon, y angulares los convergentes. Tanto en el primer caso como en el segundo, serán esterior-*

res ó interiores segun que el piñon engrane por la parte exterior ó interior de la rueda.

En el movimiento producido por los engranages, la circunferencia del piñon vá colocándose sobre la de la rueda de la misma manera que si quisiéramos medir la de esta con la de aquel, de suerte, que si despues de haber dado el piñon un cierto número de vueltas se pusieran en presencia los puntos que por primera vez habian estado en contacto, podriamos decir que la circunferencia de la rueda equivalia á tantas del piñon como vueltas diera, ó á tantas y un esceso si dichos puntos no coincidieran.

De aqui se deduce que siendo el número de dientes proporcional á las circunferencias y estas á los rádios, las vueltas que dé el piñon con respecto á la rueda estarán en razon inversa de las unas y de los otros, y tendremos $n : n' :: c' : c :: r' : r :: d' : d$; representando por n', c', r', d' , el número de vueltas, los rádios y los dientes de la rueda; y por n, c, r, d , los correspondientes del piñon; proporciones que sirven de base á las combinaciones que se hacen en relojeria y en otras cuestiones de mecánica aplicada.

72. **Crik.** *El crik ó pié de gato se compone de un piñon, puesto en movimiento por medio de un manubrio, que engrana en una varilla vertical dentada llamada cremallera, y que está metida en una caja de madera (fig. 45).*

Dando vueltas al piñon eleva verticalmente la cremallera, y empuja el peso ó la resistencia, con cuyo objeto termina en forma de horquilla. Tiene además una pieza de metal llamada *trinquete*, para evitar el descenso de la varilla con el peso del cuerpo. La condicion de equilibrio es igual á la del torno; *la potencia es á la resistencia como el rádio del piñon es al de la circunferencia que describe la potencia.*

El crik descrito es el denominado *simple*, á diferencia del *compuesto*, en el que el *primer piñon engrana con una rueda y el cilindro de esta con la cremallera*. En este sistema de engranages, *la potencia es á la resistencia como el producto de los rádios de los piñones es al de las ruedas.*

LECCION XV.

Plano inclinado y denominaciones físicas.—En qué plano ha de estar la potencia y cual debe ser en el caso de equilibrio su intensidad, ya sea paralela á la longitud ó á la base del plano.—Qué es la cuña y de cuántas maneras obra: relacion entre la potencia y la resistencia.

72. **Plano inclinado.** *Ullámase plano inclinado el que forma con el horizonte un ángulo menor que 90° . Se representa por un triángulo rectángulo ABC (fig. 46): su hipotenusa AC se llama longitud, base el lado AB sobre que insiste, y allura la distancia CB de la parte mas alta á la mas baja.*

Usase principalmente esta máquina para hacer mas fácil la subida y la bajada de los cuerpos. Si suponemos el cuerpo M, colocado sobre el plano, la direccion de su peso estará marcada por la vertical GR; mas no siendo esta direccion perpendicular á la longitud AC, no se destruirá con su resistencia, y el cuerpo se pondrá en movimiento si no le aplicamos una fuerza que se lo impida: veamos qué condiciones ha de tener esta fuerza para conseguirlo.

Supongamos descompuesta la accion de la gravedad en dos partes: una GN, normal al plano, con cuya resistencia se destruye, y otra paralela GH, que es la causa del movimiento. Para equilibrar esta fuerza, en virtud de la cual el cuerpo descende, es indispensable aplicar otra igual y en sentido contrario, como la GP; pero la GH se halla en el mismo plano que la GR, y como esta es vertical, el plano que por ellas pase lo será tambien; así la *primera condicion* para la estabilidad es que la *potencia se halle en el plano vertical*.

De la descomposicion de las fuerzas se deduce la necesidad de dar al plano la debida resistencia, pues de lo contrario se rompería por la presion de la normal GN, segun sucede en la práctica mas de una vez, por desconocer acaso la teoría que acabamos de esponer.

La *segunda* circunstancia que necesita el cuerpo para mantenerse en equilibrio es que la resultante GN, de las fuerzas GR y GP, sea normal á la longitud del plano y que caiga dentro de la base de sus-

tentación. Satisfechas estas condiciones, tómense la parte GS para representar el peso del cuerpo, y la GP para la potencia, y constrúyase el paralelogramo GSNP. En este paralelogramo el triángulo GNP es semejante al ACB; porque además de ser rectángulos, tienen los ángulos GNP y CAB iguales por ser los lados PN y GN respectivamente perpendiculares á los AB y AC; comparando entre sí sus lados homólogos tenemos, GP:PN::BC:AC, ó P:R::h:l; representado por P la potencia, por R=GS=PN la resistencia, y por h y l la altura y longitud del plano inclinado; de manera, que la condicion de equilibrio se reduce á que la potencia guarde con la resistencia la misma relación que la altura con la longitud del plano.

— Cuando el plano toma la posición horizontal la potencia es nula, y el cuerpo se sostiene solo sobre él; pero si el plano es vertical, el cuerpo se halla libre, y la potencia tiene que ser igual á la resistencia.

Si la potencia actúa *paralelamente* á la base (fig. 47), la semejanza de los mismos triángulos nos dá la proporción GP:PN::CB:AB, ó P:R::h:b, en cuyo caso la potencia es á la resistencia como la altura es á la base.

Quando el triángulo es isósceles, la potencia y la resistencia son iguales; pero siendo escaleno, pueden estar favorecidas, alternativamente, la potencia ó la resistencia, segun que la altura sea menor ó mayor que la base.

Tanto en un caso como en otro, es infalible el principio de las velocidades virtuales, porque mientras el cuerpo sube ó baja de una cantidad igual á la altura del plano, la potencia recorre toda su longitud ó toda su base.

75. **Cuña.** La *cuña* es, en general, un prisma triangular que se introduce por una de sus aristas en las hendiduras de los cuerpos con el objeto de abrirlos (fig. 48). La arista AB, que penetra en los cuerpos, se llama el corte de la cuña, la parte opuesta ED cabe á, y lados las caras laterales ABFE y ABDC. A pesar de la sencillez aparente de esta máquina, puede decirse que acaso no hay otra entre las simples que mas dificultades presente al conocer las leyes de su equilibrio. Con efecto, nadie desconoce las diferentes circunstancias físicas en que se encuentra la cuña cuando obra en la

direccion longitudinal de las fibras, ó cuando lo hace perpendicularmente á ellas. En el primer caso, el cuerpo se hiende antes de tocarle el corte de la cuña, y el resultado depende entonces de la cabeza, en tanto que en el segundo siempre es debido al filo ó corte. A esto se añade que, así en un caso como en otro, entra por mucho la fuerza de cohesión, diferente en todos los cuerpos, y variable en un mismo cuerpo con el estado en que se encuentre su agregacion molecular.

La cuña recibe el esfuerzo de la potencia normalmente á la cabeza; pues si tuviera una direccion inclinada tal como PF (fig. 49), se descompondria en dos fuerzas: una normal PF , y otra FK , la cual siendo tangente á la superficie de la cuña, no produciria efecto ninguno sobre el cuerpo.

Ahora, representando la potencia por mn , podemos suponerla descompuesta en las dos fuerzas mr y ms normales á las caras de la cuña, que son precisamente los esfuerzos que abren los cuerpos; y comparadas estas fuerzas con los lados opuestos por medio de la correspondiente relacion de los senos de los ángulos, hallamos *que la potencia es á la resistencia como la estension de la cabeza de la cuña es á la de las caras.*

De este principio se deduce inmediatamente, que la cuña penetrará tanto mejor cuanto mas pequeña sea su cabeza y mas largas las caras laterales; todo lo cual está en perfecta armonia con lo que observamos en los instrumentos cortantes y punzantes de que nos valemos á cada paso, confirmando en ellos la esperiencia que se introducen en los cuerpos con mas facilidad á medida que son mas delgados y que su filo y punta son mas finos.

LECCION XVI.

Qué es el tornillo y cómo se engendra: tuerca; deducir la condicion de equilibrio de la del plano inclinado.—Aplicacion de la rosca á la medida y division de pequenas longitudes.—Tornillo sin fin: condicion de su equilibrio.—Cuerdas, su tension; condicion de equilibrio de tres cuerdas fijas por un nudo; consecuencias; poligono funicular; caso en que las fuerzas son verticales, cadeneria.

74. **Tornillo.** El tornillo es un cilindro que tiene arrolla-

do sobre su superficie convexa un prisma triangular ó cuadrangular, dispuesto de tal suerte, que en todas las posiciones forma el mismo ángulo con el eje del cilindro, y deja igual distancia entre dos vueltas consecutivas, medida en la direccion de una generatriz, (fig. 50).

La forma que toma el filete saliente se llama *espiral*; *espira* cada una de las vueltas, y *paso de la espira*, la distancia que hay entre dos filetes contiguos, medida en la direccion de las generatrices.

La tuerca consiste en una pieza de cualquier forma con un agujero cilindrico donde hay entrante una hélice análoga á la saliente del tornillo, y que puede mirarse como el molde de este, pues ajustan perfectamente. Y como las circunstancias del problema son las mismas, ya supongamos el tornillo móvil y la tuerca fija, ó ya sea esta la móvil y aquel el fijo, damos la preferencia al segundo caso.

Una vez hechos cargo de lo dicho en la generacion del tornillo, supondremos ahora lo contrario, esto es, que el cilindro y la rosca se desarrollan, y que la circunferencia de la base rectificada la representa la linea BK.

Si dividimos un lado, ó la generatriz, en partes iguales al paso de la espira, y por ellas tiramos las lineas *mn*, *rs*, *ho*, etc. paralelas á la base, y luego las diagonales *Bm*, *ns*, *ro*, etc., al arrollar otra vez el cilindro, tomarán la forma de la hélice de que nosotros hemos hablado; cayendo el punto K sobre el punto B, el *m* sobre el *n*, etc.

Puesta una molécula sobre el tornillo debería descender por su propio peso recorriendo todas sus espiras, á no ser que alguna fuerza se opusiera á ello. Esta fuerza obraria, sin género de duda, en la direccion perpendicular al eje; de no ser así, en toda otra posicion sería descompuesta en dos, de las cuales una se añadiría ó se opondría á la accion de la pensatez, y la otra actuaría segun acabamos de manifestar. Las circunstancias mecánicas en las cuales se encuentra la molécula *x*, en el tornillo, son pues las mismas que sobre el plano inclinado *BmK*, cuya base *BK* fuese la circunferencia del cilindro, y la altura *Km* el paso de la espira. Habiendo dicho que el filete tiene en todas partes la misma inclinacion, y obrando la potencia paralelamente á la base del plano inclinado, podemos escribir la siguiente proporcion. $P':R::h:b$; ó bien $P':R::p:2nr$; ha-

mando p al paso de la espira, y $2\pi r$ á la circunferencia del cilindro.

Si en lugar de obrar la potencia P' , tangencialmente á la superficie del cilindro con el brazo de palanca $P'x$, igual á su radio r , lo hace como es costumbre, por medio del brazo de palanca $Px = r'$; hallándose entonces las dos fuerzas P y P' en razon inversa de sus distancias al punto de apoyo, nos dan la proporción $P:P'::r:r'$. Multiplicando término á término, esta proporción por la anterior, y haciendo las simplificaciones correspondientes, encontramos que $P:R::p:2\pi r$.

De modo que en la rosca, ó tornillo, la potencia es á la resistencia como el paso de la espira es á la circunferencia que describe la potencia.

La relacion que acabamos de deducir es una de las mas ventajosas para la potencia entre todas las máquinas simples; y se comprende que debe ser así por la mera comparacion de la longitud del paso de la espira con la circunferencia descrita por la potencia; pero en cambio, la resistencia no camina para cada vuelta que dá la potencia sino una cantidad igual al paso de la rosca.

75. Conocido el paso de una rosca fina y el número de vueltas dadas por la potencia, nada mas fácil que saber el espacio recorrido por la resistencia, que es precisamente el principio puesto en práctica para medir espesores sumamente delicados. Mas aun, si dividimos el número de vueltas v , á que equivale una longitud dada, por el número n de partes iguales en que querramos descomponerla, tendremos el número de divisiones angulares que ha de andar la potencia para cada una de ellas, y en su consecuencia el medio de dividir una línea en tantas partes iguales como necesario sea; operacion muy frecuente y muy necesaria en las ciencias físico-matemáticas y naturales, y en astronomía y geodesia.

76. **Tornillo sin fin.** El tornillo sin fin es una máquina compuesta de un tornillo ó rosca, que engrana con los dientes de la rueda de un torno, á cuyo cilindro se aplica la resistencia (fig. 54).

La condicion de equilibrio de esta máquina compuesta, es igual al producto de las relaciones de sus máquinas simples; es decir, de la del torno y de la rosca. Con efecto, obrando la potencia sobre el

manubrio pone en movimiento el tornillo y este á su vez obra sobre la rueda; y mirando como resistencia la dificultad que esta opone al movimiento, si la llamamos R' , tendremos $P:R':p:2\pi r$; pero la resistencia de la rueda vencida, viene ya á ser la potencia que dá el movimiento al torno; luego $R':R::r':r''$; llamando r' y r'' los rádios del cilindro y de la rueda; multiplicando ordenadamente las dos proporciones, resulta que $P:R::p \times r':2\pi r \times r''$; la potencia es á la resistencia, como el paso de la espira multiplicado por el rádio del cilindro, es al producto del rádio de la rueda por la circunferencia que describe la potencia.

77. **Cuerdas.** Suponiendo las cuerdas desprovistas de todos los accidentes físicos y reducidas á sus ejes geométricos, para que una cuerda solicitada por dos fuerzas aplicadas á sus extremos esté en equilibrio, es indispensable que estas fuerzas sean iguales; si las fuerzas son desiguales, la tensión se mide por la menor, y la cuerda se desliza, en virtud del exceso ó diferencia, en el sentido de la mayor.

En este mismo supuesto, tres fuerzas unidas por un nudo fijo A, (fig. 52), para producir el equilibrio necesitan: 1.º, estar en el mismo plano, y 2.º, ser cada una de ellas igual y directamente opuesta á la resultante de las otras dos; si aquella biseca el ángulo que forman estas, las tres fuerzas son iguales. Por consiguiente, para que dos cuerdas directamente opuestas esperimenten la misma tensión la tercera fuerza tiene que reducirse á cero, pues de no ser así, destruye el supuesto equilibrio; una cuerda inextensible no puede estar perfectamente horizontal, porque la resultante de la acción de la gravedad la rompería sin remedio.

78. Cuando diferentes cuerdas AB, AC, AD, DE, DF (fig. 53), están ligadas por dos ó mas nudos, forman lo que se llama un polígono funicular. Para que el polígono esté en equilibrio, cada uno de los nudos debe estarlo por separado; en este caso las leyes establecidas para el equilibrio de tres cuerdas son aplicables á cualquier número de ellas, y la tensión de cada cuerda se mide por la fuerza que directamente la solicita.

Una cuerda flexible ABC (fig. 54), suspendida por dos puntos abandonada á sí misma, puede mirarse como un polígono de infinito

número de lados, solicitado por un sistema de fuerzas paralelas; la resultante de la gravedad, ó su peso, se aplicará al punto por donde pase la vertical de la interseccion de las dos tangentes geométricas á los puntos de suspension A y C. La curva que forma una cuerda así suspendida se llama *cadena*, cuyas propiedades sirven de base á la teoría de los puentes colgados ó colgantes.

LECCION XVII.

Qué se entiende por rozamiento y á qué es debido.—Aparato de Coulomb para hallar el coeficiente de rozamiento.—Plano inclinado para el mismo objeto.—Rozamiento de primera y segunda especie: medios de aumentarlo y disminuirlo.—Adherencias.—Rigidez de las cuerdas.

79. Rozamiento. Colocado un cuerpo sobre un plano horizontal, donde se destruye su peso, la menor fuerza impulsiva debia ponerlo en movimiento, si no fuera por las circunstancias físicas que se lo impiden. Entre ellas son las mas influyentes el *rozamiento* y la *adherencia*. Llámase *rozamiento* á la resistencia que presenta un cuerpo á moverse sobre otro; y *adherencia* al esfuerzo necesario para separarlo normalmente á su superficie. El rozamiento es debido, á no dudarlo, á la especie de engranage que debe tener lugar entre las partes salientes y entrantes de las dos superficies en contacto; pues siendo la porosidad una propiedad general de los cuerpos, por muy pulimentadas y tersas que tengan sus superficies, no por eso dejarán de estar erizadas de irregulares y pequenísimas asperezas. La adherencia proviene de la fuerza de cohesion.

El rozamiento es una fuerza pasiva que juega un papel muy importante en las condiciones de equilibrio de todas las máquinas: favorece algunos veces, y perjudica las mas, á la accion de la potencia; por lo cual debemos conocer su intensidad y los medios de aminorar sus efectos, ya que su índole nos priva de la esperanza de aniquilarla por completo.

Tribómetro. El aparato mas comun en nuestros gabinetes de Física para estudiar el rozamiento es el llamado *Tribómetro de Coulomb*. Se compone de una mesita horizontal (fig. 55), con una polea

de retorno en una de sus cabeceras, cuyo centro se eleva mas ó menos segun conviene, para hacer que la potencia obre paralelamente al plano de la mesa. Puestos sobre ella los cuerpos y atados con un hilo que pasando por el cuello de la polea sostenga un platillo, los menores pesos que los muevan medirán su rozamiento. Para comparar estos valores entre sí, se disponen los cuerpos en iguales condiciones; es decir, con el mismo peso, con la misma base, y en cuanto sea posible con el mismo pulimento; si todas estas cantidades se toman por unidad, los pesos encontrados representan los *coeficientes* de rozamiento.

El coeficiente de rozamiento es proporcional á la estension de las superficies en contacto y á la presion; y por eso en un prisma regular M , ya descansa sobre esta ó la otra cara, siempre es el mismo peso el que le pone en movimiento; en razon á que ganando en presion lo que pierde en superficie y al contrario, su producto es constante. Si pues N es la presion normal del cuerpo, y f el coeficiente de su rozamiento, el rozamiento total será $F=Nf$.

80. Otro método para conocer el coeficiente de rozamiento es poner los cuerpos bajo la unidad de masa y estension sobre un plano inclinado (fig. 56), y aumentar poco á poco su altura hasta llegar al ángulo minimum con que principia á moverse; entonces, *el coeficiente de rozamiento viene representado por la tangente trigonométrica de este ángulo*, y se tiene $f=tang. A$. A la inclinacion minimum suele dársele el nombre de *ángulo de rozamiento*, y la estabilidad de los cuerpos crece con su magnitud. En las superficies tersas y pulimentadas el ángulo es pequeño, y en las escabrosas grande, y de aqui el peligro que corremos al caminar sobre el hielo, al subir ó bajar por pendientes tapizadas de yerba fresca, y la seguridad que, por el contrario, encontramos en un pavimento de arena firme. Sin el rozamiento no podríamos dar un paso.

81. *El rozamiento es de primera y segunda especie. Llámase de primera especie cuando los cuerpos resbalan, y de segunda cuando ruedan*; el primer rozamiento es siempre mayor que el segundo. Para disminuir el rozamiento, se pulimentan las superficies y se cubren de cuerpos grasos, como son los aceites, el sebo, el jabon; ó de sustancias minerales untuosas al tacto, entre las cuales figuren en pri-

mer término la plumbajina, el talco y la esteátita; por último, se trasforma en de segunda especie el rozamiento de primera. Así es como para mover grandes piedras en las canteras, ponen debajo rodillos de madera que dan vueltas con bastante facilidad y transforman el rozamiento de primera especie en rozamiento de segunda; en tanto que en las galeras y diligencias se transforma muchas veces el de segunda en rozamiento de primera. Al llegar á sitios pendientes y peligrosos, para evitar que el carruaje tome demasiada velocidad y se precipite en algun barranco ó vuelque, atan á las ruedas por medio de cadenas y de un torno que hay cerca del asiento del mayoral, una barra ó madero que no las deja rodar sino con mucha dificultad; ó bien aplican sobre las llantas unos trozos de hierro llamados *galgas* ó *calzas*, que hacen á las ruedas resbalar y son una buena garantía de tranquilidad para el viajero.

82. **Adherencia.** La adherencia es una fuerza que acompaña al rozamiento: *es casi proporcional á la superficie de contacto: aumenta con el tiempo de su duracion y con la untuosidad de los cuerpos interpuestos.* De aqui la necesidad de una eleccion acertada en los modos de disminuir el rozamiento, á fin de no concurrir en el defecto de perder por un concepto tanto ó mas como se gane por el otro.

83. **Rigidez de las cuerdas.** Otra de las fuerzas contrarias al movimiento es la *rigidez*, ó *resistencia que las cuerdas oponen á doblarse ó ceñir la superficie de las máquinas á que se aplican.* Esta fuerza no es perjudicial mientras las cuerdas deban tomar la direccion de la línea recta; mas en el momento que hay necesidad de cambiarla, la falta de flexibilidad altera las relaciones de equilibrio entre la potencia y la resistencia. Disminúyese la rigidez de las cuerdas por todos los medios que aumenten su flexibilidad, como son: engrasarlas, torcerlas poco y emplearlas ya usadas. En máquinas de muchos cambios de movimiento se hacen con cueros bien preparados correas sin fin que transmiten, segun Poncelet, casi en totalidad la fuerza del motor.

DINÁMICA.

LECCION XVIII.

Dinámica.—Medios que se emplean para medir las fuerzas; kilográmetro, caballo de vapor.—Fórmula de la cantidad de movimiento y leyes que de ella se deducen; division de las fuerzas en instantáneas y continuas.—Ecuacion del movimiento uniforme; consecuencias á que conduce.

84. **Dinámica.** Segun hemos dicho ya, la dinámica tiene por objeto el estudio del movimiento. El movimiento puede considerarse con relacion á las propiedades de la línea que describa el punto de aplicacion de la resultante, ó el centro de gravedad de los cuerpos; á la masa de ellos; al espacio recorrido; al tiempo, y á la velocidad. Veamos ahora, como sin traspasar los límites de estos elementos podemos comprender cada uno de estos casos en particular.

Lo primero es saber como se mide la intensidad de las fuerzas; con este objeto diremos que si bien la unidad de medida no ha sido, ni es aun, la misma en todas partes, hoy dia está reducida al *trabajo que es capaz de hacer en un segundo, cierto peso elevado á una altura determinada*. Segun lo dicho, dos fuerzas son iguales si elevan en un segundo el mismo peso á igual altura; y una fuerza será doble, triple, etc., que otra, si el peso ó la altura son dos, tres, etc. veces mayores; en una palabra, *la intensidad de una fuerza crece, ó mengua, en la relacion compuesta del peso y de la altura á que lo eleva*. De esta suerte es fácil comparar dos fuerzas por heterogéneas que sean; la de un molino de viento, por ejemplo, con una bala de cañon. La razon de justipreciar las fuerzas de esta manera consiste

en que obrando la gravedad con la misma intensidad sobre todos los cuerpos, ninguna otra fuerza es mas á proposito para medir la magnitud y efectos de las demás: sin embargo, las fuerzas no serán rigurosamente iguales para puntos distantes del globo donde los pesos cambian con la intensidad de la gravedad; pero las diferencias son insignificantes para el asunto presente.

Dos unidades son las que, por regla general, sirven para medir las fuerzas: el *kilográmetro*, que equivale á elevar en un segundo un kilogramo á un metro de altura, y el *caballo* de vapor, que es igual á levantar en el mismo tiempo 75 kilogramos á un metro de altura. El caballo de vapor consta de 45 kilográmetros. Un caballo de sangre no representa, por término medio, arriba de 45 kilográmetros por segundo, ni puede trabajar mas de 8 horas diarias, y como el de vapor lo hace de 24, compone al fin de cada dia 5 de sangre. Tambien se miden las fuerzas en *atmósferas*, máxime si se trata de la elasticidad, ó de las presiones ejercidas por los flúidos comprimidos.

Toda fuerza aplicada sobre un cuerpo para impedir el movimiento de su caída, puede considerarse como directamente opuesta á su peso, ó descompuesta en tantas fuerzas iguales á la gravedad como moléculas tenga (fig. 49), para que una á una se neutralicen. Elevar un cuerpo á cierta altura de una sola vez, es lo mismo que elevar sus moléculas por separado, y otro tanto acontece en todos los demás casos de movimiento. Con efecto, para trasportar el cuerpo M (fig. 57) de A á B, hay que suponer descompuesta la fuerza impulsiva F en otras tantas paralelas é iguales al espacio AB, como sean sus moléculas; si pues este espacio AB, lo representamos por V y la masa por M, el valor de dicha fuerza será el de la ecuacion $F=MV$. El espacio andado por un cuerpo en la unidad de tiempo, en cualquiera direccion que sea, se llama *velocidad*. Por consiguiente, para formar idea cabal de una fuerza, hay que tener en cuenta la masa del cuerpo y la velocidad del movimiento. Se llama *cantidad de movimiento* á la masa multiplicada por la velocidad.

Si $M=1$, $F=V$; cuando las fuerzas obran sobre la unidad de masa son iguales á la velocidad; ó lo que es lo mismo, al espacio recorrido en la unidad de tiempo; consecuencia que está conforme con la representacion lineal de las fuerzas que obran sobre un punto

material, y con la hipótesis de que eran proporcionales á los efectos de movimiento que producian.

Por las razones espuestas, la medida de otra fuerza será $F' = MV'$, y comparando las dos ecuaciones sacamos la proporcion: $F : F' :: MV : MV'$. La cual nos dice: 1.º *Que las fuerzas son proporcionales á sus cantidades de movimiento.* 2.º Si $M = M'$, $F : F' :: V : V'$, ó cuando las masas son iguales, las fuerzas son proporcionales á las velocidades. 3.º Si $V = V'$, $F : F' :: M : M'$, ó cuando las velocidades son iguales, las fuerzas son proporcionales á las masas. 4.º Si las fuerzas son iguales, $F = F'$; ó si una misma fuerza obra sobre cuerpos diferentes, $MV = M'V'$, y $M : M' :: V' : V$, las velocidades están en razon inversa de las masas.

Las fuerzas no comunican todas el movimiento de la misma manera: el choque de un volante, el golpe de un martillo, la inflamacion de la mezcla detonante y las que *solo tardan en producir su efecto un tiempo indivisible se llaman instantáneas*; la accion de la gravedad, la elasticidad de los gases comprimidos y las que por el contrario obran sin cesar se llaman *continuas*. El género de movimiento debido á las primeras, es bien diferente del de las segundas.

85. Movimiento uniforme. Sometido un cuerpo al impulso de las fuerzas instantáneas y no pudiendo, en virtud de la inercia, acelerar, retardar, ni variar en lo mas mínimo su velocidad, claro está que caminará el mismo espacio en cada una de las unidades de tiempo que se sucedan, y el movimiento será uniforme. *Movimiento uniforme* es, pues, aquel en que el móvil anda en tiempos iguales, espacios iguales. Representando por V la velocidad, y el tiempo por T , el espacio se hallará por la ecuacion $E = VT$. El espacio en el movimiento uniforme está representado por el área de un rectángulo $ABCD$ (fig. 66), en el cual la altura AC sea la velocidad V , y la base AB el tiempo. Área ó $E = AC \times AB = VT$.

Si $T = 1$, $E = V$; la *velocidad en el tiempo uniforme es el espacio andado en la unidad de tiempo.*

En la anterior ecuacion, llamada del *movimiento uniforme*, siempre es posible determinar una de las tres cantidades que entran en ella, espacio, tiempo y velocidad, conocidas que sean las otras dos.

De comparar dos ecuaciones del movimiento uniforme se forma la siguiente proporción: $E : E' :: VT : V'T'$; de la cual deducimos:

1.º Que los espacios son proporcionales á las velocidades multiplicadas por los tiempos. 2.º Si $T=T'$, $E : E' :: V : V'$; para tiempos iguales, los espacios son proporcionales á las velocidades. 3.º Si $V=V'$, $E : E' :: T : T'$; para velocidades iguales, los espacios son proporcionales á los tiempos. 4.º Si $E=E'$, $VT=V'T'$ y $V : V' :: T' : T$; para espacios iguales, las velocidades están en razón inversa de los tiempos.

LECCION XIX.

Fuerzas continuas.—Definición de las continuas constantes y deducir la ecuación de la velocidad final en función del tiempo y de la fuerza aceleratriz: comparación de las fórmulas.—Espacio: triángulo de Galileo.—Relación entre los tiempos y los espacios parciales y totales.—Fórmula del espacio y consecuencias que de ella se desprenden; velocidad final.—Movimiento uniformemente retardado.

86. **Movimiento uniformemente variado.** Entre todas las fuerzas variatrices, nosotros solo vamos á estudiar las *continuas constantes*, ó aquellas que á cada momento dan ó quitan al móvil iguales velocidades, y producen el movimiento uniformemente variado.

Las fuerzas continuas no engendran, como las instantáneas, el movimiento uniforme; porque sucediéndose de una manera reiterada sus impulsiones, cambian, por precisión, á cada instante la velocidad del móvil, y dan origen al movimiento *variado* en general. Si la velocidad del cuerpo crece con el tiempo el movimiento se llama *acelerado*, y aceleratrices las fuerzas; y si por el contrario la velocidad mengua, ó va cada vez á menos, el movimiento es *retardado*, y *retardatrices* las fuerzas que lo comunican.

Para comprender mejor lo que vamos á esponer, supondremos que las fuerzas continuas obran por impulsiones sucesivas, y que se repiten al fin de cada uno de los pequenísimos instantes del tiempo trascurrido. Esto supuesto, siendo la fuerza aceleratriz constante, irá dando al cuerpo impulsiones igualmente enérgicas y acelerando

su velocidad de la misma cantidad para todas ellas; de suerte que, si en el primer instante le comunica una velocidad de 10 piés, en la segunda impulsión le dará otra velocidad igual, y el cuerpo tendrá *al final del segundo instante* una velocidad de 20 piés; si repitiera de nuevo su acción, le comunicaría otra velocidad de 10 piés durante el tercer instante, y con 20 que ya tenía compondría una velocidad de 30 piés. De este sencillo raciocinio se desprende que *la velocidad adquirida por el móvil es proporcional al tiempo, ó al número de impulsiones dadas por la fuerza en los instantes de que está compuesto; de modo que la velocidad final es igual al producto de la velocidad adquirida durante el primer instante multiplicada por el número de ellos.* Representando por g la intensidad de la fuerza aceleratriz, medida por la velocidad que imprime al móvil en la primera impulsión, y por t el número de instantes ó el tiempo, tendremos para la expresión de la velocidad la siguiente ecuación: $v=gt$.

Comparando esta ecuación con la de otro móvil, tal como $v'=g't'$, deduciremos todas las propiedades del movimiento uniformemente acelerado. Con efecto, $v : v' :: gt : g't'$; *las velocidades están en razón compuesta directa de las fuerzas aceleratrices y de los tiempos; para tiempos iguales, son proporcionales á las fuerzas aceleratrices, y si estas fuesen iguales, serán proporcionales á los tiempos; pues se tiene para $t=t'$, $v : v' :: g : g'$; para $g=g'$, $v : v' :: t : t'$; y por último, si las velocidades finales fuesen iguales ó $v=v'$, $g : g' :: t' : t$, los tiempos estarían en razón inversa de las fuerzas aceleratrices.*

87. El espacio andado por los cuerpos con movimiento uniformemente acelerado no puede hallarse como en el uniforme, multiplicando la velocidad por el tiempo; porque la velocidad crece en él á cada instante; y para encontrar una velocidad media, sería menester emplear cálculos superiores que nos dieran la integración ó la suma de un gran número de pequenísimos términos; mas á falta de este procedimiento haremos uso del triángulo de Galileo.

Supongamos que un móvil parte del punto A (fig. 58), y está en movimiento durante el tiempo $t=AB$, que dividiremos en cuatro partes iguales. La velocidad que al principiar á moverse es nula en A, crece proporcionalmente al tiempo, y al fin del primer instante es

igual á la fuerza aceleratriz g , representada por la línea ab . Si la fuerza aceleratriz dejára de obrar, el cuerpo caminaría con movimiento uniforme, y en el punto d , fin del segundo instante, tendría la velocidad $df=ab$; pero si la fuerza siguiese con sus impulsiones, daría al cuerpo durante este segundo instante ad , una velocidad fh igual á la ab que le habia comunicado en el primero: añadiendo esta velocidad á la ya adquirida componen la dh , con la cual caminaría despues del segundo; por idénticas razones se hallaría el cuerpo al final del tercer instante ó al llegar al punto k , con una velocidad $kn=dh$, correspondiente al movimiento uniforme, mas el aumento debido á la fuerza aceleratriz, que es $no=ab$; resultando para la velocidad efectiva el valor ko ; y por último, al acabarse el tiempo t , la velocidad del móvil sería $v=BC$.

Dividiendo los espacios $badh$, $hdko$, $okBC$ en triángulos iguales al primero Aab , el espacio andado por el móvil es:

Durante el 1.^{er} instante la parte $Aah=1$ triángulo

Durante el 2.^o la $badh=3$

Durante el 3.^o la $hdko=5$

Durante el 4.^o la $koBc=7$

Los espacios parciales recorridos por los cuerpos con movimiento uniformemente acelerado son entre sí como los números impares, 1, 3, 5, 7 etc.

Fundados en esta ley, para conocer los espacios finales recorridos por los cuerpos al cabo de un tiempo dado, no tendremos que hacer otra cosa sino sumar los espacios parciales. Con efecto, al concluir el segundo instante, el espacio andado por el cuerpo es igual á lo que anduvo en el primero Aab , mas lo andado durante el segundo $3Aab$; procediendo así en todos los demás tiempos formaremos la siguiente tabla:

Al final del 1.^{er} instante..... Aab 1 espacio.

Al final del 2.^o $Aab+3 Aab = 4 Aab$ 4

Al final del 3.^o $4 Aab+5 Aab = 9 Aab$ 9

Al final del 4.^o $9 Aab+7 Aab = 16 Aab$ 16

De cuyos números sale la ley que los *espacios totales*, 1, 4, 9, 16,

n^2 , son entre sí como los cuadrados de los tiempos, 1, 2, 3, 4, n , empleados en recorrerlos.

Por otra parte, el espacio andado está representado por el área del triángulo ABC, cuyo valor obtendremos por la ecuacion $E = \frac{AB \times BC}{2}$ y siendo $AB = t$, y $BC = v = gt$, la espresion anterior se transforma en la siguiente, $E = 1/2 gt^2$; fórmula que dá el espacio, conocidos que sean los valores de la fuerza aceleratriz y del tiempo.

Si $t=1$, resulta $E = 1/2 g$, ó mejor $g = 2E$; espresion que nos advierte que la fuerza aceleratriz está siempre representada por doble del espacio recorrido por el cuerpo durante la primera unidad de tiempo.

Continuando con el triángulo echamos de ver, que si al llegar el móvil al punto mas bajo B, suspendiéramos la accion de la fuerza aceleratriz, el cuerpo seguiria con su movimiento uniforme, y en virtud de la velocidad final adquirida, al llegar al punto B', que seria al cabo del tiempo t , dejaria andado el espacio $BCB'C'$.

Este rectángulo siendo de la misma base y altura que el triángulo BAC, su estension es doble; y por eso el espacio andado por un cuerpo con movimiento uniforme, en virtud de la velocidad final adquirida, es doble del que anda en igual tiempo con movimiento uniformemente acelerado.

Comparando la ecuacion $E = 1/2 gt^2$, con la correspondiente de otro móvil $E' = 1/2 g't'^2$ hallamos: 1.º Que los espacios están en razon compuesta directa de las fuerzas aceleratrices y de los cuadrados de los tiempos. 2.º Que para tiempos iguales, son proporcionales á las fuerzas. 3.º Que para fuerzas iguales, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos. Y 4.º Que siendo los espacios iguales, las fuerzas están en razon inversa de los cuadrados de los tiempos.

88. En todas las fórmulas deducidas hemos supuesto tácitamente que los cuerpos partian del reposo; si por el contrario estuvieran ya en movimiento, las velocidades y espacios finales serían iguales á la suma algebraica de aquellas cantidades con las nuevamente recibidas. Si suponemos el móvil con la velocidad u , la velocidad final será $V = u + gt$; y el espacio total $E = ut + 1/2 gt^2$

89. Movimiento uniformemente retardado. Todo lo espuesto respecto al movimiento uniformemente acelerado es aplicable al uniformemente retardado, con la única diferencia de que el cuerpo á cada instante, en lugar de ganar, pierde grados iguales de la velocidad que tiene, hasta pasar al estado de reposo. La velocidad y el espacio finales, se hallarán por medio de una sustraccion, así como en el caso anterior se conocian por medio de una suma. Siendo u la velocidad de un cuerpo lanzado de abajo arriba, al cabo del tiempo t será $V = u - gt$; y cuando $u = gt$, el cuerpo se detiene para volver en sentido contrario. El espacio lo dá la fórmula $E = ut - \frac{1}{2}gt^2$. Las fórmulas $V = u \pm gt$, y $E = ut \pm \frac{1}{2}gt^2$, sirven para los dos casos; con el primer signo para el movimiento uniformemente acelerado y con el segundo para el retardado.

LECCION XX.

Descenso de los graves.—Demostrar: 1.º Que la gravedad imprime á todos los cuerpos igual velocidad; experiencias de Galileo y de Prevost; pruebas de la resistencia del aire, aparato para la caída en el vacío; martillo de agua. 2.º Que es una fuerza aceleratriz constante; máquina de Atwod. Hallar la velocidad del móvil segun el valor de las masas y las divisiones en que se ha de colocar el platillo para la primera ley.—Idem la posición reciproca de los dos platillos para la segunda.—Movimiento uniformemente retardado.

90. Descenso de los graves. Al ocuparnos de la gravedad como propiedad general hemos hecho ver que es una fuerza elemental continua, y obra con igual energía sobre todas las moléculas de un mismo cuerpo; réstanos demostrar ahora: que todos los cuerpos son igualmente graves, ó que la gravedad obra sobre todos ellos con la misma intensidad, cualquiera que sea su naturaleza, y que es una fuerza constante.

Abandonados á sí mismos diferentes cuerpos, papel, trocitos de madera, piedras, metales, etc. no caen ó no llegan al suelo al mismo tiempo; de aqui el que antiguamente se creyese que los cuerpos no eran igualmente graves, ó que la gravedad no imprimia el mismo movimiento á todos ellos; y estaba tan arraigado este error, que fue-

ron necesarios muchos y concluyentes experimentos para hacer conocer la verdad.

Galileo, cuyo vasto ingenio se dió á conocer en los primeros años de su juventud, siendo estudiante en Pisa, dejó caer de la torre de la catedral varias esferas iguales de oro, de plomo, de cobre, de pórfiro y de cera, asegurándose, con el auxilio de un compañero, que todas llegaban al suelo á un mismo tiempo, menos la de cera que sufría un retardo de unas cinco pulgadas; considerando Galileo que el retraso debía ser proporcional á la diferencia de los pesos, si la gravedad fuese diferente para cada cuerpo, y viendo que esta circunstancia no se cumplía, ni en la cera siquiera con ser cerca de veinte veces menos pesada que el oro, dedujo que la gravedad era la misma para todos los cuerpos, y que si estos no caian con la misma velocidad, debía atribuirse á que el aire presentaba, relativamente á su masa, mas resistencia á unos que á otros.

La influencia del aire se nota inmediatamente soltando á la vez dos pedacitos de papel del mismo tamaño, los que llegan al suelo juntos; mas si uno se arrolla en una bolita lo hace mucho mas pronto que el otro. El oro ofrece un ejemplo bien patente de la resistencia del aire: en paves flota como la pluma mas ligera, y en masa cae con suma rapidez.

Convencido Prevost de que la resistencia del aire aumenta segun la estension superficial, imaginó el experimento siguiente. Tómese un disco de metal, una moneda por ejemplo, y otro de papel de menos diámetro que se coloca sobre él: dejándolos caer así llegan al suelo unidos; por consiguiente, la gravedad del papel es igual á la del metal.

En el dia se hace en los gabinetes de fisica un experimento que tiende á probar lo mismo; introducidos varios pedacitos de papel, de madera, de plomo, barbas de pluma, etc. en un cilindro de vidrio de unos nueve piés de longitud (fig. 59), caen todos al mismo tiempo, hecho que sea el vacio por medio de la máquina neumática, en tanto que caen primero unos que otros cuando entra el aire.

La resistencia del aire se deja sentir aun mas en los líquidos: el agua de las nubes está al caer dividida en gotas; vertido un vaso de ella á cierta altura, llega al suelo descompuesta en pequeñas par-

les, mientras que en el vacío cae reunida y compacta en igual forma que un sólido. En el *martillo de agua* (fig. 60), que es un tubo de vidrio algo ensanchado en uno de sus extremos, el agua produce al caer un ruido seco cual si fuera una piedra. Para construirlo se llena hasta la mitad de agua y se le hace hervir con el objeto de que el vapor eche al aire fuera, y después se cierra con la lámpara de es-maltar.

91. **Máquina de Atwod.** Para conocer si la gravedad es una fuerza *aceleratriz constante*, examinaremos si los móviles abandonados á su acción cumplen con las tres principales leyes del movimiento uniformemente acelerado, deducidas y demostradas en la lección precedente.

Con este objeto se hace uso de la máquina de Atwod (fig. 61), cuyas partes principales son: una polea de retorno A, cuyo eje descansa sobre otras cuatro que facilitan mucho su movimiento y hacen el razonamiento casi insensible; un péndulo D, que bate segundos y deja caer el cuerpo al dar una campanada; una regla vertical dividida en partes iguales; dos platillos E y F con su tornillo para fijarlos en la división que se quiera y por último, los pesos necesarios para el experimento.

El destino de esta máquina es hacer el descenso de los graves bastante lento para que permitan medir la velocidad en cada segundo. Si lo hacen libremente es imposible conseguirlo por la creciente rapidez con que lo verifican.

Suspendidos dos pesos p , ó masas iguales, por medio de una seda de la polea de retorno, claro está que se harán equilibrio; pero añadiendo á uno de ellos una masa m , esta masa arrastrará en su movimiento á los anteriores, cuya suma $2p$, representaremos por m' ; ¿qué velocidad tendrá el sistema? de esto es precisamente de lo que vamos á ocuparnos.

Si la masa m cayese libremente, la fuerza con que descendería sería mg , esto es, la masa multiplicada por la velocidad; mas si la misma fuerza obra sobre otra masa m' , la velocidad tendrá que ser diferente, g' por ejemplo: recordando ahora que cuando una fuerza se aplica á dos cuerpos las velocidades están en razón inversa de las masas (84), tendremos la siguiente proporción $g : g' :: m' : m$; y $g' =$

$\frac{m}{m'} \times g$. Por consiguiente, la velocidad g' , con la cual descenderán los cuerpos en la máquina, estará con la gravedad en la misma relación que las masas; y si m' fuese 40, 60, 100... veces m , el móvil andaría solamente en la máquina 1/40, 1/60, 1/100 de lo que recorriese en igual tiempo cayendo libremente.

El movimiento se puede volver, según lo dicho, tan lento como se quiera, calculando en cada máquina su rozamiento y las masas que se han de poner para hacerlas andar en el primer segundo un espacio dado. Nosotros no debemos entrar en tantos detalles, y así nos concretamos al caso en que el cuerpo recorra tres divisiones de la regla en el primer segundo, lo cual se consigue haciendo $m=1$ y $p=5\frac{1}{2}$ 1/2, de donde resulta $m'=m+2p=70$. Admitiendo que la gravedad hace andar á un cuerpo en el primer segundo en Madrid 210 pulgadas, y sustituyendo en la fórmula, sale $g'=1/70 \times 210=3$, que es lo que habíamos dicho.

Dispuestas de esta manera las cosas, veamos como se opera con la máquina. La masa mayor se la deja descansar sobre un montante que corresponde á la parte mas alta de la escala y coincide con el cero; al principiar el péndulo su movimiento, suelta el cuerpo por medio de un mecanismo á propósito, y al final del tiempo correspondiente deben coincidir la campanada y el choque del cuerpo contra el platillo. Ya dijimos que para el primer segundo el platillo debe estar en el número 3. ¿En qué division se pondrá para 2'', 3'', 4''... T''?

Si la fuerza de la gravedad es aceleratriz constante, los espacios recorridos por los cuerpos deberán ser proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos; es decir, á los números 1, 4, 9, 16, n^2 ; mas como el cuerpo anda durante el primer segundo tres, en vez de uno, es necesario multiplicar los cuadrados anteriores por esta cantidad, de manera que el platillo deberá hallarse en los números 3, 12, 27, 48 al fin de 1'', 2'', 3'', 4''. Haciendo los esperimentos de este modo, los resultados confirman la teoría y la ley resulta ser completamente exacta.

Para demostrar que las velocidades son proporcionales á los tiempos, úsase el platillo F, que está horadado en su centro por don-

de pasa el peso cilindrico, pero no la masa adicional k , que se pone en este caso, por ser su longitud mayor que el diámetro de aquel.

Detenido por dicho mecanismo el peso que determinaba el movimiento, se suspende la accion de la gravedad, y el móvil, en virtud de la *velocidad adquirida*, *deberá andar con movimiento uniforme doble espacio del que habia recorrido con el uniformemente acelerado*; por consiguiente, si durante el primer segundo anduvo tres divisiones, durante el segundo siguiente y despues de suspendida la accion de la gravedad andará seis, debiendo colocar por ello el segundo platillo en el número 9. Habiendo recorrido el móvil durante los dos primeros segundos doce divisiones, en los dos siguientes andará veinte y cuatro y el platillo se colocará en el número 36. Continuando de esta manera, pondriamos el segundo platillo en los números 9, 36, 81 y 144; en el supuesto de que el primero esté sucesivamente en las divisiones 3, 12, 27 y 48.

Los espacios 9, 36, 81 y 144... son entre sí como los números 1, 4, 9, 16; los cuales divididos por los tiempos respectivos dan por cociente la serie natural 1, 2, 3, 4; de donde sale *que las velocidades son proporcionales á los tiempos*. Con esto acabamos de demostrar que los cuerpos abandonados á la accion de la gravedad siguen las leyes del movimiento uniformemente acelerado, de todo lo cual concluimos lógicamente, que dicha fuerza es *aceleratriz constante*.

92. El movimiento uniformemente retardado se comprende bien en esta cuestion: si damos á un móvil una impulsión vertical de abajo arriba, la gravedad le hará perder á cada instante una parte de su velocidad, basta que por fin se la aniquile por completo; en este instante, el cuerpo principia á descender, y al verificarlo, vuelve á adquirir poco á poco la velocidad que habia perdido; al llegar á la tierra de donde *partió*, *tiene ya la misma velocidad que al principiar el movimiento*.

Por todo lo espuesto se vé que las fórmulas deducidas para el movimiento uniformemente acelerado y retardado (89), son exactamente aplicables al descenso de los graves, consideracion que nos evita el escribirlas de nuevo.



LECCION XXI.

Descenso de los graves por planos inclinados.—Fórmula para conocer la velocidad relativa; aplicaciones—Fórmula de la velocidad debida á una altura y consecuencias que de ella se deducen.—Aparato para conocer la línea del mas pronto descenso.

95. Descenso de los graves por planos inclinados. Ya hemos visto (72), que puesto un cuerpo sobre un plano inclinado (fig. 46), su peso GR se descompone en dos fuerzas, una GN perpendicular y otra GH paralela á la longitud del plano, en virtud de la cual se movería el cuerpo si no fuera por la acción de la potencia GP. Pues ahora bien, suponiendo que no hay mas fuerza que la gravedad, no siendo esta destruida con la resistencia del plano, el cuerpo rodará ó se deslizará por toda su longitud, y si este descenso no se verifica dando saltos por causa de sus asperezas, de cuya circunstancia no pensamos ocuparnos, el centro de gravedad describirá una línea paralela á la longitud del plano. El espacio que andaría el cuerpo cayendo libremente por la vertical está representado por $GS = g'$; sustituyendo en la proporción $P : R :: h : l$; por P y R sus equivalentes g' y g , tendremos $g' : g :: h : l$. *La velocidad con que descende el móvil por el plano inclinado es á la que adquiere por la vertical, ó la gravedad relativa es á la gravedad absoluta, como la altura del plano es á la longitud.*

Valiéndose Galileo de esta propiedad que ponía á su disposición el moderar la velocidad del descenso de los graves en una relación dada, dedujo, aunque de una manera menos precisa y general, las leyes de su caída mucho antes de la brillante invención de la máquina de Atwood.

Para comprender su método tomemos la expresión $g' = \frac{h}{l} \times g$, deducida de la anterior proporción, y construyendo el triángulo ABC (fig. 62), cuya altura h sea la centésima parte, por ejemplo, de su longitud l , el móvil que por él descienda tendrá una velocidad cien veces menor que la debida á la fuerza de la gravedad, y per-

mitirá medir la que corresponde á cada segundo. La esperiencia confirmó á Galileo que durante los tiempos 1, 2, 3, 4, andaban los cuerpos longitudes como los números 1, 3, 5, 7, que sumadas dan por los espacios finales los números 1, 4, 9, 16, que son los encontrados con la máquina de Atwood.

Si $h=l$, resulta $g'=g$; es decir, que supuesta la altura igual á la longitud del plano inclinado, lo cual geoméricamente es imposible, la velocidad relativa se trasforma en velocidad absoluta, verificándose entonces la caída por la vertical.

94. Las fórmulas de la caída de los cuerpos por planos inclinados solo se diferencian de las otras en el valor de la gravedad, y sustituida g por g' , tendremos $v=g't$, y $E=1/2g't^2$. Despejando el tiempo t de la segunda, y poniendo su valor en la primera, hallamos

$v=g'\sqrt{\frac{2E}{g'}}$ $=\sqrt{2g'E}$; y siendo $g'=\frac{h}{l}\times g$ y $l=E$ resulta

$v=\sqrt{2gh}$. Fórmula importantísima que dá la velocidad en funcion de la altura, ó la altura en funcion de la velocidad; es decir, que sabiendo la altura de donde cae un cuerpo conoceremos la velocidad con que llega al punto mas bajo; y por la inversa, sabida la velocidad se calculará la altura de donde ha descendido.

Tambien deducimos de la misma fórmula que todos los cuerpos sólidos ó líquidos, grandes ó pequeños, que caen de la misma altura h , adquieren igual velocidad, ya desciendan por planos inclinados (fig. 63), ó ya lo verifiquen por la vertical; verdad es, que siendo la gravedad relativa menor que la gravedad absoluta, tardan mas tiempo en el primer caso que en el segundo, á fin de compensar con el mayor número de impulsiones la menor velocidad impresa en cada una de ellas.

Por otra parte, como al llegar el móvil á los puntos B, C, D, tiene la velocidad suficiente para elevarse al punto A, de donde descende, si en dichos puntos ponemos otros planos inclinados, subirá por ellos hasta F; aqui, su velocidad será nula, mas al descender la adquiere de nuevo y llega en su virtud al punto A, para volver á caer y seguir en este movimiento continuamente, si no fuera por el rozamiento y la resistencia del aire.

95. **Ciclóide.** Nada de extraño tiene que se mire la línea recta como el camino de mas pronto descenso entre dos puntos dados, así como es la distancia mas corta que hay entre ellos; y sin embargo nada de esto sucede; la curva llamada *ciclóide* goza entre otras muchas de la notable propiedad de hacer que un móvil recorra mas pronto una parte de su arco que la cuerda que lo subtende. Si desde el punto A (fig. 64), dejamos caer á la vez dos bolitas de marfil, una por el canal recto AC, y otra por el ABC, formado de dicha curva, llega primero la que baja por esta línea que la que lo hace por aquella, á pesar de su mayor longitud. Se explica este resultado por la mucha inclinacion que tiene la curva cerca del punto de partida A, cuya mayor velocidad se añade de repente á los pequeños crecimientos que vienen despues. Otra propiedad no menos singular es que dos esferitas puestas á la vez una en A y otra en B, llegan al mismo tiempo al punto C; es decir, que tardan el mismo tiempo en andar dos arcos desiguales.

LECCION XXII.

Movimiento curvilíneo.—Discusion de la naturaleza y número de las fuerzas que lo engendran: fuerzas centrifuga y centripeta.—Fórmula general de la fuerza centrifuga y su aplicacion al movimiento uniforme.—Leyes que de aqui se deducen y comprobacion con el aparato de las fuerzas centrales.—Explicacion de algunos hechos comunes.

96. **Movimiento curvilíneo.** Cuando una fuerza ó un sistema de fuerzas de la misma naturaleza obran sobre un cuerpo, no le imprimen otro movimiento que el rectilíneo y uniforme con la intensidad y direccion de la resultante, si las fuerzas son instantáneas, ó variado en general, aunque rectilíneo tambien, si las fuerzas son continuas. Para probarlo supondremos el caso mas desfavorable, cual es, el estar el móvil A solicitado por dos velocidades á la vez (fig. 66); una de A á B, y otra de A á C; pues bien, si anda primero el espacio AB y despues el $BD=AC$, se encuentra al fin del movimiento en el punto D, extremo de la diagonal AD del paralelogramo construido sobre las velocidades iniciales.

En su consecuencia el movimiento curvilíneo procede, cuando me-

nos, de dos fuerzas heterogéneas, una constante y otra continua: veamos como.

Supóngase al cuerpo en A (fig. 65), sometido á dos velocidades, la AB proveniente de una fuerza instantánea, y la Ag producida por una fuerza continua; no pudiendo seguir los dos caminos á la vez, se dirige por la diagonal de las velocidades y pasa el punto C; si aquí cesara la fuerza continua, el cuerpo seguiria su curso en la direccion CD con movimiento uniforme y con la velocidad adquirida; mas volviendo esta fuerza á repetir la misma atraccion, el cuerpo varia de rumbo y sigue la diagonal CC' del nuevo paralelogramo $CDC'g$. Si á partir de este punto entramos en iguales consideraciones que en los A y C, concluiremos por fin con que el cuerpo describe en su movimiento un trozo de polígono de tantos lados como veces haya actuado la fuerza continua; por consiguiente, si la fuerza obrara sin interrupcion en vez de hacerlo, como hemos supuesto, por una série sucesiva de impulsiones, los lados del polígono serian infinitos y formarian una verdadera curva.

Es bueno advertir, que si en cualquier punto de este movimiento cesa la fuerza continua, el móvil sigue su camino por la tangente del último elemento de la curva, mientras que si falta la fuerza instantánea, el movimiento tiene lugar en la direccion de la fuerza atractiva ó del radio de curvatura. Este raciocinio prueba además la necesidad de dos fuerzas distintas en el movimiento curvilíneo; porque cuando cesa una de ellas el movimiento se vuelve rectilíneo, sirviendo la fuerza continua para ir doblando, si podemos espresarnos así, la direccion de la fuerza instantánea.

Si ponemos un cuerpo en movimiento curvilíneo, sujetándole á un punto fijo por un obstáculo cualquiera, ya sea una varilla ó un hilo, se nota que este obstáculo sufre un esfuerzo que tiende á romperlo en el sentido de su longitud. La resistencia del hilo se mira como una fuerza que tira del cuerpo hácia el centro y se denomina por esta razon *centrípeta*, y siendo la reaccion igual y contraria á la accion que la produce, puede considerarse la tension del hilo como efecto de otra fuerza que quiera alejarle del centro, llamada en contraposicion de la primera *fuerza centrífuga*; conociéndose las dos bajo la denominacion de *centrales*. Por lo que acabamos de mani-

festar, se comprende que las fuerzas centrales tienen igual intensidad, si bien, actuando en sentido opuesto, sus signos son diferentes; la cuestion se reduce, pues, á conocer una de las dos.

97. **Fuerza centrífuga.** El valor de la fuerza centrífuga, deducida por consideraciones ajenas de este lugar, se representa por

la espresion $F = \frac{V^2}{k}$; siendo k el rádio del círculo osculador, cuyo

valor depende de la naturaleza de la curva, y V la velocidad angu-

lar. Para la circunferencia del círculo $F = \frac{V^2}{R}$.

Cuando el movimiento circular es uniforme, puede sacarse el valor de la velocidad de un punto, por la ecuacion $V = E:T$; en la cual, E representa la circunferencia ó $2\pi R$; haciendo la sustitucion y

cuadrando tenemos $V^2 = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2}$, y por consiguiente $F = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$.

Es fácil hacer estensiva la fórmula á la masa M , multiplicando por ella los dos miembros y mudando la fuerza MF en F' ; mas por evitar los acentos la escribiremos $F = \frac{4\pi^2 MR}{T^2}$.

Comparada la fuerza centrífuga adquirida por un móvil, con la que corresponde á otro, y suprimido el factor constante y comun $4\pi^2$, hallamos que, $F:F' :: \frac{MR}{T^2} : \frac{M'R'}{T'^2}$. *Las fuerzas centrífugas se hallan en razon compuesta, directa de las masas y de los rádios, é inversa de los cuadrados de los tiempos de revolucion.*

Hechas las suposiciones de que sean iguales alternativamente, ó combinadas dos á dos, las cantidades que entran en las anteriores fórmulas, dedúcense las consecuencias siguientes:

1.^a *Las fuerzas centrífugas son proporcionales á las masas, para rádios y tiempos iguales; ó $F:F' :: M:M'$.*

2.^a *Las fuerzas centrífugas son proporcionales á los rádios, para tiempos y masas iguales; ó $F:F' :: R:R'$.*

3.^a *Las fuerzas centrífugas son proporcionales al producto de las masas y de los rádios, cuando los tiempos de revolucion son iguales; ó $F:F' :: MR:M'R'$.*

Fijamos mas especialmente la atencion en estas propiedades, por la sencilla razon de ser demostrables experimentalmente con los aparatos que por lo regular hay en nuestros gabinetes.

El aparato de las fuerzas centrales mas comun, está compuesto de un eje vertical AB (fig. 67), que se pone en movimiento por medio de un engranage ó de una cuerda sin fin, haciendo girar al propio tiempo al brazo horizontal CD unido á él y que sirve para atornillar las partes X, Y, Z.

Se demuestra la primera ley atornillando el rectángulo X, el cual tiene dos esferas de marfil desiguales, unidas por una cadenita y que pueden correr con libertad á lo largo de la varilla: dispuestas á igual distancia del centro, ó dándoles el mismo rádio, la mayor masa arrastra á la menor tan luego como el aparato se pone en movimiento. Cuando las masas son iguales no abandonan sus posiciones á pesar del movimiento rotatorio, lo que nos demuestra que las fuerzas centrifugas se equilibran.

Se hace aun mas sensible esta demostracion colocando el montante Y, compuesto de dos tubos de vidrio donde se ponen cuerpos de densidades diferentes, cuales son, agua y aceite en el uno, y agua con unas esferitas de corcho y de plomo en el otro; en el estado de quietud se colocan por órden de sus densidades, el aceite y el corcho sobre el agua, y el plomo debajo de ella; durante el movimiento, los cuerpos cambian de posicion, y los mas ligeros se encuentran debajo de los mas pesados; así vemos el plomo sobre el agua y á esta sobre el aceite y el corcho. Este experimento suele citarse para probar que los líquidos obedecen con facilidad á los movimientos de las fuerzas centrales; y aun se reproduce de nuevo con el montante Z; en el cual el agua del cilindro del medio, es lanzada por el movimiento á las esferas laterales.

Para la segunda ley se disponen dos bolitas iguales á diferente distancia del centro, y resulta que toma siempre mayor cantidad de movimiento y arrastra á la otra, aquella que obra con el rádio mayor.

Para demostrar la tercera ley, se toman esferas desiguales y se vé que una esfera menor puede arrastrar á la mayor dándole un rádio suficiente, y que si los productos de los rádios por las masas

son iguales, se hacen perfecto equilibrio; una masa como uno, con un rádio como dos, resiste á una masa como dos, si su rádio es como uno.

Resta añadir á estas leyes, que puesta una esfera en el montante haciendo coincidir su centro de gravedad con el eje de rotacion, se conserva en equilibrio á pesar de la rotacion, porque á un rádio nullo corresponde una fuerza cero.

98. Variados y bien conocidos son los fenómenos de la fuerza centrífuga: los perros que se han mojado acostumbran secarse dando vueltas con gran rapidez para lanzar el agua de su cuerpo; los caballos y ginetes en los circos ecuestres se inclinan hácia dentro para contrabalancear la fuerza centrífuga que les haria caer: á un vaso con agua se le puede dar vueltas con mucha velocidad sin que el agua se vierta, y en los caminos de hierro no se admiten curvas de poco rádio ó cambios repentinos de direccion porque dicha fuerza les haria descarrilar.

LECCION XXIII.

Valor de la fuerza centrífuga en el ecuador terrestre; relacion que guarda con la gravedad y consecuencias importantes que de ella se deducen.—Ley del decrecimiento de la fuerza centrífuga con la latitud; magnitud de la gravedad en los polos y en el ecuador.—Aparato para demostrar la figura de la tierra.

99. **Valor de la fuerza centrífuga de la tierra.**
Acabamos de ver en la leccion última, que el valor de la fuerza centrífuga adquirida por un punto en el movimiento circular, estaba representado por la espresion $f = \frac{4 \pi^2 R}{T^2}$

Podemos ahora sacar partido de esta fórmula para conocer la fuerza centrífuga de un punto del ecuador terrestre, sustituyendo por T, el número de segundos que tarda nuestro globo en hacer una revolucion alrededor de su eje, por R la magnitud del rádio de la tierra, y finalmente por π la relacion del diámetro á la circunferencia. Practicadas despues las operaciones necesarias, se saca por últi-

mo resultado $f=0, m 0559$; esto es, que la fuerza centrífuga en el ecuador comunica á los cuerpos esta velocidad por segundo. Ahora bien, obrando la gravedad en una direccion opuesta á la fuerza centrífuga, claro está que la velocidad que toman los cuerpos en su caída solo es la diferencia que hay entre las dos fuerzas dichas; por lo cual se hace indispensable sumarlas si queremos conocer el valor efectivo de la gravedad, de donde resulta $g=g'+f=9, m 7815+0, m 0559=9, m 8154$.

Comparada la fuerza centrífuga del ecuador con la accion de la gravedad hallamos que $\frac{f}{g} = \frac{1}{279}$; *la intensidad de la gravedad en el ecuador es próximamente 279 veces la fuerza centrífuga.*

Si reflexionamos que la fuerza centrífuga es proporcional al cuadrado de la velocidad, y que el número 279 se diferencia poco de 289 cuadrado de 17, se deduce que de moverse la tierra con una velocidad 17 veces mayor, ó de emplear la diecisieteava parte del tiempo que tarda ahora en hacer una revolucion, los cuerpos no *serían graves en el ecuador*, y lanzados en este plano conservarian indefinidamente su movimiento, separada que fuese la resistencia del aire. Los cuerpos mas pesados estarian tan seguros en el aire como ahora sobre bases resistentes, y la fuerza del hombre sería mas que suficiente para poner en movimiento masas enormes que en el estado actual de cosas no soñamos siquiera mover; el movimiento de los animales se haria en el aire sin dificultad ninguna, y elevados á cierta altura no tendrían mas que dirigirse hácia los polos para descender tranquilamente hasta la superficie del suelo, por el aumento de intensidad que en aquellas direcciones adquiere la gravedad; pero tambien en cambio de todas estas maravillas una buena parte de la tierra que habitamos en el dia, se esparceria por la atmósfera, cuya presion no siendo tan fuerte como es, nada de extraño tendria que la vida faese en ella de todo punto imposible. Si por el contrario cesara la fuerza centrífuga, los movimientos serían mas dificultosos y los cuerpos absorberian mayores fuerzas para recibir velocidades iguales á las que adquieren en el orden de cosas que nos rige.

La fuerza centrífuga decrece del ecuador donde está en su maximum hasta los polos donde se reduce á cero. En efecto, supuesta la

tierra girando alrededor de su eje, cada punto de la superficie describe una circunferencia cuyo radio está medido por su distancia al eje de rotacion, y como los polos están en el eje mismo, el radio es cero y la fuerza centrífuga nula.

La fuerza de la gravedad, por el contrario, crece del ecuador á los polos donde está en su máximo; ya porque distando menos estos puntos del centro de la tierra la atraccion es mayor, ya tambien porque la fuerza centrífuga es nula. En los puntos situados entre los polos y el ecuador, no oponiéndose la fuerza centrífuga directamente á la accion de la gravedad, no destruye en ella mas que una parte de su intensidad.

Apliquemos lo espuesto, para comprenderlo mejor, al punto A (fig. 68); la fuerza centrífuga actúa en la direccion del radio BM, con una intensidad por ejemplo de BA, y como la gravedad sigue la del radio CD, forman las dos el ángulo BAD, lo que obliga á descomponer la fuerza centrífuga en dos partes, de las cuales solo la AD se opone á la gravedad, quedando la tangencial AT sin producir efecto alguno.

Aun cuando el peso de un cuerpo es mayor en los polos que en el ecuador, no serviria la balanza para indicarnos la diferencia, mediante á que el aumento ó disminucion de la gravedad se compensaria en las pesas y en el cuerpo; mas si midiéramos el peso con el *dinamómetro* AB (fig. 69), *compuesto de un resorte de acero arrollado en espiral y metido en una cajita*, las mismas pesas desenvolverian mas resorte en los polos que el ecuador.

100. Forma de la tierra. Si recordamos la gran facilidad con la cual los líquidos reciben el movimiento de la fuerza centrífuga, y que las tres cuartas partes de la superficie de la tierra son de agua, deduciremos con solo lo espuesto, que el globo no puede ser enteramente esférico, debiendo prolongarse mas donde la fuerza centrífuga es mayor, como efectivamente sucede; y por eso el radio del ecuador es unas siete leguas mas largo que el de los polos.

Para explicar el aplanamiento por los polos y la prolongacion en el sentido del ecuador, se admite que el globo en los tiempos primitivos se hallaba reducido, á impulsos de un calor grandisimo, á un estado pastoso que le permitió obedecer á la fuerza centrífuga en el

sentido de su mayor intensidad. Formaremos idea de como ha podido verificarse, tomando (fig. 70), dos láminas flexibles de acero, cruzadas en ángulo recto á la manera de dos anchos meridianos terrestres: en la parte superior dejan una superficie anular por donde pasa el eje y á lo largo del cual corren. Puesto el aparato en movimiento la forma esférica desaparece, reemplazándola otra bastante parecida á la de la tierra.

101. **Fuerza centrífuga de los astros.** La fuerza centrífuga presta el medio de explicar la forma y rotacion de los planetas alrededor del sol, y la de los satélites alrededor de los planetas. La tierra y el sol, por ejemplo, se atraen reciprocamente; mas como la masa del sol es mucho mayor que la de la tierra, la tierra debia caer hácia el sol; la caída no tiene lugar sin embargo, por impedírselo la fuerza centrífuga, que, combinada con la gravitacion, le obliga á describir su órbita. Parece confirmar esta suerte de equilibrio el hecho de que dado un choque con el martillo m (fig. 71), movido por el resorte de acero r , á la bolita b , pendiente de un hilo y mantenida fuera de la vertical por el sostenedor s , describe una curva cerrada. Por otra parte, en aquel astro que tenga mucha masa y poca velocidad de rotacion sobre su eje, la gravedad será grande y la fuerza centrífuga pequeña, y vice versa, á poca masa y mucha velocidad la primera disminuirá á espensas del crecimiento de la segunda.

LECCION XXIV.

Del péndulo. Péndulo simple y compuesto. Longitud del péndulo simple: amplitud de una oscilacion: vibracion: isocronismo. Movimiento variado del péndulo: fórmula general.—Propiedades y consecuencias que de ella se deducen. Aplicaciones: demostrar que la gravedad es la misma para todos los cuerpos, y hallar el valor de esta gravedad en un punto cualquiera de la tierra.—Péndulo compuesto, su longitud y medios de determinarla.

102. **Del péndulo.** *El péndulo simple consiste en una sola molécula suspendida de un hilo inestensible, sin peso, y que al moverse alrededor de un punto fijo no experimenta rozamiento alguno. Como en la naturaleza, físicamente hablando, ni se aíslan las molé-*

culas, ni hay hilos que cumplan con semejantes condiciones, ha parecido oportuno calificarle de *péndulo simple ó matemático*. Al contrario, se llama *péndulo físico ó compuesto*, cuando un cuerpo pesado, pendiente de un alambre ó de una varilla material, es el que se mueve alrededor de un eje de suspension.

Sea para la teoria, un péndulo simple (fig. 72), suspendido del punto C, y cuya longitud represente CB. Separado de la posicion vertical y traído á la CA, el péndulo descende tan presto como se le abandona á la accion de la gravedad, y al llegar al punto mas bajo B, adquiere la velocidad correspondiente á la altura Bb de que cae, y con ella sube por la otra rama hasta el punto D, en donde ya es nula; mas al caer de nuevo, de nuevo la vuelve á adquirir y á elevarse en su virtud hasta el punto A, para descender despues y seguir constantemente en este movimiento curvilíneo, de vaiven, ó mejor dicho, de oscilacion. El arco ABD, descrito en la ida de la posicion CA á la CB, es la *amplitud de una oscilacion*; y la union de dos oscilaciones, ó la ida y la vuelta al mismo punto, forman lo que se llama en acústica una *vibracion*. Esta denominacion se aplica mas bien al movimiento de las moléculas que al de los cuerpos.

La velocidad del péndulo difiere en todos los instantes de su movimiento; principia á crecer en el punto A, llega á su máximum en el B, y decreciendo desde aquí se hace nula al tocar el punto D. Al descender otra vez vuelven las cosas al principio; las variaciones son periódicas é iguales en los arcos AB y BD, con tal que consideremos puntos equidistantes del medio B: lo que causa retraso al subir, aumenta la velocidad al bajar; alternativas que compensan estas diferencias, y hacen al péndulo tardar en describir los dos arcos doble tiempo que en cada uno de ellos. Repitiéndose siempre lo mismo, las oscilaciones resultan *isócronas ó verificadas en el mismo tiempo*, y de aquí las importantísimas aplicaciones del péndulo para la medicion del tiempo.

Por supuesto, si no fuera por la accion continua de la gravedad, el péndulo en vez de oscilar se mantendria en cualquiera posicion que se le diera. Sin embargo de ser esto cierto, la pesantez no obra con igual intensidad sobre toda la longitud del arco. Sea AG la intensidad en A; como es oblicua respecto del hilo AC, la descompondremos en

dos partes: una AK en su direccion que se destruye con la resistencia de él, y la otra TA tangencial causa del movimiento; semejante descomposicion no se verifica en B, donde la gravedad es neutralizada por el hilo, la fuerza tangencial nula y el movimiento solo se efectúa en virtud de la velocidad final adquirida.

Por consiguiente, el movimiento del péndulo que á primera vista parece tan sencillo, se complica tanto despues, que para estudiarlo debidamente sería menester contar con un gran número de pequenísimas fuerzas aceleratriciés, todas diferentes segun el punto del arco á que correspondieran; dificultad que no es fácil resolver no siendo con el concurso del cálculo infinitesimal, que dá con este motivo lugar á una de las cuestiones mas elegantes de la mecánica racional, y de la cual tomaremos la espresion que liga el tiempo t de una oscilacion, con la longitud l del péndulo, y con la intensidad g de la gravedad, para un punto cualquiera de la tierra y es la siguiente:

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

103. Comparando el movimiento de dos péndulos sacamos la proporcion: $t:t'::\sqrt{\frac{l}{g}}:\sqrt{\frac{l'}{g'}}$ Si un mismo péndulo oscilara en dos puntos distintos, sería $l=l'$, y $t^2:t'^2::\frac{1}{g}:\frac{1}{g'}::g':g$.

Esto nos dice que los cuadrados de los tiempos de una oscilacion están en razon inversa de las intensidades de la gravedad. Los péndulos oscilan, pues, mas aprisa en los polos que en el ecuador, y al nivel de los mares que en la cima de montañas elevadas.

Si $g=g'$, caso que ocurre poniendo los péndulos en el mismo paraje, $t^2:t'^2::l:l'$. Los cuadrados de los tiempos de una oscilacion son proporcionales á las longitudes de los péndulos.

Esta ley nos deja comprender lo difícil que es encontrar dos relojes de péndulo marcando siempre la misma hora; hallándose esta ligada á la longitud de aquel, es casi seguro que aun cuando se ponga el mayor esmero en sacarlos idénticos, el uno será mas ó menos sensible á las influencias atmosféricas que el otro, y entonces se atrasará si su longitud aumenta mas, y se adelantará si aumenta menos.

Por eso los buenos cronómetros tienen su compensador como mas despacio veremos en el calor.

Supongamos ahora que contamos los números de oscilaciones n y n' , que hacen dos péndulos en el tiempo T , y que tardan en cada una los tiempos t y t' ; claro está que $T=tn$, y $T=t'n'$; es decir, el tiempo total igual al de una oscilacion multiplicado por el número de ellas; de aquí sale $tn=t'n'$, y $n:n':::t':t$; y cuadrada $n^2:n'^2::t':t$; pero $t^2:t'^2::l:l$; luego $n^2:n'^2::l':l$; los cuadrados de las oscilaciones están en razon inversa de las longitudes de los péndulos.

Si disponemos varios péndulos cuyas longitudes sean 1, 4, 9, 16.... el 1.º hará 2, 3, 4... oscilaciones mientras el 2.º, 3.º, 4.º... hagan una: el 2.º hará 3 mientras el 3.º dé 2, y el 2.º dará 4 oscilaciones mientras el 4.º dé 3.

104. Aplicaciones del péndulo. La primera y mas importante es demostrar de una manera evidente, *que la gravedad obra con la misma intensidad sobre todos los cuerpos*; cuestion que habiamos aplazado para cuando tratáramos del péndulo. Con semejante propósito el astrónomo Bessel hizo construir varios péndulos de sustancias diferentes; les dió una longitud igual; les dejó oscilar en idénticas circunstancias, y encontró que el tiempo de una oscilacion es el mismo para todos ellos; si la gravedad, que es la fuerza productora del movimiento, no fuera independiente de la naturaleza de los cuerpos, claro está que sus efectos serian bien distintos en cada péndulo.

La fórmula del péndulo resuelve otra cuestion importante cual es, *hallar el valor de la gravedad en cualquier punto de la tierra, ó lo que es igual, hallar el espacio recorrido en el vacío por un cuerpo en un segundo.* Con efecto, despejando en ella g , resulta $g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$, y siendo $t=1$, $g = \pi^2 l$; multiplicando la longitud del péndulo que bate segundos, por el cuadrado de la relacion del diámetro á la circunferencia, tenemos el valor de la gravedad.

Segun las observaciones practicadas por el Sr. Ciscar en Madrid el año de 1800, la longitud del péndulo que allí bate segundos á la temperatura de 13 grados de Reamur, es de 3,563 piés, ó de 515,125 líneas; el espacio que anda un cuerpo en un segundo 17,584 piés,

y 35,169 el valor de la gravedad. La longitud del péndulo en Paris es de 0m, 9938.

105. **Péndulo compuesto.** Todo lo que precede es referente al péndulo simple; para aplicarlo al péndulo compuesto hay que tener en cuenta que si todas sus moléculas oscilaran por separado, ó como si estuvieran solas, las mas próximas al punto de suspension lo harian con mayor velocidad que las mas separadas, de suerte que haciéndolo unidas las primeras aceleran á las últimas, mientras que las últimas retardan á las primeras; de aqui el que haya una fila de moléculas en la que se compensan las dos tendencias contrarias con una *velocidad media ó compuesta de todas ellas*. Esta fila de moléculas paralelas al eje de suspension, que tienen una velocidad comun, y oscilarian como si estuvieran libres, forman *el eje de oscilacion*; el punto donde corta á la vertical tirada por el centro de gravedad se llama *centro de oscilacion*, y la distancia que hay desde él al eje de suspension *longitud de oscilacion*, ó *longitud del péndulo simple*, que acompañaria al compuesto en todos sus movimientos.

Fundados en esta propiedad hallaremos el centro de oscilacion del péndulo compuesto colocando un péndulo simple que oscile con igual velocidad desde el punto de suspension hasta donde alcance. A pesar de lo fácil de esta operacion, es mas usada otra fundada en que *el eje de suspension y el centro de oscilacion son correlativos*; suspendido un péndulo por el eje de oscilacion, oscila con la velocidad que antes; por consiguiente, invirtiendo la posicion del péndulo, y dándole por tanteos mas ó menos longitud, encontraremos una para la cual el tiempo de su oscilacion sea el mismo, y en este caso el punto de suspension es el *centro de oscilacion*.

LECCION XXV.

Choque de los cuerpos; su division.—Casos en que pueden chocar; fórmulas de las velocidades y de las cantidades de movimiento antes y despues del choque para los blandos ó flexibles.—Choque de los cuerpos elásticos; velocidades ganadas y perdidas; aparato correspondiente.—Choque oblicuo y demostrar las leyes de la reflexion de los cuerpos elásticos; aparato para este objeto.

106. **Choque de los cuerpos.** Al examinar los multi-

plicados medios que hay para aprovechar el trabajo de los motores, advertimos que en ciertos casos nos valemos del intermedio de unos cuerpos para poner en movimiento, destruir ó modificar el que tienen otros. El encuentro de un cuerpo en movimiento con otro, se llama *choque*.

Para conocer las leyes de la trasmision del movimiento por medio del choque, se dividen los cuerpos sólidos en dos secciones. En la primera están la pasta de carton mojado, el plomo, la cera y los flexibles, pudiéramos decir, ó *aquellos que conservan la forma que adquieren en el choque*; en la segunda los cuerpos que hacen continuos esfuerzos para tomar su forma y volúmen primitivos, los *elásticos* en una palabra. A la verdad, ni hay cuerpos blandos, ni cuerpos flexibles, ni cuerpos elásticos en toda la acepcion de estas denominaciones; pero además que facilita esta division el estudio de la presente cuestion, los resultados á que conduce son casi los mismos que si las propiedades que les atribuimos, y que no tienen mas que en parte, les pertenecieran por completo.

Lo que vamos á esponer refiérese al caso en que los cuerpos se encuentran en la direccion de la línea tirada por sus centros de gravedad, normalmente á las superficies de encuentro, llamado *choque central*, á diferencia de cuando lo hacen en otro sentido, dicho *choque escéntrico ú oblicuo*.

107. Choque de los cuerpos no elásticos. Moviéndose los cuerpos por una misma línea recta se encontrarán por tres razones, á saber: 1.º *Por tener mayor velocidad el que va detrás.* 2.º *Por ir en sentido opuesto.* 3.º *Por hallarse uno quieto en el trayecto que lleva el otro.*

1.º Supongamos que las fuerzas de los cuerpos en movimiento están representadas por las ecuaciones $f=mv$, y $f'=m'v'$; si chocan siguiendo la misma direccion, en virtud de las leyes de inercia, tendremos una resultante igual á su suma, $f+f'=mv+m'v'$. Las fuerzas $f+f'$, obrando sobre las masas $m+m'$, les imprimirán una velocidad x , por ejemplo, y será $f+f'=(m+m')x$; y de estas dos ecuaciones sacamos $(m+m')x=mv+m'v'$: *las cantidades de movimiento son iguales antes y despues del choque*; lo que un cuerpo pierde otro lo gana. La velocidad con la cual los cuerpos caminan

despues del choque, se deduce de la ecuacion, $x = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$.

2.º Si los cuerpos caminan en sentido opuesto, una de las velocidades sería negativa, y en este supuesto $x = \frac{mv - m'v'}{m + m'}$; en el caso de tener los dos cuerpos masas y velocidades iguales, pasan con el choque al estado de reposo, y de no ser así, el movimiento se verificaria en direccion de la fuerza mayor.

3.º Hallándose un cuerpo en reposo su velocidad es nula y $x = \frac{mv}{m + m'}$.

Si en este caso la suma $m + m'$ de las masas fuera muy grande, casi infinita respecto de mv , por serlo m' , la velocidad final puede mirarse como nula; y asi sucede en efecto cuando tiramos una piedra contra un obstáculo grande, un pistoletazo contra una muralla, porque no conseguimos movimiento alguno. En el choque es-céntrico la impulsión es descompuesta en dos partes, una normal á la superficie de contacto y otra tangencial.

108. **Choque de los cuerpos elásticos.** Las complicadas circunstancias físicas que concurren en el choque de los cuerpos elásticos colocan el problema fuera del objeto de estas lecciones; sin embargo, espondremos aquellas verdades que reunan á la mayor sencillez las aplicaciones mas útiles.

La compresion sufrida por los cuerpos elásticos no llega á su máximum en el momento del choque, sino que va creciendo poco á poco hasta adquirir una velocidad comun, en cuyo caso el cambio de forma se completa y el fenómeno pasa como en los cuerpos blandos y flexibles; á partir de aqui, la fuerza de resorte les devuelve su forma primitiva y un momento despues se rechazan recíprocamente y cada uno retrocede con una fuerza igual á la desenvuelta por el otro, entrando ya de lleno en el dominio único y esclusivo de las fuerzas de su elasticidad.

Al calcular las velocidades perdidas y ganadas por los cuerpos chocante y chocado, debemos considerarlos en primer lugar como blandos; es decir, que en el momento de la máxima compresion la velocidad comun se hallaria por las fórmulas establecidas (107);

conocida hasta este momento la velocidad del chocante, por la diferencia entre la que tenia y la que le queda, la fuerza de elasticidad en su reaccion, obrando en sentido contrario del movimiento, duplica la pérdida de su velocidad, mientras que en el chocado duplica la ganancia por idénticas razones. De suerte que, en último resultado, la pérdida y ganancia de velocidades en el choque de los cuerpos elásticos es doble de la que en el mismo caso experimentan los que no lo son. La cantidad de movimiento perdida por el uno es igual á la ganada por el otro.

El análisis de las fórmulas del choque de los cuerpos elásticos, conduce á ciertas leyes demostrables con el aparato (fig. 73), y son las siguientes:

1.º *Al chocarse dos esferas de marfil de iguales masas que van en la misma direccion, no dejan por eso de seguir su camino, pero es cambiando sus velocidades.*

2.º *Si las direcciones son encontradas, tambien cambian las velocidades, alejándose la una de la otra despues del choque con la misma rapidéz con que se acercaban.*

3.º *Al chocar un cuerpo en movimiento con otro de masa igual en reposo, le cede toda su velocidad y se detiene en el sitio del encuentro; en el caso que el choque tenga lugar con otro de gran masa, en vez de comunicarle su velocidad retrocede con ella á desandar el camino recorrido.* Dejando caer una esfera de marfil perpendicularmente sobre un plano de mármol, rebota y vuelve á elevarse, teóricamente al menos, á la altura de que ha descendido, en cuyo tiempo su forma varia entre un esferoide, que tan pronto tiene el eje mayor horizontal como vertical, y una esfera que además de servirle de tránsito es el limite de estas variaciones.

109. **Choque oblicuo.** Cuando la direccion del choque es oblicua, el cálculo y la esperiencia demuestra (fig. 74): 1.º Que el ángulo de reflexion es igual al de incidencia, $EDN=YDN$. 2.º Que la direccion emergente DE, está en el plano normal que pasa por la incidente YD. *Los ángulos de incidencia y de reflexion son los formados por la direccion del cuerpo antes y despues del choque con la normal del punto de contacto.* El experimento sale mas vistoso, poniendo un plano de mármol inclinado, sobre el cual cae la esfera de

marfil; un semicírculo para medir los ángulos, y unos anillos por donde pasa la bolita despues del choque, ó una cajita donde salta.

110. **Aplicaciones.** Las leyes del choque de los cuerpos disipan la oscuridad que envuelve á primera vista frecuentes hechos. Con un golpe rápido y fuerte se saca de la base de una pila de monedas cualquiera de ellas sin derribar las demás; se corta el tallo de una flor y cae junto á su pié; y con el hierro se corta el acero. Una bala de plomo con mucha fuerza hace un agujero redondo de su tamaño en un cristal, y una de cañon divide en dos un fusil sin daño del que lo sostiene. Una bala de sebo lanzada por una pistola atraviesa una tabla. El agua hace rebotar los proyectiles, y los torrentes y el aire lo arrastran todo cuando es muy grande su velocidad.

HIDROSTÁTICA.

LECCION XXVI.

Hidrostatica.—Principio de igualdad de presion: su aplicacion á las máquinas.—Condiciones de equilibrio de una masa flúida; aplicacion á la forma de la tierra.—Líquidos heterogéneos.—Presiones ejercidas por los líquidos sobre el fondo de los vasos que los contienen; paradoja hidrostática: aparato de Haldat.—Presiones de abajo arriba.—Presiones laterales.

111. Hidrostatica. La hidrostática propiamente dicha tiene por objeto el equilibrio de los líquidos; y segun lo dicho en otra ocasion, están formados de moléculas tan móviles que es preciso encerrarlos en vasijas para impedir su movimiento; réstanos ahora examinar las propiedades á que esta disposicion dá lugar.

112. Principio de igualdad de presion. *Los líquidos gozan de la propiedad de transmitir en todas direcciones y con igual intensidad la presion que se ejerza en cualquiera parte de su masa.*

Para demostrarlo supongamos una vasija ABCD (fig. 75), llena de un líquido, cuyas caras laterales estén provistas de los émbolos P, P', P''...; si sobre el primer émbolo P aplicamos una fuerza de afuera adentro, los otros émbolos son rechazados de adentro afuera, si no se les sostiene con una fuerza igual y contraria á la primera; en el supuesto de que las bases de los pistones sean iguales; mas si la superficie del émbolo P''', es doble, triple, ó n veces mayor que la del P, entonces no se consigue el equilibrio á menos de aplicar una fuerza dos, tres, ó n veces mayor; de suerte, que las fuerzas transmitidas á los émbolos por el líquido encerrado, son proporcionales á las superficies de sus bases.

De este principio se desprende que una *vasija llena de agua es una verdadera máquina*; con la cual, no solo se cambia la dirección del movimiento, sino que, con una fuerza como uno, aplicada á un émbolo cuya base sea la unidad, se hace equilibrio á una resistencia diez, ciento, mil veces mayor, aplicada sobre otro émbolo de una base diez, ciento, mil veces mas estensa; y he aquí esplicada la prensa hidráulica de Pascal.

La exactitud del principio anterior requiere como condiciones necesarias la perfecta movilidad de los líquidos y la carencia absoluta de su compresibilidad; y tanto una propiedad como la otra distan bastante de la realidad; sin embargo, admítense como tales porque aplicando el cálculo en este sentido los resultados se diferencian tan poco de los números verdaderos que no hay inconveniente en tomar unos por otros.

113. Condiciones de equilibrio. Los líquidos, en virtud de su movilidad, necesitan para adquirir el equilibrio algunas condiciones que en los sólidos están suplidas con la fuerza de cohesión.

El caso mas general de equilibrio que puede presentarse es cuando un líquido está bajo la acción de un sistema de fuerzas, ya sean de la misma naturaleza ó de naturaleza distinta; pero nosotros no vamos á entrar en un campo tan estenso, reduciéndonos al caso en que el sistema sea reemplazable por una fuerza única, y principalmente por la acción de la gravedad.

La condición *única y esencial* para mantener los líquidos en equilibrio es *que cada una de las moléculas de su masa se halle sometida en todas direcciones á fuerzas iguales y contrarias*. Si así no fuese, la falta de cohesión las dejaria espuestas al movimiento en el sentido de la mayor, desalojando á su paso las que á él se opusieran; el espacio que estas dejaran lo ocuparían las inmediatas, el de estas las siguientes; y por último, se estendería el movimiento por todas partes y acabaría el equilibrio.

114. *La superficie de nivel de un líquido en equilibrio es necesariamente perpendicular á la resultante del sistema*. Supongamos para demostrarlo, que la resultante de todas las fuerzas que obran sobre la molécula m (fig. 76), tienen la dirección mg , y que la su-

perficie de nivel es oblicua como AC; la fuerza *mg* se descompondrá en otras dos, una *mn* normal á la superficie AC, y otra *mk* paralela ó tangencial; la primera no produce efecto sensible por la poca compresibilidad del líquido, en tanto que la segunda imprimiendo el movimiento hace imposible el equilibrio.

Segun lo espuesto, podemos decir que la superficie de los líquidos será de ordinario una curva normal á la resultante del sistema. Si el sistema lo constituye la sola acción de la gravedad, nuestras vasijas, los estanques y los pequeños lagos, tendrán *horizontales* las superficies de su nivel; en los grandes lagos, en los mares y en el océano, por el contrario, las aguas ofrecerán la forma *esférica*. La razón de esta diferencia consiste en que las direcciones estremas de la gravedad en los primeros casos son paralelas, mientras que en los segundos distando ya mucho mas, siguen los radios de una esfera que las aguas han de formar para serles normal en todas partes.

Esta es una de las muchas razones que esplican la redondez de nuestro globo, y la inmutabilidad de su atracción desde los tiempos mas remotos; porque si llegara á variar, las aguas saldrian de sus lechos naturales, y primero que faltar á la ley de ser perpendiculares á la gravedad, inundarian los continentes sin que hubiera diques capaces de contenerlas.

115. Líquidos heterogéneos. Hallándose toda masa flúida en equilibrio gravitando sobre el fondo de la vasija, si la suponemos dividida en capas paralelas, la última capa desempeñará con la penúltima el mismo papel que el fondo de la vasija con ella; esta hará lo mismo con la siguiente, y prosiguiendo así cada *capa* puede mirarse como el *fondo* de la que inmediatamente la sigue; consideraciones que no varían en nada aunque el líquido, á partir de cada capa, no fuese el mismo; de suerte que, *mezclados* dos ó mas líquidos *heterogéneos* sin acción química, las superficies de separación deben ser paralelas como cuando están solos; *horizontales* si no hay mas fuerza que la gravedad, ó *normales* en general, en todos los demás casos.

116. Presiones que causan los líquidos. En una vasija como la que representa M (fig. 77), cuyas paredes son verticales, la *presion* que sostiene el fondo es igual al *peso de una co-*

*lumna líquida que tenga por base la de la vasija, y por altura su distancia á la superficie de nivel; porque todos los filetes líquidos gravitan sobre él sin obstáculo alguno; mas lo que llama á primera vista la atención es ver los vasos M, N, P, producir la misma presión á igualdad de bases y alturas, á pesar de la cantidad tan diferente que de líquido encierran. La explicación consiste en el vaso N, que el fondo no sostiene mas presión que la de los filetes á los que sirve de base, quedando destruido el peso de todos los demás por las paredes laterales. En el vaso P, la razón es otra, y se funda en la presión transmitida por los líquidos; la parte k de la base BC, experimenta la presión correspondiente á la altura hk como en los casos anteriores, presión que comunicada en todos sentidos conduce al mismo resultado final que si el cilindro líquido estuviera completo. El principio en virtud del cual las presiones de los líquidos son independientes de la forma de los vasos, se llama *paradoja hidrostática*.*

La demostración experimental de la paradoja puede hacerse con la balanza de Pascal ó con el aparato de *Haldat*, que es como sigue. En la (fig. 77), EFG es un tubo de vidrio encorvado en sus extremos, donde se echa mercurio hasta el nivel EG; la parte E, es una armadura metálica con su rosca, en donde se atornillan los vasos M, N, P: n una llave para desocuparlos de agua, y m un índice para marcar la altura á que sube su nivel. Atornillado el vaso N, se le echa agua hasta tocar al índice m , y en seguida se marca con el anillo móvil s , la altura á donde el mercurio se eleva; atornillados los vasos M, P, el uno después del otro, y practicando con ellos lo mismo, el mercurio sube siempre á la misma altura, haya poco ó mucho líquido, tenga el vaso esa ó aquella forma. Luego las presiones ejercidas por los líquidos sobre el fondo de los vasos, están siempre representadas por el peso de una columna fluida cuya base es la superficie mojada y la altura la que el nivel tenga sobre ella. Si el fondo es inclinado se entenderá por altura la distancia de su centro de gravedad á la superficie de nivel ó plano de flotación.

Es importante no confundir la presión que sufre el fondo BC del vaso, con el peso que sostiene la base del aparato; pues si bien la primera es igual para todos los vasos, la segunda aumenta con la cantidad de líquido; es mayor con el vaso N que con el M, y con es-

te mayor que con el P; y se esplica bien con recordar que el *peso es proporcional á la masa*, cualquiera que sea la forma y la disposicion en que ella se encuentre.

117. **Presiones de abajo arriba.** Puesto que los líquidos ejercen verticalmente una presion igual á su peso, se deja entender que una capa líquida cualquiera, descenderia hasta el fondo si no la sostuviera la inmediata con otra fuerza igual y en sentido opuesto. Con efecto, tómesese un cilindro *abcd* (fig. 78), abierto por ambos lados y adáptese á la inferior un obturador de vidrio *bc*, que sostendremos al principio con el hilo *m*, que pasa por dentro; al sumergir este aparato en el agua, se encuentra en ella una resistencia creciente de la superficie al fondo, y mas que suficiente para sostener el disco *bc*; echando agua dentro del cilindro, el fondo movable solo se desprende cuando el *nivel interior coincide con el exterior*, resistiéndose hasta entonces. El esfuerzo empleado para separar el obturador es igual al peso de la columna líquida que sobre él descansa, esfuerzo que mide la presion ejercida por el líquido exterior en sentido contrario; es decir, que los líquidos *causan, en virtud de la pesantez, las mismas presiones de abajo arriba que de arriba abajo*. Al hacer el experimento con todo esmero, el disco de vidrio cae un poquito antes de coincidir el nivel interior con el exterior; y así debia suceder, porque el vidrio pesa mas que la lámina de agua correspondiente, y añadida la diferencia á la columna interior le dá el mismo peso que la del exterior cuando aun la altura de su nivel es un poquito menor.

118. **Presiones laterales.** Estas presiones crecen con la altura de los filetes verticales; son nulas en el plano de flotacion y están en su máximo en el fondo; su peso se mide como siempre *por el de una columna líquida que tenga por base la superficie de la pared mojada, y por altura la distancia de su centro de gravedad al plano del nivel*. La demostracion se hace con el aparato de Pascal que tiene movable una parte de las paredes laterales, y á la cual se aplica para mantenerla fija un peso igual á la presion mencionada. El punto de aplicacion de la resultante de las presiones ejercidas sobre un elemento de la pared mojada se llama *centro de presion*; y está un poco mas bajo que el centro de gravedad.

LECCION XXVII.

Presiones sobre los cuerpos sumergidos y condiciones de equilibrio.—Principio de Arquímedes.—Demostracion general.—Balanza hidrostática.—Ludion ó diablillo de Descartes.—Condiciones de equilibrio de un mismo liquido ó de liquidos heterogéneos en vasos comunicantes.—Aplicaciones á la conduccion de agua por encañados.

119. Presiones sobre los cuerpos sumergidos.

Principio de Arquímedes. Todo cuerpo sumergido en un fluido pierde de su peso tanto como pesa igual volúmen del fluido que él desaloja.

Supongamos el cubo M (fig. 79), metido en un fluido; las presiones de las cuatro caras laterales se neutralizan dos á dos; la presion vertical de arriba abajo sobre la cara m , se calcula por el peso de una columna flúida cuya base es la cara s del cuerpo y altura la distancia mn á la superficie de nivel, esto es, $s \times mn \times d$; la presion de abajo arriba sobre la cara m' , tiene la misma base y por altura la distancia $m'n$, que se descompone en $mm' + mn$, y en este concepto el peso será: $sd (mm' + mn) = s \times d \times mm' + s \times d \times mn$; restando de esta expresion la anterior, el residuo $s \times d \times m'm$, mide la fuerza con que el cuerpo es empujado de abajo arriba. Esta fuerza se llama el *empuje* de fluido; es igual el peso del volúmen del fluido desalojado, y se aplica á su centro de gravedad.

Los sólidos que están dentro de los líquidos se hallan comprimidos por una fuerza de afuera adentro, cuya intensidad crece con su volúmen y con la profundidad y densidad del liquido. Para probarlo se introduce una vejiga atada á un tubo de vidrio y llena de un liquido colorado en un vaso de agua (fig. 80); la vejiga, como de parecedes flexibles cede y el liquido sube por el tubo, y á tanta mayor altura cuanto mayor sea la profundidad á que aquella se sumerja. En el mercurio sube mas que en el agua. Dentro del mar se puede aumentar la presion con la profundidad hasta aplastar cuerpos de mucha resistencia.

Veamos esto mismo prácticamente con la *balanza hidrostática* (fig. 81), que es como las balanzas comunes á escepcion de unos

ganchitos ó corchetes que tienen los platillos por la parte inferior, y dos cilindros metálicos, uno macizo y otro hueco que ajustan exactamente. Metido el primero en el segundo, se les hace equilibrio, sea con otro cilindro á propósito, ó con pesos cualesquiera; despues se suspende el macizo del hueco y se mete en un vaso de agua hasta que su nivel lo cubra bien, con cuya operacion el equilibrio es destruido á favor del otro platillo; prueba indudable de que con la *inmersion ha perdido una parte de su peso*; llenando de agua el cilindro hueco, el equilibrio vuelve á establecerse de nuevo: *la pérdida es igual al peso del volúmen del flúido desalojado.*

120. **Equilibrio de los cuerpos sumergidos.** Verificándose el empuje del flúido en sentido contrario del peso del cuerpo, estas dos fuerzas se neutralizan ó equilibran si son iguales; es decir, que si la densidad del cuerpo sumergido y la del líquido son una misma, y varian á la par, el equilibrio subsiste en todas las posiciones que se le den; mas si el peso del cuerpo es mayor, desciende con la diferencia entre las dos fuerzas mencionadas, y si es menor, el cuerpo se eleva á la superficie hasta dejar fuera del agua una parte de su volúmen. Bien se vé que en todos estos casos el peso del cuerpo no varía, si su masa es la misma antes y despues de haberlo sumergido; pero como las balanzas solo dan la diferencia entre el peso y el empuje, se dice que el cuerpo pierde con su inmersion tanto como pesa el líquido desalojado.

121. **Equilibrio de los cuerpos flotantes.** *Los cuerpos flotantes desalojan una cantidad de líquido que pesa tanto como ellos; el volúmen de la parte sumergida y del líquido espulsado son iguales.* Se hace la demostracion espermental introduciendo un prisma de madera en una campana con agua, dividida en partes iguales; el aumento de volúmen del agua es igual á la parte sumergida, y su peso el de todo el cuerpo flotante. Luego sabido lo que un buque cala, ó el volúmen que tiene debajo del agua, y multiplicándolo por la densidad de ella, se tendrá el peso del buque como con una balanza.

El equilibrio de los cuerpos flotantes puede ser *estable, inestable é indiferente.* Estable, si el centro de gravedad está mas bajo y en la misma vertical que el centro de presion; inestable, cuando el me-

tacentro está mas bajo que el centro de gravedad, é indiferente si coinciden siempre el centro de gravedad y el de presión; sin embargo, todavia hay equilibrio estable cuando se halla mas alto, pero para ello es indispensable que dicho centro de presión esté mas bajo que otro punto llamado *metacentro*.

El transporte de toda clase de cargamentos por rios y canales; la facilidad con que manejamos debajo del agua piedras que fuera apenas moviéramos; la suspension de las nubes y la del polvo en el aire, la natacion y la navegacion entera se fundan en estos principios. Advertiremos de paso, que buques bien flotados para la mar, en donde andan sin peligro, en cuanto al peso de su cargamento, al llegar á las rias pueden correr de pronto algun riesgo por ser el agua dulce mas ligera que la salada.

El diablillo de Descartes (fig. 81) es una figurita que flota en un frasco de agua, y baja y sube en ella apretando con la mano una membrana con que suele estar cerrado el frasco algunas veces, ó dando vueltas á un piston impelente en otras. La esplicacion es sencilla: el diablillo tiene una capacidad llena de aire, ocupa mucho volumen y flota; aplicando una fuerza comprimente en la parte superior del frasco, se trasmite de capa en capa, reduce el aire de volumen con el cual comunica por un orificio, entra agua á reemplazarlo y con esta adición se hace mas denso y se vá al fondo; al cesar la fuerza comprimente, el aire reobra sobre el agua introducida, la echa fuera, se hace mas ligera y flota de nuevo.

122. Equilibrio de los líquidos en los vasos comunicantes. Cuando los líquidos se hallan en vasos comunicantes, *que son aquellos que tienen libre comunicacion unos con otros*, para mantenerse en equilibrio necesitan satisfacer á las condiciones establecidas, y además á las siguientes:

1.^a *Un mismo líquido, ó líquidos de igual densidad, se elevan en los vasos comunicantes á la misma altura.* Los vasos deben tener bastante diámetro para no dar lugar á otra clase de fenómenos que estudiaremos en la capilaridad.

2.^a *En los líquidos heterogéneos ó de densidades diferentes, las alturas á que se elevan están en razon inversa de sus densidades.* Con efecto, metidos varios tubos abiertos por ambos lados en un

depósito de agua, en todos ellos sube á la misma altura: unidos despues dos á dos en nada alteramos su estado, y por consiguiente la primera proposicion es evidente.

La (fig. 83) representa un aparato para lo mismo: A, es una vasija de vidrio que comunica á la vez con los tubos M, N, P; abierta la llave r, el agua sube en todos ellos á la altura que tiene en el vaso A, sin que su forma influya en lo mas mínimo. La presion de los brazos menores es igual á la del depósito toda vez que se hacen equilibrio.

Si en un tubo de vidrio ABC (fig. 84), compuesto de dos brazos, mezclamos líquidos heterogéneos, agua y mercurio, una lámina fluida mn , de separacion sostendrá en el caso de equilibrio, presiones iguales en ambos sentidos. La presion del lado AB está representada por la columna de mercurio que sobre ella gravita, cuyo peso se halla multiplicando su volumen $mn \times h'$, por la densidad D' ; esto es $mn \times h' \times D'$; la del brazo BC producida por el agua, será $mn \times h \times D$, si h y D representan la altura de su nivel y la densidad; y en el caso de equilibrio, $mn \times h' \times D' = mn \times h \times D$ de donde sale: $h:h'::D':D$; es decir, que las alturas de los fluidos en los vasos comunicantes están en razon inversa de sus densidades.

Haciendo el experimento se encuentra que para cada division del mercurio sube el agua 15 1/2, que es cabalmente la relacion entre las densidades de estos dos cuerpos. Si en lugar de agua pusieramos aire, que es unas 770 veces mas ligero que ella, y 10464 mas que el mercurio, una linea ó una pulgada de este liquido haria equilibrio á una columna de aire de 10464 lineas ó pulgadas de altura; consideracion importantísima para entender en adelante la teoria y aplicaciones del barómetro.

La conduccion de las aguas por encañados habla bien alto del uso que hacemos de la propiedad que tienen de elevarse á buscar su nivel en los vasos comunicantes; recogida en lejanos manantiales, salva las cortaduras de las montañas, pasa por debajo de rios y de barrancos, para venir á dar vegetacion, cultivo y hermosura á las plazas y paseos públicos, y elevándola hasta nuestras habitaciones, conseguimos la comodidad y limpieza de que tanto necesitamos. Los grandes acueductos construidos por los antiguos con idéntico fin,

son otros tantos monumentos de su poderío y grandeza, mas no de las aplicaciones de tan importante ley de la hidrostática.

LECCION XXVIII.

Qué son densidades ó pesos específicos.—Densidades de los sólidos con la balanza hidrostática.—Precauciones que hay que tomar en los casos de ser solubles, permeables ó mas ligeros que el agua —Frasco de Klaprot.—Gravímetro de Nicholson.—Densidades de los líquidos con el frasco de Klaprot, con la balanza hidrostática y con el areómetro de Farhenheit.

125. Medios de conocer el peso específico. Hemos indicado antes de ahora que los cuerpos son mas ó menos pesados segun que tengan mayor ó menor cantidad de materia bajo la unidad de volúmen. A fin de esplicar este hecho se supone que el peso de los átomos varia con su naturaleza; y como están, además, dispuestos de diferente manera en todos los cuerpos, no es de estrañar que el peso varíe, aun cuando los coloquemos en circunstancias idénticas.

Para aclarar el asunto de las densidades, tomaremos las ecuaciones $P=VD$, y $P'=VD'$, que representan los pesos de dos cuerpos *reducidos al mismo volúmen*; dividiendo la una por la otra resulta:

$\frac{P}{P'} = \frac{D}{D'}$; de forma que *la relacion de los pesos es la de las densida-*

des; si $D'=1$; $D = \frac{P}{P'}$; cuando la densidad de un cuerpo se toma

por unidad de medida, las densidades de los demás cuerpos, referidas á él, están representadas por las relaciones entre los pesos de estos cuerpos y el de un volúmen igual de aquel con que se comparan. Las densidades bajo este punto de vista se llaman *densidades específicas*, ó *pesos específicos*.

Las densidades admitidas hoy como unidades de medida son la del *agua destilada* para los sólidos y los líquidos; y la del *aire* para los gases y vapores; por eso se dice que *el peso específico de un sólido ó de un líquido es la relacion que hay entre su peso y el de un volúmen igual de agua. El peso específico de un gas ó vapor es la*

relacion entre su peso y el de un volúmen igual de aire en iguales condiciones.

El problema de la determinacion de las densidades de los sólidos y de los líquidos está reducido á conocer la relacion que hay entre el peso P del cuerpo propuesto y el P' de un volúmen igual de agua; el peso P, nos lo dará una balanza fiel; falta pues el de P'. Con tres aparatos, ó por tres diferentes métodos, se consigue, á saber: *la balanza hidrostática, el frasco de boca ancha y tapon esmerilado, y el gravímetro.*

124. Balanza hidrostática. Averiguado el peso P del cuerpo, por los procedimientos ordinarios, ó por el de dobles pesadas, si quisiéramos mayor exactitud, y sin quitar las pesas de su equilibrio, se ata con una seda fina y pendiente del gancho que el platillo de esta balanza lleva por la parte inferior y se sumerge en el agua destilada; con esta inmersión pierde de su peso tanto como pesa igual volúmen de agua, pérdida que se aprecia añadiendo pesas hasta volver las cosas á su primitivo estado. Determinado así P', la ecuacion siguiente dá la densidad: $D = \frac{P}{P'}$.

Cuando los cuerpos son solubles en el agua, se toma la precaucion de escoger otro líquido que no los disuelva, alguno de los aceites esenciales, el de trementina por ejemplo; de la ecuacion

$\frac{D}{D'} = \frac{P}{P'}$; sale $D = \frac{P}{P'} \times D'$; siendo D' la densidad del líquido auxiliar

respecto del agua destilada. En seguida se busca por el procedimiento anterior, la densidad D'' del cuerpo en el aceite, que es la

relacion $\frac{P}{P'}$, y multiplicada por la densidad D' del líquido auxiliar,

encontramos la del cuerpo, como si hubiéramos practicado las operaciones en el agua. Luego $D = D''D'$.

En los cuerpos permeables al agua, como la esponja, una variedad de ópalo llamada hidrófano, el carbon, etc., una parte del líquido que debiera ser desalojado se introduce en los poros, y los cuerpos no pierden de su peso todo lo que corresponde á su volúmen. Evítase parte de este inconveniente pesando los cuerpos reducidos á polvo

fino en un frasco de agua, donde se hacen hervir para que se desprendan las pequeñas burbujas de aire que hay entre sus poros. Si la ebullicion les altera, se estraee el aire con la máquina neumática. Otro método consiste en pesar el cuerpo: 1.º en el aire; 2.º en el agua, y 3.º otra vez en el aire, despues de haberse empapado bien: la diferencia entre el primer peso y el tercero es el peso del agua absorbida; añadida esta cantidad á la pérdida esperimentada por el cuerpo, dan la pérdida total que sin la porosidad ó permeabilidad hubiera esperimentado.

Los cuerpos mas ligeros que el agua se atan á otros bastante pesados para mantenerlos sumergidos. Conocida la pérdida que sufre por separado el mas pesado, y la de los dos reunidos, su diferencia es la pérdida del mas ligero, ó el peso de un volúmen de agua igual al del cuerpo flotante, que es el dato apetecido para determinar su densidad.

125. **Frasco de Klaproth.** No siempre tenemos á mano balanzas hidrostáticas de las que podemos hacer uso para hallar la densidad de los sólidos; con la mira de llegar al mismo resultado con las balanzas comunes, se toma un frasco de *boca ancha y tapon esmerilado*, y lleno de agua se pone con el cuerpo en un platillo, y pesas hasta el equilibrio en el otro: hecho esto se introduce el cuerpo en el frasco, vertiendo un volúmen igual de agua, cuyo peso falta despues para conservar el equilibrio; añadiendo pesas hasta conseguirlo, dan el valor de P' , y por consiguiente la densidad del cuerpo.

La exactitud de la operacion requiere que el tapon tenga un reborde para que no entre una vez mas ni menos que otra, un agujerito por donde salga el agua escedente, y que se enjугue el frasco con todo cuidado antes y despues de la inmersion del sólido.

126. **Gravimetro de Nicholson.** El aparato que lleva este nombre (fig. 85), es un cilindro A , terminado por dos conos que tienen por eje comun una varilla delgada, á la cual se une un platillo d en la parte superior, y un cono h invertido en la parte inferior con los pesos necesarios para mantenerle vertical, de donde reciben el nombre de *lastre*. Sobre la base del cono h , cae un enrejado k para detener á los cuerpos mas ligeros que el agua; y por último, hay en la varilla una señal n , llamada punto de *enrase*, has-

ta donde debe sumergirse el aparato, si ha de desalojar en todas ocasiones la misma porcion de liquido, que es el fundamento de su aplicacion.

Puesto el gravímetro en el agua destilada, se coloca el cuerpo en el platillo superior, y con él granalla ó perdigones hasta que enrase; si en este estado quitamos el cuerpo, el aparato se eleva, y para hacerle enrasar de nuevo es preciso sustituirlo con pesas conocidas; pesado así el cuerpo, con la exactitud del método de Bordá, por cuya razon los franceses le llaman *gravímetro* y nosotros *balanza*, y quitadas las pesas, se le lleva á la cápsula inferior; las pesas que necesita para enrasar otra vez dan el peso P' de un volúmen igual de agua, y la densidad buscada la ecuacion $D = \frac{P}{P'}$.

127. **Densidades de los líquidos.** Las densidades de los líquidos no presentan tantas dificultades como las de los sólidos, y es la razon que para tomar volúmenes iguales basta llenar un mismo vaso de todos ellos. Sea el frasco de Klaproth el que despues de *tarado*, se pese lleno de varios líquidos: alcohol, éter, mercurio, etc., dividiendo cada uno de estos pesos por el correspondiente al agua destilada, los cocientes espresarán las densidades de los líquidos propuestos.

128. **Balanza hidrostática** Pesado un cuerpo al aire libre y en varios líquidos, la pérdida que en ellos sufra de su peso será el de un volúmen liquido igual al del cuerpo sumergido; dividido el peso P , de cada liquido, por el P' del agua destilada, los cocientes son sus densidades.

129. **Areómetro de Fahrenheit.** Este aparato tambien es muy usado; tiene casi la misma figura que el de Nicholson, con la diferencia de no llevar en la parte inferior ni cápsula ni enrejado en donde sostener los sólidos. Necesario es, en este como en aquel, sumergirle siempre hasta el mismo punto de *enrase*; para ello, aparte del peso P del aparato, se añaden pesas hasta conseguirlo, pesas que son diferentes segun la naturaleza de los líquidos; sea por ejemplo P' para el alcohol, y P'' para el agua destilada, $P+P'$ será el peso de un volúmen de alcohol igual á la parte sumer-

gida, y $P+P''$ el de igual volúmen de agua, luego la densidad estará representada por $D = \frac{P+P'}{P+P''}$.

LECCION XXIX.

Teoria y objeto de los areómetros; su clasificación. — Pesa licores de Beaumé; su graduacion y empleo. — Alcoómetro centesimal de Gay-Lussac. — Pesa sales de Beaumé. — Areómetro universal. — Volúmetros y densímetros.

130. **Areómetros.** Los aparatos comprendidos bajo esta denominacion común son de tal naturaleza que *flotan* en los líquidos. Se dividen en *areómetros de volúmen constante*, y de *volúmen variable*. Los primeros *sirven* para ballar las densidades ó pesos específicos de los sólidos y líquidos, como los de Nicholson y Fahrenheit. Los segundos para *cóncocer* el grado de pureza de ciertos líquidos, y la proporcion en que entran los cuerpos de algunas mezclas. Estos últimos se dividen á su vez en *pesa licores*, si están destinados á líquidos mas ligeros que el agua, y en *pesa sales* ó *pesa ácidos*, si son para líquidos mas pesados. Suelen tomar además el nombre del autor ó la especialidad del uso á que se destinan.

Tanto los unos como los otros (figs. 85, 87, 88), están formados de una varilla vertical A, donde se traza la escala; de una parte B, mas ensanchada para desalojar el líquido que hace los aparatos flotar, y de un depósito inferior con cierto peso, llamado *lastre*, para mantenerlos en la posicion vertical.

131. **Pesa licores de Beaumé.** (fig. 86). En estos aparatos, como destinados á *líquidos mas ligeros que el agua*, la *escala va de abajo arriba*. Para ello se lastran de tal suerte que metidos en 90 partes de agua destilada y en 10 de sal marina dejen descubierta toda la varilla, marcando con el cero el plano de flotacion: en seguida, se pasan á una vasija con agua destilada, y á donde llega la superficie de nivel se pone el número 10; dividida en diez partes iguales la distancia entre estos puntos, y prolongadas las divisiones á todo lo largo de la varilla, queda la escala concluida. Cada division es un grado: el alcohol del comercio marca 65, y unos

45 el alcohol puro; el éter sulfúrico sube de 66 á 70. Aparte de la escala de Beaumé hay tambien en casi todos los aparatos la de Cartier, que es algo usada, si bien no tanto como la otra.

132. Alcoómetro de Gay-Lussac. Este aparato señala la cantidad de alcohol puro de una mezcla, con aproximacion de una centésima; y de aqui el llamarle *alcoómetro centesimal*.

Gradúase del modo siguiente: despues de lastrado para que en el alcohol puro oculte casi toda la varilla y la deje descubierta en el agua destilada, se escribe el número 100 á flor del primer nivel; acto continuo, se pasa á otra vasija con una mezcla de 95 partes de alcohol y de 5 de agua, y señalase el punto de enrase con el número 95; dividiendo el intervalo entre estos dos niveles en 5 partes iguales; practicando lo mismo con mezclas de 0,90; 0,85; 0,80... 0,15; 0,10; 0,5... de alcohol, y 0,10; 0,15; 0,20... 0,85; 0,90; 0,95 de agua está concluida la escala.

Para saber la cantidad de alcohol de una mezcla se sumerge en ella el aparato, y el número del nivel dice las centésimas que contiene de alcohol puro. En el aguardiente marca 56.º; en el alcohol 81.º; en el alcohol rectificado 85.º; es decir, que estos líquidos contienen 0,56; 0,81; 0,85 de alcohol absoluto.

133. Pesa sales de Beaumé. (fig. 87). La escala marcha en sentido inverso: *principia en la parte mas alta y concluye en la parte mas baja de la varilla*. El lastre está calculado para que así sucede, y el punto á donde sube el agua destilada es el cero de la escala; en seguida se pasa á otra vasija que tenga una disolucion de 85 partes de agua destilada y 15 de sal marina, y el nuevo punto de enrase es el número 15 de la escala; divídese la distancia entre estos dos puntos en 15 partes iguales, y se prolongan las divisiones á todo lo largo de la varilla.

Una mezcla salina, ó un ácido, son mas ricos y valen mas á medida que el arcómetro se sumerge menos. El ácido sulfúrico concentrado del comercio marca 66.º; el nítrico 56.º, y el clorhídrico 26.º

134. Arcómetro universal. El aparato que en el comercio corre con este nombre, reemplaza ventajosamente á los precedentes con una ligerisima modificacion. Consiste esta en disponer dos lastres, uno fijo y otro movable: en los licores lo empleamos con

un sólo lastre, en tanto que en los ácidos ponemos los dos. Las escalas son las de Beaumé, Gay-Lussac, y Cartier.

135. **Volúmetros y densímetros.** (fig. 88). En estos últimos años ha construido Gay-Lussac areómetros con la varilla dividida en partes de igual volúmen y en una relacion exacta con el volúmen total del aparato. El lastre ha de hacer que la varilla quede descubierta en el agua destilada para los líquidos mas ligeros, y sumergida para los mas pesados, marcándose el punto de enrase en ambos casos con el número 100. Acto continuo se introduce el aparato en otro líquido de densidad bien conocida, 45 por ejemplo de la del agua destilada, y se pone 125 en el punto de enrase; dividese esta distancia en 25 partes iguales, y se continúa la division hasta el fin de la varilla.

Ahora bien, como el peso del aparato es el mismo para todos los líquidos, sus densidades y volúmenes están en razon inversa; es decir que: $D:D':V':V$; y como en el agua destilada $V=100$, $D=1$, si en otro líquido $V'=n$, número á donde llegase el plano de nivel; la proporcion se trasformaria en la siguiente: $1:D':n:100$; de donde $D'=\frac{100}{n}$ y si $n=125$; $D'=\frac{100}{125}=0,8$; que es cabalmente la que habiamos supuesto para la graduacion. *Luego dividiendo el número 100 por el que señala el punto de enrase en otro líquido, el cociente dará su densidad.* Para líquidos mas densos el aparato se sumerge menos; de suerte que para $n=80$ sería $D'=\frac{100}{80}=1,25$. Con un segundo lastre movable sirve un solo aparato por todos los líquidos y de aqui el nombre de *volúmetro universal*.

Densímetro. Bien se deja conocer que antes de llegar á la densidad es necesario practicar una division aritmética; para evitarla se hace lo siguiente: de la proporcion $100:V':D':1$, sale $V'=\frac{100}{D'}$; dando á D' valores de décima en décima, ó de centésima en centésima, los números trazados en la escala representarán las densidades de los líquidos que los tengan por sus niveles. Haciendo dos escalas en la misma varilla con ayuda de un lastre adicional se tiene el *densímetro universal*.

HIDRODINÁMICA.

LECCION XXX.

Hidrodinámica.—Diferencia entre el modo de poner en movimiento los sólidos y los líquidos; de los diferentes problemas á que conduce el movimiento de los líquidos; que se entiende por orificio pequeño y que por pared delgada.—Teorema de Torricelli.—Deducir la fórmula del gasto teórico y principales verdades y aplicaciones á que conduce.—Aparatos para hacer constante el nivel.—Flotador de Prony.—Gasto práctico.—Contraccion de la vena fluida.—Forma y propiedades de la vena.

156. **Hidrodinámica.** La constitucion física de los líquidos hace que no permanezcan en equilibrio á no ser encerrados en recipientes naturales ó artificiales, y su movimiento tiene lugar cuando, por una causa cualquiera, desaparece ó no basta la resistencia de las paredes sobre que insisten. Una diferencia esencial se presenta entre el movimiento de los líquidos y el de los sólidos, á saber: que en los primeros con el esfuerzo que se turba el estado de una molécula basta para alterar el equilibrio de la masa entera, mientras que la fuerza de cohesion de los segundos impide á una molécula ponerse en movimiento, si todo el cuerpo no participa de él á la vez.

El movimiento de los líquidos puede ser en *lechos naturales ó artificiales; por tubos cerrados ó abiertos; salir por orificios grandes ó pequeños; y deber su origen á depósitos ó manantiales cuyo nivel permanezca constante ó vaya bajando hasta desocuparse.* En lo que sigue solo vamos á ocuparnos de la salida de los líquidos á *nivel constante, por orificios pequeños practicados en paredes delgadas, y por tubos adicionales, concluyendo con algunas consideraciones para cuando corran por rios ó por canales.*

Dícese que un orificio es pequeño cuando no escede de la vigésima parte de la estension del depósito; y que la pared es delgada si su espesor no pasa del semidiámetro del orificio.

157. **Velocidad con que salen los líquidos.** La velocidad con que los líquidos salen del depósito procede de la presión ejercida sobre las moléculas puestas en movimiento y que se renuevan sin cesar; y como esta presión para cada una de ellas solo viene de su distancia al plano de flotación, claro es que se puede representar por la fórmula $v = \sqrt{2gh}$. Esta verdad, conocida en la ciencia bajo el nombre de teorema de Torricelli, nos dice que la velocidad de un líquido es la que adquiriría un cuerpo sólido cayendo en el vacío de una altura igual á la distancia del centro de gravedad del orificio de salida ó la superficie de nivel.

Demuéstrase este teorema sirviéndose del aparato (fig. 83), en el cual se ve subir el agua en todos los vasos á la altura del depósito, tan luego como se abre la lleve de comunicacion (122). La propiedad que nos ocupa, es general para toda clase de líquidos; el alcohol, el agua, el aceite, el mercurio, etc., todos saldrían en el vacío con la misma velocidad, si la altura del depósito fuera comun. La velocidad se mide por el espacio andado en un segundo por una molécula que parte del orificio, suponiendo su movimiento uniforme. Si suponemos que corre un mismo líquido de dos vasos diferentes hallamos; $V:V': :: \sqrt{h} : \sqrt{h'}$; las velocidades adquiridas son proporcionales á las raíces cuadradas de las alturas de los niveles sobre los orificios de salida; de manera, que si estas se representan por los números 1, 4, 9, 16, n ; aquellas lo estarán por 1, 2, 3, 4, n .

158. La dirección del chorro ó vena flúida está ligada á las fuerzas que concurren en el orificio de salida; si éste se hace en la pared horizontal, el líquido cae verticalmente; pero si es en alguna de las laterales, entonces la acción simultánea del empuje de la masa flúida y de la acción de la gravedad, imprimen á la vena un movimiento curvilíneo en el que describe próximamente una rama de parábola.

Partiendo de cualquiera de estos dos casos, del primero por ejemplo, que es mas frecuente, el movimiento se propaga de molé-

cula en molécula, de capa en capa, hasta la superficie de nivel; el modo como una superficie reemplaza en su descenso á otra superficie, no es siempre el mismo; dos casos ocurren bien distintos: ó la vasija es cilíndrica (fig. 89), y entonces habiendo la misma estension en las superficies AB y A'B', el nivel desciende paralelamente á sí mismo, ó bien la forma es tal que una capa AB (fig. 90), siendo mayor ó menor que la que le sigue A'B', engendra un movimiento en todos sentidos y una mezcla de las capas fluidas que, cruzándose de mil maneras, cambian el paralelismo en una especie de embudo, cuyo vértice se apoya en el centro del orificio.

139. **Gastos teórico y práctico.** Admitido el caso del paralelismo de las capas, no es difícil averiguar la cantidad de agua que sale de un depósito, ó que pasa por una superficie dada, á que se dá el nombre de *gasto*. *El gasto calculado se llama teórico, y el que dán los aparatos destinados á medirlo gasto práctico.*

Con el fin de hacer el problema mas perceptible, supondremos el líquido congelado y que á cada instante se desliza una columna de hielo que tenga por base la superficie S del orificio, y por altura la velocidad V. Segun esto, el volúmen de la columna que pasa durante el primer instante, y el de todas, si la velocidad permanece constante, es $S \times V$; en el segundo instante pasará otro, y otro durante el tercero; y en general pasarán tantos volúmenes como instantes hay en el tiempo T, que el líquido esté corriendo; y observando que á una sucesion de instantes como los que entran en la continuidad del tiempo, ha de corresponder otra en las columnas de agua que constituyan una masa única, venimos para representar el gasto á la fórmula $G = S \times V \times T$; ó poniendo por V su valor, $G = ST\sqrt{2gh}$.

De esta espresion se desprende *que los gastos son proporcionales á las superficies de salida, á los tiempos que están corriendo los líquidos, á las raices cuadradas de las alturas de sus niveles y á las intensidades de la gravedad.*

La última propiedad, ó la proporcion $G:G' :: \sqrt{g} : \sqrt{g'}$; deducida de suponer superficies, tiempos y alturas iguales, manifiesta que saldría de una vasija mayor cantidad de agua en los polos que en el ecuador; al nivel de los mares que en la cúspide de una montaña;

y que conocida la gravedad de uno de estos puntos, con este sencillo aparato hallariamos su intensidad en todos los demás, midiendo los gastos que en ellos obtuviéramos en el mismo tiempo.

También sacamos de la espresion $G:G'::\sqrt{h}:\sqrt{h'}$, que los gastos guardan la relación de los números 1, 2, 3, 4, etc., cuando las alturas de los vasos son como sus cuadrados 1, 4, 9, 16...; propiedad que se comprueba con vasos que tengan igual base, igual orificio de salida, y cuyas alturas guarden la relación asignada.

En todo lo espuesto hemos admitido que el nivel permanece constante á pesar de la salida, por lo cual la velocidad es la misma en todos los instantes del movimiento; mas si el nivel bajase á medida que sale el agua, el movimiento se cambiaria de acelerado en retardado, y la fórmula del gasto estaria sujeta á otras consideraciones ajenas de este lugar, si bien los resultados guardarian todavia las relaciones establecidas.

140. **Flotador de Prony.** Varios son los aparatos de que se echa mano para conseguir un nivel constante: uno de ellos es el *flotador* de Prony; otro es el frasco de Mariotte, que describiremos mas adelante.

En la (fig. 91), AB es la vasija donde se echa el agua; *m* en tubo de comunicacion donde por ser de vidrio vemos la altura del nivel interior; *n* una llave para dejar salir el liquido; *ab* un flotador que se introduce en la vasija AB, y está unido por unas varillas verticales *r, r'* á otra vasija CD á la cual sostienen, y en donde se recoge toda el agua que sale de la primera; por último, los aparatos mas completos llevan en una de las caras laterales del depósito varios orificios con números que marcan su estension superficial, y la distancia del centro á la superficie de nivel. La inteligencia del aparato es sencilla: hallándose unidos el flotador *ab* y la vasija CD, al aumentar esta de todo el peso del agua que sale, lo trasmite integro al segundo, obligándole á sumergirse de un volumen igual al del agua que va saliendo, con cuyo artificio el nivel se conserva constante.

141. **Contraccion de la vena.** Midiendo el gasto *práctico*, ó *efectivo*, con este flotador, aparece siempre menor que el gasto *teórico* ó *calculado* con la fórmula: veamos cual es el motivo. Al

deducir la fórmula general del gasto, supusimos que las capas descienden paralelamente á sí mismas hasta el fondo de la vasija, segun se vé echando en el agua un poco de serrin; pero esta hipótesis está lejos de ser exacta en toda la estension de la palabra. Con efecto; en la parte mas baja (fig. 89), toman los filetes una direccion convergente hácia el orificio, en virtud de la cual se cruzan y chocan unos con otros; y ya por esta razon, ya por el rozamiento reciproco y con las paredes del orificio, y ya tambien por la pequeña adherencia que acelera unas moléculas y retarda otras, es lo cierto que hay una convergencia, una forma de embudo, que á la distancia de un semidiámetro del orificio, tiene la vena flúida una estension superficial menor que la de salida, llamada *contracción* de la vena ó *seccion* de la vena contraída.

La superficie de la seccion aparece tener próximamente los $\frac{5}{8}$ de la superficie del orificio; circunstancia importante por estar los gastos teórico y práctico en la misma relacion; de modo que la diferencia proviene de tomar para el cálculo una superficie de salida mayor que la verdadera, y de aquí el que la fórmula diera un gasto mayor que el de los aparatos; pero hecha la correccion oportuna, el gasto teórico es igual el gasto práctico cuya espresion es ahora $G = \frac{5}{8} ST\sqrt{2gh} = 0,625ST\sqrt{2gh}$. El gasto no depende de la forma del orificio, si no tiene ángulos entrantes.

142. **Forma de la vena.** La forma de la vena (fig. 92), llama atencion por componerse de dos partes distintas, á saber: *una fija, inmóvil y trasparante como una varilla de cristal, que nace en el orificio y se prolonga á cierta distancia de él; y de otra turbia, movable y compuesta de partes descontínuas, de diámetros mayores y menores, llamadas vientres y nodos;* los vientres pasan alternativamente de esferas á esferóides, con el diámetro ó eje mayor, tan pronto vertical como horizontal. La contraccion procede de que las moléculas de los bordes del orificio son detenidas un poco por el rozamiento, y como no llegan á la vez que las del centro, estas solas ocupan un espacio menor. La parte turbia nace de las vibraciones engendradas en el orificio; así que, tomando el unison de la vena con una membrana tensa y haciendo sonar un instrumento al mismo compás, la vena se modifica en toda su estension; la parte limpia

disminuye mucho de longitud, y se hace mas corta y regular la turbia, sin embargo de no sufrir por ello alteracion alguna el gasto.

LECCION XXXI.

Qué son tubos adicionales y qué tubos largos; cuando se dice que los líquidos corren por tubos cerrados ó á cielo descubierto; diferencia entre los líquidos que mojan y no mojan los tubos por donde corren.—Gasto que dan algunos tubos adicionales.— Medir el agua que lleva un rio, acequia ó canal; medios de hallar la velocidad de la corriente y la superficie de seccion.—Presiones que causan los líquidos en movimiento; molinete de reaccion.—Ariete hidráulico.

143. Tubos adicionales. Los tubos, espitas ó caños que se adaptan á los orificios de salida, dividen en dos clases que son: *tubos adicionales si su longitud no baja de un semidiámetro del orificio ni excede de cuatro á seis, y tubos largos cuando pasan de esta magnitud.*

Cualesquiera que sean las dimensiones de los tubos, conviene distinguir en ellos, si los líquidos los *llenan por completo*, ó si dejan algun *espacio desocupado*. En el primer caso se dice que los líquidos *corren por tubos cerrados*, y en el segundo que lo hacen á *cielo descubierto*.

Cuando el líquido moja el tubo, como sucede con el agua, se establece cierta adherencia entre la sustancia líquida y la sólida del tubo, por lo cual este se cubre de otro de agua estremadamente delgado, que destruyendo casi por completo el rozamiento, favorece la velocidad y el líquido corre á *boca llena*; si por la inversa el tubo no es mojado, el rozamiento crece con su longitud, hasta el punto que la velocidad puede ser nula.

144. El gasto suministrado por un orificio cambia notablemente con la forma y longitud de los tubos adicionales, aun en el supuesto de ser idénticas todas las circunstancias restantes.

Los tubos pueden ser cilíndricos, cónicos convergentes hácia la salida, ó divergentes. En todos influye la presion ó carga y las dimensiones del orificio. Eligiendo un término medio con el tubo A, (fig. 92) de igual forma que la vena flúida, el gasto teórico y el práctico son iguales. Con el cilindro B, el gasto es de 0,82. Con los có-

nicos varia segun el ángulo de convergencia; hasta unos 14.º es de 0,95; despues decrece y á 20.º es de 0,92; y puede llegar hasta 0,65. Con el divergente C, el gasto práctico llega á ser 1,46 veces el gasto teórico y hasta 2,4 veces el de un pequeño orificio circular en pared delgada.

De todo esto se desprende que en nuestra mano está alterar, ya en un sentido ya en otro, la cantidad de líquido que sale por un orificio, sin variar sus dimensiones; circunstancia que no debe olvidarse en el repartimiento de las aguas y en operaciones análogas, para no dar á un partícipe mayor cantidad de agua de la que le corresponde, en perjuicio de los demás; fraude conocido de los antiguos romanos y que concluyó por una ley. A esto es bueno añadir que el coeficiente de contraccion mengua cuando el orificio crece, y llega un caso para el cual es sensiblemente nulo; así que, aun en el supuesto de hacer los orificios de una estension proporcional á los derechos de los partícipes, el repartimiento no sería justo. La ciencia enseña que para evitar semejantes causas de error, basta hacer tantos orificios iguales con el centro á la misma altura como partes haya equivalentes á la menor, y dar á cada uno el número de orificios que le correspondan.

En el repartimiento de las aguas se toma por *unidad* la pulgada de agua. En Madrid se usa el real de agua y es igual al gasto de un orificio circular de 6,5 líneas de diámetro, bajo la carga de una línea sobre su orificio; en 24 horas vale 149 piés cúbicos, ó 6357,5 cuartillos; el peso es de 240 arrobas.

145. Cuando los líquidos corren por tubos de mucha longitud, como en los encañados de una poblacion, la velocidad va disminuyendo poco á poco hasta el punto de perjudicar el gasto. En su consecuencia, para evitar parte del rozamiento se procura que la cañeria no dé vueltas rápidas ni haga ángulos, sino que forme curvas poco marcadas. En los rios, canales, acequias, etc., sucede que al encontrar las aguas en su corriente algun obstáculo se entumescen ó ensanchan, mudan de direccion y la velocidad perdida en unos sitios la recobran en otros, y fuera de la evaporacion y de la infiltracion de los terrenos, la cantidad que entra por un lado, sale por el otro. En los parajes estrechos aumentan la velocidad y la profundidad, y

disminuyen en los anchos; á mucha profundidad y á mucha anchura de un rio, la corriente es casi nula, y siempre *la velocidad y la superficie de seccion están en razon inversa*; por eso los vados en los grandes rios deben buscarse en los sitios anchos y donde la velocidad de la corriente principia á avivarse, porque es casi seguro que el fondo no está lejos.

El agua que suministra un rio ó una acequia, se pueden calcular por medios sencillos y al alcance de todos, si la exactitud apetecida no es grande. Para ello hay que hallar la *superficie de la seccion de las aguas* y la *velocidad de su corriente*. Consíguese la primera teniendo una cuerda AB (fig 95) perpendicular á la corriente, dividida en partes iguales, y dejando caer por cada una de ellas una fuerte aplomada de cuerda, ó mejor, de alambre, se averigua lo que hay hasta el fondo, y se apuntan las distancias 1M, 2b, 3d; etc. restando de todas la parte 1M que la cuerda está mas alta que el nivel del agua, la diferencia mide la profundidad *ab, cd, ef*, etc. que tiene en todos estos sitios, con lo cual podemos construir la figura M' F' N', cuya superficie sería igual á la del corte hecho en el rio si de repente se solidificara. La velocidad se mide por el espacio andado en un segundo por un cuerpo flotante; una esfera de madera con algunos clavos para darle mayor estabilidad sumergiéndola mas. Tambien se mide por el número de vueltas que dá un molinete en medio de la corriente; por el empuje con que choca en la abertura de un tubo encorvado, ó por el agua que entra por un orificio circular en una caja perpendicular á la corriente. *El producto de la superficie por la velocidad dá el volumen que se busca.*

Es de advertir, que la velocidad de la corriente no es igual en todas partes; en el fondo y en las orillas la disminuyen el rozamiento de los muchos obstáculos que encuentra á su paso, y en la superficie el choque del aire; á cierta distancia de la superficie y hácia el medio de la corriente, es donde la velocidad llega á su máximo; en todo caso hay fórmulas que dan la velocidad media en funcion de la velocidad superficial.

146. Los líquidos en movimiento ejercen menor presion que en reposo. Si *h* es la altura de donde descienden, y *h'* la debida á su velocidad efectiva, la presion es igual á la altura *h—h'*. De aquí el

caso de la presión *negativa* cuando h es menor que h' . Adaptando (fig. 95) un tubo AB en el paraje de la contracción de la vena, el líquido colorado del vaso M, se eleva por él á cierta altura.

Molinete de reaccion. Cuando la salida de los líquidos es por una pared lateral ó por los extremos de un brazo horizontal AB (fig. 95), causan una presión en la parte opuesta debida á la reacción de la salida. El *molinete hidráulico ó de reaccion*, que representa esta figura, lleva una llave para establecer la comunicación del depósito con los brazos AC y CB en donde hay las aberturas m y n de direcciones opuestas; y tan luego como se abre la llave, el líquido sale por ellas, haciendo girar el aparato en sentido contrario de su dirección.

Para explicar lo que en él sucede, recordaremos que los líquidos ejercen presiones iguales contra las paredes de la vasija que están á la misma profundidad: ahora bien, en el momento que se abren los orificios m y n , las presiones que sostenian desaparecen, y quedando preponderantes las opuestas, engendran el movimiento. Si los orificios están á igual distancia del eje de rotación, forman un par de fuerzas cuyo brazo de palanca es uno de los brazos del tubo. Cuando las aberturas miran en el mismo sentido, los esfuerzos se neutralizan; y si no es mas que una desvia la vasija de la posición vertical en sentido opuesto al movimiento.

147. Saltadores. Cortado uno de los brazos comunicantes el líquido no dejará por ello de elevarse; mas verificándolo libremente en el aire constituye un *saltador*, ó *surtidor*; cuando la altura es poca y la salida muy abundante, recibe mas propiamente el nombre de *chorro*.

La altura á que debe elevarse todo saltador es, teóricamente, igual á la del depósito de donde procede; empero, el rozamiento contra las paredes del conducto, la resistencia del aire, el choque de las gotas que caen con las que suben, y otra multitud de circunstancias la modifican bastante. Por eso las fórmulas que relacionan estas alturas son empíricas y deducidas por resultados aislados; la que sigue, dará con aproximación la altura H del depósito, en funcion de

la H' del surtidor, por la espresion $H = H' + \frac{H'^2}{500}$

148. **Pozos artesianos.** Estos surlidores mas en grande, dán origen á los pozos *artesianos*, ó á los manantiales sacados de las entrañas de la tierra, con taladros mas ó menos profundos practicados en su costra sólida. Confirma la esperiencia que á cierta distancia de la superficie del globo circula bastante cantidad de agua, y que en muchos parajes sigue la direccion de una *capa arenosa* entre otras *dos de arcilla impermeables*, que forman, por decirlo así, un canal subterráneo. Si esta masa de agua comunica con un depósito alto, formado en alguna montaña por las lluvias, por las nieves de los ventisqueros ó por los deshielos, viéndose obligada á marchar por una madre tortuosa, *saldrá* sobre la superficie de la tierra tan luego como un taladro separe las capas arcillosas que se lo impiden. La constitucion geológica del terreno, su posicion topográfica respecto de las grandes cordilleras de montañas ó de los estribos que de ellas parten, dan indicios mas ó menos probables del éxito de las obras de esta naturaleza; algunos, empero, queriendo suponer que debe verificarse lo mismo en todas partes, abren en esta confianza los senos de la tierra, y en lugar de grandes manantiales de agua, para fertilizar y enriquecer posesiones enteras, solo encuentran carísimos y amargos desengaños que con tiempo debieran evitar asesórando con las personas competentes.

149. **Ariete hidráulico.** *Es una máquina destinada á la elevacion de las aguas de los rios, y cuya fuerza motora es la corriente misma.* Se compone (fig. 96) de un tubo BC puesto en la direccion de la corriente con dos válvulas *m* y *n*; la *m* se abre hácia adentro por su propio peso, y se cierra en sentido contrario por el empuje del agua; la *n* se abre en la direccion del recipiente D por la reaccion del agua, y se cierra por su peso y por la presion de los flúidos allí contenidos; y por último, hay un tubo DE atornillado cerca del fondo del recipiente por donde sube el agua.

Colocado el aparato de manera que la corriente entre por el tubo BC, al llegar á la válvula *m* la cierra con su impulsion, y encontrándose sin salida reobra con fuerza sobre toda la superficie interior del tubo, abre la válvula *n* y pasa cierta cantidad de agua al recipiente; con este motivo se produce un vacío en el tubo, se cierra la válvula *n*, se abre la *m*, y tratando la corriente de ocuparlo, repro-

duce los fenómenos ya explicados; cierra la válvula *m*, abre por su reaccion la *n*, pasa al recipiente para dejar un vacío en el tubo y obrar de nuevo como antes. De esta manera el recipiente *D* se va llenando de agua, y comprimiendo en su consecuencia el aire que hay en él, reobra sobre la superficie de nivel y determina la elevación de ella por el tubo *DE*. La altura es mas ó menos grande segun las dimensiones del ariete y la fuerza de la corriente del agua. En los gabinetes de física se reemplaza la corriente del agua por la velocidad que esta adquiere al descender del depósito *A*, que se añade al tubo horizontal con este objeto.

El ariete llega á producir 0,91 del trabajo á que equivale la fuerza de la corriente, cuando la altura á que eleva el agua es pequeña, y disminuye cuando esta se aumenta. El principal inconveniente de esta máquina es que los golpes repetidos de la válvula *m* destruyen con el tiempo el aparato y su reparacion es costosa. Interponiendo cueros preparados al efecto el choque se amortigua bastante, y se citan arietes de estar funcionando muchos años sin descomponerse.

AEREOSTÁTICA.

LECCION XXXII.

Aereostática.—*Mostrar experimentalmente la expansibilidad de los gases; condiciones de equilibrio de una masa gaseosa; del aire y de la atmósfera, movimiento de esta.*—*Hallar el peso del aire y las densidades del los gases.*—*Mostracion del principio de Arquimedes en la atmósfera: barómetro; explicacion de algunos hechos importantes.*—*Presion atmosférica; rompe-vejigas; hemisferios de Magdeburgo; proveta.*—*Tubo de Torricelli y pruebas de Pascal.*

150. **Aereostática.** Diferénciase el estado gaseoso de los otros dos, por su mayor compresibilidad; por la fuerza repulsiva que hay entre sus moléculas, y por la elasticidad; de donde viene que se diga con frecuencia *estado elástico* por *estado gaseoso*. Para demostrar la fuerza repulsiva de las moléculas gaseosas se introduce una vejiga con un poco de aire debajo de la campana de la máquina neumática, y en el momento que esta empieza á hacer el vacío, la

vejiga se hincha y aumenta bastante de volúmen; permitiendo la entrada del aire, la vejiga se aplasta y recobra el que tenia; es decir, que al cesar la presión exterior la fuerza elástica separa ó aleja las moléculas del aire encerrado, pero al restablecerse de nuevo vuelven á las distancias que tenían.

151. Equilibrio de una masa gaseosa. Las condiciones de equilibrio de los gases son *que una molécula cualquiera sufra presiones iguales y contrarias en todas direcciones*. Los gases transmiten en todas direcciones y con igual intensidad la presión ejercida en una parte de su masa; el esfuerzo comunicado es proporcional á la superficie que lo recibe. En la (fig. 97), en cuyos tubos hay mercurio, al introducir el piston P, el nivel es el mismo en todos ya sean gruesos ó delgados.

152. Atmósfera y aire. La *atmósfera es una cubierta gaseosa que rodea la tierra de unas doce leguas de altura*; está formada del *aire*, que es una *mezcla* de dos gases simples y permanentes llamados *oxígeno* y *azoe* ó *nitrógeno*; en la relación de 0,21 partes de volúmen del primero por 0,79 del segundo; ó 23,1 de peso por 76,9; de algunas milésimas del gas ácido carbónico, del vapor de agua de que se hacen las nubes, y de algunas otras emanaciones terrestres.

La atmósfera acompaña á la tierra y participa de todos sus movimientos; de lo contrario nosotros con el movimiento de rotación que llevamos chocariamos contra ella con una velocidad de 465 metros por segundo en el ecuador; para formar idea de la violencia del encuentro, bástenos saber que los huracanes mas terribles, aquellos que todo lo arrancan, derriban y destrozan, no escede la velocidad del aire de 50 á 60 metros.

153. Pesantez del aire. El aire y todos los gases son cuerpos pesados. Determinase su peso con un globo de vidrio A (fig. 98), provisto de un casquillo con su rosca para atornillarlo á la máquina neumática, y la llave *m* que impide ó establece la comunicación interior y la exterior. Pesado el frasco lleno de aire y vacío, la diferencia de estos dos pesos es el peso del aire encerrado; dividiendo el peso por el volúmen el cociente es su densidad. Elegida la densidad del aire por unidad, se halla la *densidad de otro gas*

cualquiera, dividiendo lo que pese un frasco lleno de él por lo que pese con aire, tomado en idénticas circunstancias.

Demostrada la pesantez del aire y de los gases, en ellos como en los líquidos habrá de verificarse el principio de Arquímedes; y aunque en aquella ocasion dimos una demostracion aplicable á todos los flúidos pesados, no dejaremos por eso de presentar aquí el experimento que lo comprueba en el aire.

El aparato destinado á este uso llamado *barómetro*, es una balanza de brazos iguales (fig. 99), de cuyos extremos penden dos pesos P y P' , que se equilibran en el aire; mas dentro de la campana donde se hace el vacío, el peso P de mayor volúmen vence al P' de volúmen menor. Consiste esto, que en el aire los dos cuerpos pierden de su peso otro tanto como pesa el volúmen de aire que desalojan; siendo el volúmen del peso P , mayor que el de P' , la pérdida que experimenta es mayor tambien, y al recobrarla en el vacío, arrastra al otro con el exceso.

Ahora se comprende sin dificultad la suspension de las nubes, de los globos aereostáticos, y otros cuerpos ligeros que flotan en el aire á pesar de la gravedad que trata de hacerlos caer; y consiste en que siendo su peso menor que el del aire, el empuje de este flúido les hace subir en la atmósfera, lo mismo que la madera nada en el agua y el hierro en el mercurio. Tambien encontramos con esto la explicacion de por qué Boile pesando una vasija llena y vacía de aire hallaba el mismo resultado; y así debia suceder pues aumentaba por un concepto lo que disminuía por el otro. Por eso para pesar el aire se usa un globo de vidrio y no una vasija de paredes flexibles que desalojen un volúmen igual al que contienen.

154. Presion atmosférica. Componiéndose la atmósfera de gases elásticos y pesados, naturalmente ha de ejercer cierta presion sobre los cuerpos en ellas sumergidos. Tómese para demostrarla el *rompe-vejigas* (fig. 100), que es un vaso A de vidrio, de forma cónica-truncada; la base menor se cierra con una vejiga bien atada á un reborde que tiene para este objeto, y una vez seca colócase por su base mayor sobre la platina de la máquina neumática; haciendo el vacío se vé la vejiga encorvarse de fuera adentro, por causa de la presion atmosférica; y llega la tension á ser tan fuerte, que puesta

en vibracion, dando un ligero golpecito con el dedo, se rompe repentinamente y la entrada súbita del aire produce un ruido como si fuera un pistolazo.

El experimento anterior hace evidente la presion vertical; pero el mismo resultado ofreceria para las presiones laterales si en este sentido se practicáran las aberturas; en vez de seguir semejante procedimiento, empléanse con ventaja los hemisferios de Magdeburgo (fig. 101), los cuales deben ajustar bien y cerrar herméticamente; conseguido en ellos el vacio con la misma máquina, valiéndose de la llave *m*, para establecer ó interrumpir la comunicacion con el aire, nos encontraremos con que para separarlos es menester una fuerza enorme, cualquiera que sea la posicion que tomen; luego la presion atmosférica, á mas de ser igual en todos sentidos, depende mas bien de la fuerza elástica que de la pesantez del aire.

Otro experimento hay que por lo sencillo y fácil de repetir en todas partes merece citarse; consiste en llenar una campanita de agua, cerrarla con un papel apretándole un poco para desalojar el liquido sobrante y evitar que se quede alguna burbuja de aire, volverla sin quitar la mano y separarla despues; hecho esto se vé que el agua no cae á pesar de su pesantez y de la debilidad del fondo que la sostiene; cosa inconcebible á no ser por la presion de la atmósfera.

El objeto del papel está limitado á impedir la entrada del aire á la par que la salida del agua; si el orificio fuese muy pequeño el experimento saldria aun sin él.

155. **Tubo de Torricelli.** El primero que demostró la pesantez del aire fué Torricelli, y lo hizo de la manera siguiente. Tómese un tubo de vidrio CD de una vara de largo (fig. 102), llénese de mercurio, ciérrase con el dedo índice para impedir su salida y la entrada del aire, é inviértase metiendo el extremo abierto en un vaso de mercurio sin quitar el dedo hasta que el extremo abierto quede debajo de su nivel; hecho lo cual el mercurio se mantiene en el tubo á la altura *m*, no obstante la accion de la gravedad. Repitiendo el experimento con tubos llenos de otros líquidos, las alturas son diferentes en todos ellos, y guardan entre sí la *razon inversa de sus densidades*. De esta manera concluyó el pretendido principio de que la naturaleza tenia horror al vacio, con que los antiguos espicaban

la elevacion del agua en las bombas y sifones. El tubo de Torricelli no es pues mas que un tubo de brazos comunicantes, en los cuales hay mercurio por una parte, y la presion atmosférica que gravita sobre la superficie del vaso por la otra. Añadiendo al aparato una escala que abrace toda su longitud cuyo cero coincida con el mercurio se forma el *barómetro de cubeta*. Para hacer aun mas patente aquella consecuencia, se le ocurrió á Pascal encargar á un cuñado suyo que subiera con el barómetro de Torricelli á la cordillera del Puy-de-Dome, de cuya expedicion resultó que la columna de mercurio iba descendiendo hasta llegar á la cima, y recobraba su altura al volver al llano; hecho que se comprende bien, pues las capas de aire que quedaban debajo del nivel del vaso no pesaban sobre él en lo alto, y si en la parte baja.

Reproducese el experimento de Pascal en las cátedras con el *recipiente de dos barómetros*, representado en la (fig. 103). La campana AB, está provista de un barómetro *mhn* que la atraviesa en *h*, cerrando herméticamente, y de un doble tubo *tsr*, ajustado en *k*, con mercurio en ambos brazos hasta el nivel *r*. Puesta la campana sobre la platina de la máquina neumática, y haciendo el vacío, el mercurio del barómetro *mn*, desciende en el brazo largo y se eleva en el corto, y en el tubo *tsr*, pasa lo contrario; baja en el corto y sube en el largo.

La esplicacion es la misma que dimos antes: á medida que se extrae el aire de la campana la presion atmosférica en *m*, vá disminuyendo, y por eso la columna de mercurio, á la cual equilibra, se deshace, hasta el punto que en el vacío perfecto el nivel estaria á igual altura en los dos brazos; por el contrario la presion en el tubo *ts*, disminuye con la falta del aire, y preponderando la de la atmósfera en *r*, pasa hácia él cierta cantidad de mercurio, y subiria á la misma altura de la cual desciende en el otro si el vacío se completara.

LECCION XXXIII.

Medir la presion atmosférica.—Barómetros; inconvenientes de los barómetros ordinarios de cubeta; barómetro de Fortin; inconvenientes de los barómetros ordinarios de sifon; barómetro de Gay-Lussac.—Barómetro aneroide.—Barómetro de Bourdon.—Barómetro-balanza.

156. **Barómetros.** Los barómetros son ciertos aparatos que sirven para medir la presion atmosférica. Los de mercurio son de dos clases; barómetros de cubeta y barómetros de sifon.

Los barómetros de cubeta, son aquellos cuyo tubo se sumerge en una vasija de grande estension superficial, y de la cual toman su nombre (fig. 102). Falta añadir una escala en pulgadas y líneas, ó en decímetros y milímetros, grabada en una lámina de metal cuyo cero coincide con la superficie de nivel; escala que solo principia desde unas 20 pulgadas en adelante, porque no es muy frecuente trasportarse á parajes de presion menor. Añádese un Nonius para tomar las alturas con la exactitud que semejantes observaciones requieren.

Hay en estos barómetros de cubeta dos causas de error; una debida á la capilaridad, que dejamos para mas adelante corregir, y otra que proviene de los cambios de nivel de la cubeta, y por consiguiente de la falta de coincidencia con el cero de la escala. En efecto, si aumenta la presion atmosférica, parte del mercurio de la cubeta sube al tubo dejando al cero mas alto de lo que debe estar; y si, por la inversa, la presion disminuye descendiendo del tubo á la cubeta, y el cero queda debajo de su nivel. La correccion que ocurre á primera vista, es dar á la cubeta gran seccion superficial para hacer menos sensibles estos cambios de nivel, pero es mucho mas perfecta la introducida por Fortin.

157. **El barómetro de Fortin** (fig. 104,) tiene el fondo de la cubeta de *piel de gamuza*, que es bastante flexible para adquirir esta ó la otra forma, y darle mas ó menos capacidad segun sea la presion atmosférica en el momento de la observacion: un tornillo *t*, hace subir ó bajar el fondo hasta hacer coincidir el nivel del mer-

curio con el cero de la escala. Para saber á punto fijo cuando llega este caso, hay una agujita de marfil unida á la cubierta de la cubeta, cuya punta está en el plano horizontal que pasa por el cero; y segun una propiedad óptica cuando las puntas de la aguja y de su imágen se toquen, el cero y el nivel del mercurio corresponden exactamente. Este barómetro está encerrado en una caja de metal y puede llevarse en los viajes, para lo cual se dán vueltas al tornillo hasta llenar la cubeta y el tubo de mercurio, para que no pueda entrar el aire.

138. **Los barómetros de sifon** tienen dos brazos: el mas corto está *abierto* y hace veces de *cubeta*, de donde viene el darle un diámetro mayor, á fin de hacer menos variable su nivel. El de Gay-Lussac (fig. 105), merece particular mencion. Está formado de dos brazos AB y CD, del mismo diámetro, unidos por otro BC mas capilar, de tal modo que el eje del mayor prolongado lo sea del menor; disposicion que le hace adquirir la posicion vertical bajo la influencia de la gravedad.

El tubo capilar está puesto con el objeto de evitar la entrada del aire; pero como todavia, en los trasportes y en los sacudimientos, solian colarse algunas burbujas de aire que, llegando á la cámara barométrica, destruian por su fuerza elástica la exactitud del aparato, Buntén ideó terminar el tubo mas largo DC, por un cono truncado cuya base menor *k*, es capilar, con el cual impide que aun en el caso de llegar el aire hasta allí, pase mas adelante, en razon á que deslizándose por entre el mercurio y las paredes de vidrio, va á parar al punto de union de los dos tubos y es por ellos detenido. Para hacerle salir basta invertir el aparato y agitarle ligeramente. En algunos hay la llave *m*, para no dejar salir al mercurio en los viajes, y en todos una caja de madera ó laton que les sirve de resguardo. La escala puede tener el cero á partir de una de las lineas horizontales XY ó X'Y', tiradas mas bajo ó mas alto que el nivel del brazo corto, y así las variaciones de nivel están sin efecto. Si la escala parte de la linea XY, la altura barométrica es igual á la diferencia de las columnas de los dos brazos; y si es de la X'Y' á su suma. Siendo indispensable la lectura de dos alturas en los barómetros de Gay-Lussac, las causas de error son mayores por este concepto,

pero en cambio ofrecen otras ventajas muy atendibles en los viajes.

159. **El barómetro anerode** difiere esencialmente de los de mercurio, si bien el principio en que se funda y sus aplicaciones son las mismas, con ligeras escepciones. *Consiste en una caja cilindrica de cobre purgada de aire, cuya cara superior es muy elástica y se encorva mas ó menos segun varia la presion atmosférica;* transmitidas estas variaciones de la capa á una aguja que se mueve sobre un círculo, ó esfera de reloj, y dividida la circunferencia en partes equivalentes á las alturas mercuriales de un buen barómetro, con el que se compara para su graduacion, la marcha del aparato es bastante regular y conforme con la de los barómetros de mercurio. La forma elegante y cómoda que se les dá no ha dejado de contribuir á que se generalicen entre los aficionados como indicadores del tiempo, y para medir alturas; mas científicamente no pueden sostener la competencia con los de mercurio, ni ser empleados en operaciones de importancia y crédito.

160. **Barómetro de Bourdon.** Este barómetro consiste principalmente en un tubo de laton encorvado en arco de círculo, de paredes muy flexibles y elásticas y un poco aplastadas, de manera que el corte presenta un elipse cuyo eje mayor es perpendicular á la curva. Hecho en él el vacío, tiene la propiedad de *arrollarse* cuando aumenta la presion exterior, y *desarrollarse* cuando disminuye. Estos movimientos se transmiten por palancas á una aguja que dá vueltas en una esfera dondó están las divisiones equivalentes á las alturas de un barómetro de mercurio, con el cual se compara para su graduacion. Las aplicaciones son las mismas que con el anerode al que se parece mucho por su forma exterior.

161. **Barómetro balanza del Padre Secchi.** El barómetro de cubeta ha recibido una disposicion enteramente nueva. El tubo está sostenido en el aire con el mercurio que contiene por el brazo de una balanza, y equilibrado con pesas en el platillo del brazo opuesto; cuando la presion de la atmósfera aumenta, el mercurio de la cubeta sube al tubo dándole un peso mayor, y si disminuye por el contrario el mercurio cae en la cubeta y su peso es menor; estas variaciones de peso se *miden* con las pesas que restablecen el equilibrio puestas en el otro platillo. Además, si se hace la aguja del

fiel bastante larga y en un arco de círculo se trazan los números equivalentes á las presiones de otro barómetro exacto, las oscilaciones de la balanza señalarán las variaciones de la presión atmosférica con mas facilidad que con los barómetros ordinarios.

LECCION XXXIV.

Aplicaciones del barómetro.—Presión ejercida por la atmósfera; presión que sostiene el hombre.—Aplicación del barómetro á la medición de alturas.—Altura y constitución física de la atmósfera.—Variaciones barométricas; variaciones regulares ó periódicas; variaciones accidentales.—Relación que hay entre la altura barométrica y el estado de la atmósfera; barómetro de cuadrante.

162. Aplicaciones del barómetro. Una de las aplicaciones del barómetro es medir la presión atmosférica; para ello se toma la altura que por término medio tiene la columna mercurial al nivel de los mares y es de 0,^m 760, ó de 35,2 pulgadas castellanas.

Sin embargo, en todo rigor *la presión que la atmósfera ejerce es igual al peso de una columna de mercurio que tenga por base la superficie del cuerpo que la sostiene y por altura la del barómetro en el momento de la observación.* Referida esta presión al nuevo sistema de pesas y medidas suministra una fórmula muy sencilla para calcularla con solo conocer la superficie. Con efecto, llamando P la presión, s la superficie del cuerpo, y h la altura del mercurio, se tiene la ecuación $P = s \times h \times 0,^m 760$; si en lugar del mercurio se pone agua, que es 13,59 veces menos densa, la altura correspondiente será (122), $P = s \times 0,^m 760 \times 13,59 = s \times 1035$ centímetros; suponiendo referida también la superficie s , á centímetros; y pesando un centímetro cúbico de agua destilada un gramo, la fórmula anterior se reduce á la siguiente: $P = 1035 \text{ gr} \times s$; poniendo en lugar de s , la superficie de la tierra, hallaremos la presión total de la atmósfera; y regulándose la superficie total del hombre en unos 12000 centímetros cuadrados el peso con que lo comprime el aire pasa de 12400 kilogramos, y de 50000 libras castellanas; presión inmensa que solo resistimos por la elasticidad de los fluidos que circulan por todo nuestro cuerpo.

163. **Medicion de alturas.** El barómetro nos presta el medio de medir la distancia vertical que hay entre dos puntos; bien sean una llanura y la cúspide de una montaña, ó la entrada y el fondo de una mina. Para conseguirlo se toma la altura del barómetro en los dos puntos mencionados y se resta una de otra, y en seguida se multiplica la diferencia por 10464 que es la relacion entre la densidad del aire y del mercurio. De suerte que por cada milimetro que baje el barómetro subimos verticalmente 10464, ó 10,5 metros próximamente; y por el contrario, si al bajar á una mina el barómetro marcara un milimetro menos que á la entrada, la profundidad sería de 10, m 5.

Altura y constitucion fisica de la atmósfera. Si la atmósfera fuera homogénea por todas partes, su altura no excederia de 10464 veces la del barómetro, cantidad bien insignificante comparada con la de 11 á 12 leguas que le dan cálculos mejor fundados; pero no sucede de esta manera, porque las capas de aire en la parte alta de la atmósfera son mucho menos densas que en la superficie de la tierra, segun lo prueba el descenso del barómetro en los viajes aereostáticos. Aparte de este resultado esperimental se esplica tambien suponiendo la atmósfera dividida en capas paralelas desde su base hasta el fin; cada una de ellas sostiene el peso de las que tiene sobre sí, peso que está en su máximum en la primera cubierta del globo y decrece hasta el último velo de la atmósfera donde es nulo. La misma ley sigue la fuerza elástica, y por ello el aire está tanto mas enrarecido cuanto mas lejos se tome de la superficie de la tierra.

164. **Variaciones del barómetro.** La atmósfera está sujeta á tantos cambios y por tantas circunstancias á la vez que es muy difícil, por no decir imposible, señalar las verdaderas causas de sus perturbaciones continuas. Para convencerse de ellas es suficiente observar el barómetro cuya altura oscila sin cesar, y por el sentido y el valor de sus oscilaciones conoceremos la magnitud de las conmociones del océano aéreo que nos rodea.

Las oscilaciones del barómetro son de dos clases: *regulares*, *periódicas* ú *horarias*, y *accidentales*.

165. **Variaciones regulares.** *Las variaciones periódicas son aquellas que se verifican todos los dias á la misma hora.* En

el ecuador son bastante marcadas para conocerlas en pocos dias. Siguiendo la marcha del barómetro adviértese que su altura marca en un solo dia dos *máximos* y dos *mínimos*. El primer máximo á las 9^h,57' de la mañana, y el otro á las 10^h,11' de la noche. Los mínimos son á las 4^h,5' de la tarde el primero, y á las 3^h,45' el segundo. La diferencia entre la altura máxima y la mínima del dia ó de la noche, se llama *la amplitud de las oscilaciones*. La que hay entre las alturas del dia, que es siempre mayor que la de la noche, constituye *el gran periodo*. Las horas de los máximos y mínimos parece que son las mismas en todo el hemisferio boreal, pero varian con las estaciones. La amplitud de las oscilaciones depende de la *latitud*, de la elevacion sobre el nivel del mar, ó de la *altitud*, y de las estaciones. En el ecuador es mayor que en otro lugar del globo, y decrece hácia los polos; á los 60° ya las variaciones horarias son inapreciables, pero mas allá de 70° aparecen de nuevo, si bien en sentido contrario; es decir, que á las horas de los máximos son los mínimos y al revés. En los parajes elevados la amplitud es menor que al nivel del mar, y para cierta altura las oscilaciones deben ser nulas. La amplitud crece desde el invierno hasta los meses de junio y julio y decrece hasta el invierno.

165. Varias hipótesis se han imaginado para esplicar los máximos y los mínimos de la presión atmosférica, y ninguna satisface las exigencias de la ciencia; suponen unos que son debidos á la atraccion del sol y de la luna; otros á la diferente cantidad de agua que hay en la atmósfera segun la hora del dia... y por último, otros á la mayor ó menor altura de la columna aérea que por efecto del calor solar gravita sobre el barómetro; que es la mas verosimil por la fuerte razon de ser *inversa la marcha de las rosas barométrica y termométrica*; mas claro, por *oscilar siempre en sentido inverso el barómetro y el termómetro*, de forma que á mayor temperatura corresponde menor presión y al revés.

166. **Variaciones accidentales.** Estas variaciones, como su nombre ya lo indica, no se sabe que estén ligadas á ley alguna. Los vientos fuertes, los cambios repentinos de temperatura, las lluvias, las tormentas, los terremotos, y en general los grandes trastornos de la atmósfera, ponen siempre á la columna mercurial

en movimiento. Sin embargo, la amplitud de las variaciones accidentales es mayor en el invierno que en el verano, y aumenta de una manera bien perceptible con la latitud. En el ecuador el barómetro permanece casi estacionario en muchos cambios atmosféricos, pero cerca de los polos no tienen lugar sin que el barómetro lo señale. Por el contrario, á mayor altura sobre el nivel de los mares, las variaciones irregulares no son tan marcadas.

167. **Presion media.** Llámase *presion media del dia* del barómetro, la que resultaria de dividir por 24 la suma de las alturas tomadas de hora en hora. La *altura media del mes* se halla dividiendo la suma de la media de todos los dias por el número de ellos; y la del año tomando la *dozava parte* de la suma de las medias mensuales. La *altura media* de cierto número de años, calculada por el mismo método, dá la *altura media barométrica* del paraje donde se hayan practicado las observaciones. La altura media del dia se halla tambien por la semisuma de la máxima y mínima diurnas; por la cuarta parte de la suma de las cuatro alturas extremas; y tambien, aunque no con tanta exactitud, por una observacion á las doce del dia. La altura media del barómetro al borde del mar es de 0,^m 760; á lo menos, esta es la altura que se toma generalmente; pero no debe olvidarse que depende de la latitud: crece regularmente hasta los 58° y decrece despues; para Francia y España es de unos 0,^m 761. La altura media del barómetro difiere de una poblacion á otra por próximas que estén. Depende sobre todo de la altura sobre el nivel del mar y disminuye con ella; de las variaciones horarias, y accidentales de la localidad.

168. **Indicaciones del tiempo.** El barómetro anuncia con cierta anticipacion los cambios atmosféricos que dan por resultado el buen tiempo, la lluvia ó el viento. Estos anuncios no están ligados á lo que pudiéramos llamar la localidad de la observacion; porque está hoy probado que se dejan sentir á una distancia de 80 leguas. Por eso no se debe poner una confianza ciega en las señales de la altura barométrica, pero tampoco mirarlas con desden; pues es bien seguro que subidas ó bajadas repentinas del barómetro son la consecuencia indispensable de trastornos profundos en la atmósfera. Si el barómetro sube á mayor altura que la *presion media* es señal

de buen tiempo; si baja, lo anuncia malo; lluvia, vientos, huracanes.... Si permanece alrededor de la presión media, está en la *variable*; y si el barómetro se sostiene en una misma altura, se dice que está en *tiempo fijo*, y no debe esperarse que varíe en ningún sentido. Para cada localidad hay que hacer observaciones especiales sobre la dirección de los vientos, la de las montañas, la marcha del termómetro y la altura barométrica. En España por regla general llueve con los vientos SO y NO; y se despeja con los de N y NE.

El *barómetro de cuadrante* (fig. 106), está fundado en lo que acabamos de decir; compónese de un barómetro de sifón que lleva en el brazo abierto el pesito s , unido por medio de una seda que pasa por el cuello de la garganta de la polea C, con otro peso r un poquito menor. Cuando la presión aumenta el mercurio empuja el peso s y la polea gira en un sentido, mientras que cuando disminuye dejándole caer, lo hace en el opuesto. Poniendo perpendicularmente al eje de la polea la aguja CD, participará de los mismos movimientos, y calculando por comparación de otro barómetro exacto y por observaciones reiteradas, el tiempo que hace á ciertas alturas barométricas, podemos espresarlo así sobre la esfera.

LECCION XXXV.

Máquina neumática: partes principales y explicar cómo funcionan; válvulas cónicas: establecimiento de los dos cuerpos de bomba.—Por qué el vacío no es completo: medios de conocer el aire estraido.—Cómo se mide la tensión del aire interior; proveta.—Máquina de compresión; manómetros.—Piston impelente; fuerzas de compresión.

169. **Máquina neumática.** La máquina neumática, de que tanto uso hemos hecho en las lecciones anteriores, fué construída hácia el año de 1650, siete ú ocho años despues del descubrimiento del barómetro. Las modificaciones introducidas en ella desde entonces hacen que sea uno de los aparatos más perfectos y necesarios en un gabinete de Física.

La supondremos para mayor facilidad, reducida á sus piezas más esenciales que son las siguientes: un cilindro vertical AB (fig. 107), de vidrio ó de latón, llamado cuerpo de bomba, dentro del cual se

mueve otro macizo P que ajusta perfectamente dicho émbolo ó piston: comunica todo esto por el tubo CDE, con un recipiente ó campana M, de donde deseamos estraer el aire, con cuyo fin se pone sobre la superficie circular y horizontal FG llamada *platina*, que es de vidrio pulido con esmeril. Algunas veces la campana M, se reemplaza por un globo que se atornilla á una rosca que hay en E.

Entre el cuerpo de bomba y el tubo de comunicacion hay la válvula S, que se abre de abajo arriba y se cierra en sentido contrario; y otra S' en el émbolo que tiene el mismo juego: entendido esto veamos como funciona. Supongamos el piston en la parte mas baja de su curso; al elevarle produce un vacío debajo de sí que ocupa el aire del recipiente, levantando para ello con su fuerza elástica la válvula S: al descender el piston comprime el aire del cuerpo de bomba, el cual aumentando de fuerza elástica cierra la válvula S, abre la S' y pasa á la atmósfera; volviendo á elevar el piston P, deja otra vez un vacío en el cuerpo de bomba que ocupa el aire del recipiente, para pasar á la atmósfera por el descenso de aquel; repitiendo una y otra vez la operacion, conseguiremos estraer casi todo el aire del recipiente.

El vacío no podia ser muy grande con esta máquina porque el aire debía levantar la válvula S, venciendo el rozamiento y su peso, y en el momento que la fuerza elástica del aire encerrado llegaba á ser igual á dichos obstáculos, la estraccion concluia aun cuando continuase el juego del piston.

Se remedia dicho defecto con las válvulas cónicas, formadas de una varilla *vt* (fig. 107), terminada por el cono truncado *v*, cubierto de cuero, y cuya base menor se dirige en frente de la abertura del tubo de comunicacion, la varilla pasa ludiendo por el émbolo, y al bajarle la empuja con el rozamiento y cierra con el cono el canal de comunicacion; al subir el piston arrastra la varilla y descubre la abertura, pero esta se detiene pronto á causa del tope que le impide elevarse mas, continuando el piston su movimiento sin dificultad alguna ludiendo por la varilla. Al bajar se repite lo mismo, y con este sencillo mecanismo abre y cierra la válvula el mismo movimiento del émbolo. La válvula S', que deja salir el aire del cuerpo de bomba á la atmósfera, suele reemplazarse por otra cónica, que se cier-

ra por su propio peso y se abre por la elasticidad del aire.

Las máquinas de un solo cuerpo de bomba tenían el inconveniente que para hacerlas funcionar habia que vencer el rozamiento y la adherencia del piston con el cuerpo de bomba, y la diferencia entre la elasticidad del aire interior y la presion atmosférica; estas últimas fuerzas al principio son iguales, mas á medida que se hacia el vacío la elasticidad interior se hacia casi nula y entonces para subir al piston habia que vencer el peso de la columna de aire que gravitaba sobre él.

Las máquinas de dos cuerpos de bomba son bien preferibles; porque además de estraer el aire doble mas pronto, la presion de la atmósfera siendo igual sobre los dos pistones, tiene una resultante que pasa por el apoyo de la palanca con que se ponen en movimiento y se destruye; y solo queda el rozamiento y la diferencia de elasticidad entre el aire de las dos bombas que es de todo punto insignificante. La disposicion es sencilla: los dos cuerpos de bomba comunican con el recipiente, y se ponen en juego los pistones haciendo engranar sus cremalleras con una rueda dentada movida por un doble manubrio aplicada á su cilindro.

170. El vacío nunca es total ó perfecto por esmerada y buena que sea la construccion de la máquina; ya porque una parte del aire del cuerpo de bomba vuelve al recipiente antes de que lo impida la válvula, ya tambien porque el volúmen del aire del recipiente se divide en dos partes, una de las cuales permanece siempre dentro de él. Para saber el aire que queda despues de cierto número de pistonazos, seria preciso determinar la relacion de los volúmenes del cuerpo de bomba y del recipiente, y formar segun la ley de Mariotte una proporcion en cada pistonazo. Simplificaremos esto mismo admitiendo que las capacidades de dichas bombas son iguales, y entonces el primer pistonazo estraerá la mitad del aire del recipiente; el segundo, estraerá la mitad del que hay, ó la cuarta parte de lo primero, el tercer pistonazo lo hará de la octava parte, y en restímen la cantidad del aire estraída estará representada por la série convergente: $1/2 + 1/4 + 1/8 + 1/16$, etc.; que no llega á la unidad. La série anterior manifiesta que la porcion de aire estraído está en su máximum en el primer pistonazo, y disminuye rápidamente con el número de ellos.

Es bastante difícil que la base del piston ajuste á la de la bomba, y si el espacio que hay entre ellas fuese la centésima parte del volumen de aquella, el agotamiento solo podria llegar hasta que la elasticidad interior fuese cien veces menor que la atmosférica. Babinet ha imaginado una modificacion importante con la cual llevamos el vacio mas lejos, y consiste en poner una llave en el piston de la derecha que establece su comunicacion con el de la izquierda y la interrumpe con el recipiente: al subir el piston de la izquierda pasa el aire del recipiente á su cuerpo de bomba, y al bajar lo dirige al de la derecha, el cual lo esparce en la atmósfera en el movimiento inverso. De esta manera el piston de la izquierda dilata el aire del recipiente, y el de éste el de la derecha. Llámase el método espuesto de *doble agotamiento*.

Hoy dia han principiado á ponerse en juego máquinas de *doble efecto*; es decir, máquinas que hacen el vacio con los dos pistones tanto en la subida como en la bajada; por demás está añadir sus ventajas en determinados experimentos.

171. Proveta. No estando en nuestra mano llegar al vacio perfecto, conviene saber hasta qué punto lo hemos conseguido; con este fin se usa el *barómetro truncado* ó de *proveta*. La (fig. 108) lo representa. Los dos brazos MNP son de 6 á 7 pulgadas de largo; el MN se llena de mercurio bien purificado, y despues se hierva ligeramente para desalojar alguna particulita de aire ó humedad que pudiera estar pegada á las paredes del tubo; el aparato se fija á una plancha de metal donde están dos escalas, una para cada brazo. El extremo cerrado M debe ser grueso para resistir el empuje del mercurio, que obra de abajo arriba con una fuerza igual á la diferencia entre la columna mercurial MN y la del barómetro. Pongamos el aparato cerrado por una pequeña campana en comunicacion con el recipiente: estrayendo el aire llegará un caso para el cual el mercurio descenderá del brazo MN y se elevará en NP, indicando su movimiento la marcha de la operacion; en el vacio perfecto las columnas serian iguales, y en las máquinas actuales con el doble agotamiento la diferencia no escede de un milimetro.

172. Máquina de compresion. Manómetros. Haciendo que las válvulas se abran de la atmósfera al recipiente, el aire

entra en vez desalir, y la máquina se llama de *compresion*. Empleáanse estas máquinas para introducir mucho gas en poco volumen y alumbrarse con él; para saturar de ácido carbónico las bebidas gaseosas; para los sopletes y máquinas sopladoras; en el fusil de viento en el cual el aire encerrado reemplaza la pólvora, y es posible tirar muchos tiros que no hacen ruido con una sola carga.

Para saber en las máquinas de compresion la fuerza elástica del aire ó del gas encerrado, y la tension del vapor de agua en las máquinas de vapor, se usan los *manómetros*. Los manómetros pueden ser de *aire comprimido* y de *aire libre*. Los primeros no son otra cosa que tubos de Mariotte, de esta ó de la otra forma, que comunican con el gas comprimido, y segun á la altura á que en ellos sube el nivel del mercurio (16), sabremos si la presion es de 1, 2, 3, ó n atmosferas. La (fig. 109) representa uno de ellos. El gas entra por la abertura *A* abriendo la llave *m*, oprime la superficie del mercurio en *B* y le hace subir por la opuesta. Los de aire libre se reducen á tubos de brazos comunicantes abiertos por los dos extremos; al mas corto se aplica la fuerza del gas y por la columna de mercurio que sostiene se mide su elasticidad. Cuando se aplican á las máquinas de vapor hay que tomar muchas precauciones por causa de la elevacion de temperatura.

Manómetro de Burdon. Este aparato está fundado en el mismo principio que el barómetro (160), y su forma es casi igual; solo que el tubo está arrollado en espiral y comunica por un extremo con el gas ó vapor encerrado, y el otro queda libre. Las variaciones de la fuerza elástica se transmiten á una aguja que recorre un círculo donde están los números de las presiones atmosféricas que representan. Este aparato constituye para las locomotoras un verdadero progreso.

175. **El piston impelente** viene á ser una parte de la máquina de compresion; es decir, un piston macizo (fig. 110) y un cuerpo de bomba con su válvula que se abre de arriba abajo. Es de uso necesario en la *fuenta de compresion* (fig. 111); formada de una vasija *AB* de paredes resistentes, con un tubo *CD* que llega desde la parte superior hasta cerca del fondo; á este tubo se atornilla el piston impelente, y si despues de haber echado de agua, como los dos tercios de la capacidad de la vasija, se inyecta aire con él hasta

que llegue su elasticidad á tres ó cuatro atmósferas; puestos los saltadores y abierta la llave *m* de comunicacion, el agua sube á bastante altura, mas ó menos graciosamente segun la disposicion de los orificios de salida. El agua permanece saltando aunque cada vez con menos fuerza, mientras el extremo *D* del tubo no quede descubierto y permita la salida de el aire.

LECCION XXXVI.

Bombas y su division; descripcion y teoria de las aspirantes; longitud del tubo de aspiracion; presion que hay que vencer.—Bombas impelentes sin depósito y con depósito: émbolos con válvulas para evitar la presion atmosférica.—Bombas sin piston.—Prensa hidráulica; medios de sustituir un piston con otro.

174. **Bombas.** Las bombas son unos aparatos destinados á la elevacion de las aguas. Conocidas mucho antes del descubrimiento del barómetro, las esplicaban los antiguos por el pretendido principio que la naturaleza tenia horror al vacío (155).

Dividense en *bombas aspirantes*, en *bombas impelentes*, y en *bombas mistas*, ó *aspirantes impelentes*.

175. **Las aspirantes** llevan unido al cuerpo de bomba *AB* (fig. 112), el tubo *CD*, llamado de *aspiracion*, interceptando ó estableciendo su correspondencia la válvula *S*, que se abre de abajo arriba, á la que es en un todo igual la *S'* del piston. Para servirse de ellas, se introduce el tubo de aspiracion en el depósito de agua *MN*. Si el émbolo se halla en la parte mas baja de su carrera, al subirle produce un vacío en el cuerpo de bomba que llena el aire del tubo de aspiracion, levantando para ello la válvula *S*, que se cierra despues por su propio peso. Dilatado el aire del tubo, no hace equilibrio á la presion de la atmósfera que gravita libremente sobre la superficie de nivel, y el agua se eleva interiormente hasta compensar con su altura la pérdida de elasticidad que aquel ha experimentado; al bajar el piston el aire pasa á la atmósfera; volviendo á subirlo el aire se enrarece mas aun, y el agua continúa su marcha ascensional. Al cabo de cierto número de pistonazos, el agua gana por fin toda la altura del tubo, pasa al cuerpo de bomba, de aqui sube sobre el

piston por la presión de este, para ser elevada con él y salir por el orificio lateral k. Las válvulas S y S' las cierra el agua con su peso.

Es conveniente recordar que el agua se eleva por la presión atmosférica; presión limitada al peso de una columna de agua destilada de unos 35 pies de altura al nivel de los mares; y si diéramos al tubo de aspiración mayor longitud, el agua no se elevaría como en la ocasión que motivó el descubrimiento del barómetro. A esto hay que añadir la influencia de las variaciones atmosféricas, la de las alturas donde estén las bombas, la mayor densidad de las aguas de los pozos ó de los manantiales, por las muchas sustancias que las impurifican y el fango que hay otras veces; por todo lo cual aconsejan la experiencia y la razón que no se dé al tubo de aspiración una longitud superior á 24 ó 26 pies, precaución que asegura el buen éxito de la máquina hasta en los casos mas desfavorables.

Al subir el piston hay que vencer, aparte del rozamiento, el peso de una columna de agua que le tiene por base, y por altura la distancia del nivel superior al depósito. La potencia se aplica á una palanca mas ó menos grande segun el esfuerzo que sea preciso desenvolver.

176. **Las bombas impelentes** (fig. 113), solo tiene el cuerpo de bomba AB con la válvula S en el fondo, y la S' en el émbolo. Sumergida en el depósito cuyo nivel sea MN, el agua por su empuje abre la válvula S y pasa el cuerpo de bomba; al bajar el piston la comprime, cierra la válvula S, abre la S' y sube sobre la cara opuesta de este para ser elevada con él, y salir por el orificio lateral k. El piston es algunas veces macizo, la válvula S' pasa á un tubo lateral (fig. 114), abriéndose como siempre de adentro afuera, y cerrándose en sentido opuesto impide al agua volver al cuerpo de bomba. En el juego del piston hay que contrarrestar la presión atmosférica; mas poniendo la válvula S'' que se abre de afuera adentro, al subir el piston entra por ella el aire á equilibrarla; al bajar se cierra con la resistencia del agua. La salida del agua es alternativa, ó cuando el piston sube ó baja, pero puede convertirse en continua agregando el recipiente R que la almacene, y dando al tubo de salida menor diámetro que al de entrada. La válvula S' se traslada al fondo del recipiente y se hace cónica, y el tubo llega muy abajo

para que el aire encerrado no salga por él, y disminuyendo de volumen por la entrada sucesiva del agua, aumenta de fuerza elástica y la obliga á salir por el tubo vertical RK.

Bombas de incendios. Las bombas impelentes son muy usadas para apagar los incendios, sirviendo de recipiente un tonel fijo en un carro donde se trasportan. Hay dos cuerpos de bomba en vez de uno, que comunican con un recipiente comun de grandes dimensiones, y los émbolos son movidos por palancas que favorecen mucho la accion de la potencia. El tubo lateral es una manga de cuero flexible, para que pueda dar las vueltas indispensables hasta llegar al paraje donde el chorro debe apagar los efectos devoradores del fuego.

177. **Bombas mistas.** Añadiendo á las bombas impelentes el tubo de aspiracion, ó á las aspirantes el piston impelente, tenemos las *aspirantes impelentes* (fig. 115). El uso á que se destinan es á elevar el agua á bastante altura; mas la preferencia de las unas sobre las otras la determina el paraje en que se establezcan y la clase de trabajo que hayan de desempeñar.

Las bombas se construyen tambien sin piston macizo, ó se reemplazan por una disposicion semejante á los *fuelles de fagon*. Si al oido del fuelle (fig. 116) se adapta un tubo de aspiracion, el agua se elevará en él por efecto del vacío producido, y despues de ganar toda su altura será espulsada del mismo modo que el aire. La máquina funcionaria mejor poniendo una válvula en el conducto de salida que se abriese de adentro afuera, y que la cerrase el aire sin poder entrar á ocupar el vacío del fuelle, dejando de esta suerte mas espedita la accion del tubo de aspiracion.

178. **La prensa hidráulica, viene á ser una bomba aspirante impelente que dirige el agua á un segundo cuerpo de bomba de grandes dimensiones moviendo el émbolo con su esfuerzo.**

Aplicando una fuerza al piston impelente P, trasmirá (fig. 117) al piston P' una presion proporcional á la superficie de su base, porque $P:P'::S:S'$. Es decir, que si la superficie del piston P' es 10, 100, 1000 veces mayor que la del piston P, con una fuerza como uno aplicada á este último, conseguiremos transmitir una presion 10, 100, 1000 veces mayor á la cabeza de otro. Á esto agregaremos

que la potencia obra con el brazo de palanca AC mucho mayor que el CB de la resistencia.

Esta máquina presta excelentes servicios reduciendo el volumen de los objetos de transporte, muy especialmente en todo clase de embarcaciones, extrae los aceites con gran aprovechamiento, y es de un uso general en operaciones semejantes. Para ello está el platillo superior bien sujeto á unas columnas de hierro contra el cual son comprimidos los objetos que descansan sobre la cabeza del émbolo. Hay además un mecanismo sencillo que facilita el medio de cambiar el piston impelente por otro de base menor, favoreciendo la potencia en el momento que con el primero no se consigue mayor efecto; hay válvulas de seguridad que se abren de adentro afuera, por donde sale el agua cuando la presión excede de ciertos límites, y preservan la máquina de los peligros de una fuerza superior á la resistencia. Las presiones son medidas en todo caso por manómetros convenientemente dispuestos.

LECCION XXXVII.

Teoría y uso de los sifones; vasos de tántalo.— Explicación de las fuentes periódicas naturales.— Fuente intermitente.— Pipeta ó catalicores y jarros mágicos.— Fuente de Heron.

179. **Los sifones**, son tabos encorvados abiertos por ambos extremos con destino á trasegar líquidos, (fig. 118).

Supongamos la vasija AB de donde vamos á sacar el líquido con el sifon ACE; para ello, se sumerge un extremo en el líquido y se hace el vacío en el tubo con una succión en el otro; la presión atmosférica gravitando sobre la superficie del nivel determina la elevación del líquido á todo lo alto del tubo y sale por el extremo E sin interrupción hasta agotar la vasija.

La altura DC, del vértice del sifon sobre el nivel AD de la vasija, no puede ser mayor que la de un barómetro del líquido trasvasado, ni el brazo de salida CE tan corto como el AC de entrada.

En el brazo AC hay de abajo arriba la presión atmosférica A, menos el peso de la columna líquida DC, es decir $A - DC$; en el otro

brazo hay por igual razon la A—CF, y restando esta de aquella queda de adentro afuera el peso de la columna DF, en virtud de la cual conserva el líquido su movimiento. Si los brazos del sifon fueran iguales, las dos fuerzas estarian en equilibrio, y no se verificaria la salida apotecada. A pesar de lo dicho hay un sifon de ramas iguales por el cual sale el líquido, dándole un movimiento de rotacion, pero es en virtud de la *fuerza centrífuga*.

Hay líquidos, como el ácido sulfúrico, que causarían al obrero grave daño si al hacer la succion llegaran hasta la boca, y para preservar estos accidentes, se adapta un tubo lateral k (fig. 119), por donde se practica sin riesgo alguno.

En el sifon (fig. 120), la carga ó el vacío la hace el líquido mismo; al llegar su nivel á la altura de la cúspide C cae por su propio peso y despues sigue corriendo hasta dejar libre el extremo A, ó como si dijéramos, hasta verter el líquido todo. A esta clase de sifones pertenecen los *vasos diabéticos y de tántalo*.

Conocidos estos sifones, estamos en el caso de darnos cuenta de ciertos depósitos subterráneos de donde manan fuentes que solo corren durante ciertas épocas del año, y muy especialmente despues de los deshielos y de las lluvias, que por infiltraciones les suministran el agua que han menester para cargarse, y que derraman despues mas ó menos pronto y en mayor ó menor abundancia, segun la capacidad del depósito y la abertura por donde sale. Fuentes que en otras épocas llamaban *milagrosas ó encantadas*, y á las que atribuia la ignorancia ó mala fé, signos de pestes, de hambres, de mal tiempo ó de bonanza, si así convenia á sus miras ó á las circunstancias del pais donde se encontraban; hoy dia merced á los adelantos de las ciencias naturales van considerándose como uno de los variadísimos fenómenos de la naturaleza sin atribuirles supersticion alguna.

180. **La fuente intermitente**, es muy á propósito para aclarar esto mismo. En la (fig. 121), A representa un frasco de vidrio cerrado con el tapon esmerilado B, y provisto de los pequeños caños laterales M,N; CD es un tubo abierto por la parte superior y con el orificio D en la inferior; y por último XY es un platillo que tiene la abertura T en el fondo, cuyo gasto es menor que la suma de los prestados por M y N.

En el momento que se llena de agua cae por los caños, en virtud de su peso, al platillo XY, en donde sube poco á poco el nivel á causa de la salida por el orificio T, pero al fin cierra la comunicacion D del tubo con el recipiente inferior, y los caños cesan de correr por la presion atmosférica; en este tiempo el agua continúa saliendo del platillo, baja su nivel, descubre la abertura D, entra el aire por ella y sube al recipiente, y oprimiendo aqui tanto como afuera, los caños vuelven á correr y así alternativamente.

181. Hay otros aparatos tan útiles como curiosos llamados *pipetas, catalicores, jarros mágicos*, etc.: fundados todos en la presion atmosférica. Llena de liquido la *pipeta* (fig. 122), sea directamente ó por su inmersion en las vasijas donde se encuentre, y cerrando con el dedo el orificio V de comunicacion con la atmósfera, el liquido no sale por el A porque esta se lo impide, y al contrario principia á correr tan luego como se separa. *El jarro mágico A* (fig. 125), dividido ocultamente en muchas partes con una salida comun, y en comunicacion de la atmósfera por orificios dispuestos en la parte inferior del asa, echará en una copa tantos licores como separaciones tenga, en el órden y con la repeticion que el experimentador quiera, separando los dedos correspondientes. Otro tanto sucede con las *botellas encantadas*.

182. **Fuente de Heron.** Hállase formada por tres recipientes M, N, P (fig. 124), puestos en comunicacion por tres tubos de la manera siguiente: del fondo del primero M, baja el tubo AB hasta el fondo del tercero P; de la parte alta del tercero parte el CD á la parte alta del segundo; y del fondo del segundo el EF al platillo superior.

Echese agua en el segundo recipiente N hasta las dos terceras partes de su capacidad desatornillando el tubo EF, vuélvase á su lugar, ciérrese la llave F, viértase bastante agua en el platillo superior y al poco tiempo abierta la llave de nuevo saldrá por ella un hermoso saltador. He aquí la razon; el aire del tercer recipiente desalojado por el agua que baja del platillo superior, pasa al segundo recipiente en donde halla poco espacio, y aumentando de fuerza elástica obliga al agua á saltar. *La altura del saltador es teóricamente igual á la distancia entre las dos superficies de nivel estremas.*

AEREODINÁMICA.

LECCION XXXVIII.

Aereodinámica.—Frasco de Mariotte.—Gasto teórico y gasto práctico, expresión de la velocidad en el orificio; medios de conocer las partes de la vena gaseosa.—Globos aereostáticos en su primera época; mejoras actuales; cálculos de la potencia ascensional e inconvenientes de llenar mucho el globo; medios de bajar.

183. **Aereodinámica.** En la mayor parte de los experimentos hechos con la máquina neumática, tuvimos ocasion de notar el silbido del aire al precipitarse en el vacío; otro tanto sucedería si el aire estuviera encerrado y comprimido á fuertes presiones al dejarle salir por una pequeña abertura. El movimiento de los gases ocurre siempre que *se establece la comunicacion entre dos medios cuya fuerza elástica no sea la misma*; y ofrecen iguales problemas que los líquidos (136), fuera de la salida por canales ó tubos abiertos.

184. **Gasto de los gases.** El *gasto de los gases* al salir ó entrar por orificios pequeños se calcula multiplicando la *superficie del orificio por la velocidad del gas*. La *velocidad* la dá la fórmula de Torricelli $V = \sqrt{2gh}$, en la cual *h* representa la *altura* de una columna gaseosa homogénea que ejerza en el orificio una presión igual á la diferencia de las presiones de los dos medios en comunicacion. Si el aire de la atmósfera penetrara en el vacío, como es 10464 veces menos denso que el mercurio, la altura de una columna homogénea deducida por la presión media del barómetro, sería $10464 \times 0,^m 76 = 7952,^m 64$; sustituyendo por *h* este número en la fórmula, resulta para la velocidad del aire $V = 595^m$ por segundo. En otro gas, cuya densidad fuera *d'*, para producir igual presión que el aire, la altura de su columna homogénea guardaría la relación de $h : h' :: d' : d$; y sustituyendo en la proporción $V : V' :: \sqrt{2gh} : \sqrt{2gh'} :: \sqrt{h} : \sqrt{h'}$; *d' : d* por $h : h'$ encontramos que $V : V' :: \sqrt{d'} : \sqrt{d}$; es decir,

que bajo igual presion la velocidad de los gases en el orificio está en razon inversa de sus densidades. Una vez que para el aire $d=1$, y $V=395^m$, sustituyendo sale para $V=395^m : \sqrt{d'}$. Aplicada esta fórmula á calcular la velocidad de otro gas, el hidrógeno, por ejemplo, para el cual $d'=0,0691$; $V=1469,^m 2$; que á igual presion es mayor que la de todo otro gas, por ser el hidrógeno el menos denso de los conocidos hasta el dia. La de una bala de cañon al salir es de unos 800^m solamente.

De lo espuesto se deduce que la velocidad del aire, en el vacío, no depende de la altura del barómetro; porque si por una causa cualquiera, el calentamiento del sol durante el dia por ejemplo, aumenta la altura de la atmósfera, es á espensas de su densidad, y al contrario. Otro tanto se puede decir del movimiento de los demás gases.

Conocida la velocidad de salida, y haciéndola regular durante cierto tiempo, por los medios que diremos luego, es fácil comprobar prácticamente todo lo dicho. Mas al hacerlo encontramos que el *gástico práctico* es menor que el *gástico teórico*; y consiste que en los gases, como en los líquidos, la *vena flúida* tiene su seccion contrainda, y dos partes bien distintas; fija y trasparente la primera y turbia y móvil la segunda. Para verlas basta comprimir gases de color; el cloro, por ejemplo; siendo perjudicial á la salud el respirarlo, dá el mismo resultado el aire muy cargado de humo, que es bastante perceptible sin ser nocivo.

La analogia en las propiedades del movimiento de los líquidos y gases es completa, porque el gasto teórico y práctico siguen, con ligeras modificaciones, la misma marcha en estos que en aquellos. Suele ser, sin embargo, el coeficiente de contraccion de los gases, tanto en los orificios pequeños, como en los tubos adicionales y largos, un poco mayor; pero para una circunstancia dada, en los dos flúidos conduce á los mismos resultados.

185. Frasco de Mariotte. Diversos son los medios de proporcionar una salida constante de gas. El flotador de Prony es uno de ellos; dirigida el agua que él suministra á un recipiente lleno de gas, desalojará en tiempos iguales volúmenes iguales. El frasco de Mariotte es otro.

Supongamos un frasco ó botella de vidrio (fig. 125), con tres ó mas orificios laterales, N, N', N'', y un tubo AB abierto por ambos lados que con un tapon ajusta perfectamente á su garganta. Llenando el frasco de agua y cerrando bien despues, pueden observarse los fenómenos siguientes: 1.º Destapados los agujeros N', N'', el agua no sale por ellos; lo mas que cae es la pequeña porcion que hay en el tubo AB, hasta que su nivel baje á igualarse con el del frasco si está mas alto, y en caso de estar mas bajo entra del frasco al tubo la que necesite para subir á dicho punto. 2.º Destapado el agujero N, el agua sale con una velocidad constante, mientras el nivel no deje al descubierto al extremo B del tubo, entrando burbujas de aire á ocupar el espacio vacío que ella deja. *La velocidad es la que adquiere todo cuerpo grave cayendo en el vacío de la altura BC, que hay entre el extremo abierto del tubo y la horizontal NC del centro del orificio.*

Demuéstrase la anterior conclusion analizando las fuerzas que en el fenómeno intervienen, á saber: de adentro afuera hay la presión A de la atmósfera, transmitida por medio del tubo sobre la capa N'B, menos el peso de la columna líquida BD; de suerte que es $A - BD$; de afuera adentro hay la misma presión atmosférica A, menos el peso de la columna líquida DC; es decir, $A - CD$; restando esta de aquella el residuo BC, espresa la presión constante con la que el líquido sale por el orificio N. Siendo nula la cantidad BC en el orificio N' no se verifica la salida, y con mayor razon en el orificio N'', en donde mas bien la presión es negativa ó de afuera adentro.

El principio del frasco de Mariotte ha sido utilizado en los quinés y lámparas del alumbrado doméstico, que á pesar de tener el depósito mas alto que el paraje por donde alimentan la llama, no salta el aceite en forma de surtidor como debia hacerlo si no fuera por esta ingeniosa disposicion. Cuando concluye en el depósito el aceite que va á la llama, se dán unos ligeros golpecitos de arriba abajo con un cilindro movable, para abrir una valvulita y dar entrada al aire que debe reemplazar al aceite que haya salido.

Haciendo llegar una corriente constante de agua á un depósito de gas, conseguiremos un surtidor del mismo gaso que aquella; es de-

cir, que saldrá un volúmen de gas igual al del agua introducida.

186. **Gasómetros.** Llámanse *gasómetros á los depósitos de gas*. Cuando se emplean para el alumbrado público, consisten en una gran campana cilindrica de placas de fundicion de hierro, invertida sobre una cuba de agua, bien de la propia sustancia, ó practicada en el terreno. El gas viene por tubos de conduccion lavado y puro, y por su fuerza elástica hace subir la campana, que está equilibrada con pesos pendientes de poleas fijas. La salida se hace por otros tubos y á virtud de la presion interior medida con *manómetros*. Para que la campana no varie de peso con su mayor ó menor inmersion en el agua, la cadena tiene los eslabones muy gruesos, y cayendo hácia uno ú otro lado, dá la compensacion. Las variaciones atmosféricas no engendran alteracion sensible en el gasto del gas del alumbrado.

La presion lateral de los gases en movimiento es menor que en reposo, y á esta propiedad es debida la *adhesion* de las placas, fenómeno de alguna importancia en las válvulas de seguridad de las máquinas de vapor. Se reproduce con la fuente de compresion, introduciendo solo aire; el efecto de reaccion en la salida de los gases, tambien se demuestra adaptando tubos bien dispuestos á la fuente de compresion, cargada con aire solamente.

187. **Globos aereostáticos.** Desde que Montgolfier descubrió que podian elevarse en la atmósfera globos de cubiertas ligeras llenos de aire dilatado por la influencia del fuego, hasta nuestros dias, han recibido estos aparatos mejoras de consideracion, á beneficio de las cuales se sube en ellos á grandes alturas y se descende sin mayores peligros; pero sin embargo, ninguna es bastante para darles la tan apetecida y buscada direccion. Se dividen hoy en *Montgolfieras, que son los que suben con el aire caliente*, y en *globos aereostáticos* los que tienen un gas mas ligero.

En los primeros tiempos de su invencion se hacian de papel engomado, y se llenaban de aire enrarecido ó dilatado por la inflamacion de sustancias muy combustibles puestas en la boca del globo sobre un enrejado de hierro que al globo sostenia; el aire calentado lo llenaba obligándole á subir; atando al globo con fuertes cordones una barquilla en ella podia el aereonáuta embarcarse, como lo hizo

con admiracion general Pilâtre de Rozier, que nuevo Colon de tan inquieto y bullicioso océano, conquistó la gloria de ser el primero que fiase su vida á tan frágiles elementos. Apagada la llama, el enfriamiento y la condensacion del aire colocan poco á poco el globo en idénticas circunstancias que al subir, si bien en sentido opuesto, y el viajero descendié con moderada velocidad.

Los globos son actualmente mucho mas perfectos: se hacen de tafetan engomado cubiertos de una red de hilo torcido que sostiene la barquilla pendiente de unos cordones.

El aire templado lo reemplaza el hidrógeno, gas de una densidad catorce veces menor que la del aire, representada por 0,0691. El principio de su elevacion no es otro que el de Arquímedes; por consiguiente, lo primero que se necesita al hacer un globo, *es saber el aire que ha de desalojar para que su peso sea un poco mayor que el de la barquilla, lastre aereonáutic y demás accesorios del viaje*. Ahora bien, siendo el peso de un litro de aire, á la presion de 0 m, 760 y á la temperatura de 0,° de 1gr,293, la capacidad del globo deberá ser de tantos litros, y algunos mas, como el peso anterior esté contenido en el de todos los cuerpos que ha de elevar.

Importa no perder de vista que caminando el globo hácia la parte alta de la atmósfera donde las capas son menos y menos densas, va perdiendo poco á poco parte de la potencia ascensional, hasta llegar al paraje en que el aire desalojado pese lo mismo que el globo, y entonces se detiene. Además, como la presion del aire disminuye, el gas interior se dilata y puede llegar el caso que se rompa la cubierta y quede abandonado el viajero á una muerte casi segura. Remédiasse todo esto no llenando el globo enteramente, para que al subir el hidrógeno se dilate con relacion á la pérdida de presion que experimente y mantenga invariable la potencia ascensional.

Elevados ya en la atmósfera, resta decir los medios de bajar. Antes de ahora, habia en la barquilla una tela plegada que estendia la resistencia del aire en el momento de cortar los cordones que la unian al globo; hoy se pone además de este recurso, dicho *paracaidas*, una válvula en todo lo alto del globo, que se abre de afuera adentro con un cordon que va hasta la barquilla y se cierra por la elasticidad del gas; abierta la válvula por el viajero, sale parte del

gas, redúcese el volúmen del globo y empieza á bajar. Por si el sitio del desembarque es peligroso, un despeñadero, un barranco sin salida, un bosque que destruyese el globo, hay medios de volver á elevarse y esperar una corriente de aire que le conduzca á paraje mas seguro; vertiendo los sacos de arena, *llamados lastre*, que se llevan con este objeto, el globo pesa menos y sube otra vez. La forma de lancha ó barquilla que se dá á la habitacion del aerónauta es para navegar en un lago ó en el mar si en estos puntos se viera obligado á descender.

LECCION XXXIX.

Atraccion molecular y medios de medirla en los sólidos y en los líquidos.—Capilaridad y relacion entre los diámetros de los tubos y las elevaciones ó depresiones de los líquidos que contienen; láminas paralelas; láminas angulares.—Fórmula para hallar el diámetro de un tubo capilar.—Fuerzas que intervienen segun la naturaleza de las superficies y demostracion experimental de los tres casos á que esta teoria conduce.—Atracciones y repulsiones de los cuerpos flotantes.—Endosmosis; condiciones para la verificacion del fenómeno; endosmómetro.

188. **Acciones moleculares.** Ya hemos dicho antes de ahora que se llama *atraccion molecular ó fuerza de cohesion*, la que mantiene unidas las moléculas homogéneas que componen los cuerpos.

Las leyes que rigen á la atraccion molecular ó fuerza de cohesion no se conocen bien, aunque los fenómenos que engendra son numerosos y muy variados; combinada con la fuerza repulsiva del calórico determina, por su relacion mútua, los tres estados de los cuerpos; suelda unas masas á otras; produce los fenómenos capilares, y si ello no es la causa de las afinidades químicas, mantiene reunidas las moléculas de los cuerpos formados por las corrientes eléctricas.

Para comprender como esta fuerza se desenvuelve, tómense dos discos de vidrio *a* y *b* (fig. 126), pulimentados con esmeril y que ajustan bien por sus bases; interpóngase una ligerísima capa de graza que desaloje el aire; háganse deslizar el uno sobre el otro, y encontraremos los discos pegados con bastante fuerza para sostener el peso *c*. Añadiendo poco á poco pesos hasta conseguir su separacion, se

mide el valor de la atraccion molecular. Repetida esta operacion con todos los cuerpos susceptibles de ella resulta: que la fuerza de cohesion nace en el punto de union de todos los sólidos, mas ó menos enérgicamente segun su naturaleza y condiciones de su agregacion molecular; que aumenta con la estension y la duracion del contacto, y que el peso que separa dos láminas muy delgadas dá igual efecto en dos discos de gran espesor, sin que tenga influencia su profundidad; de lo cual sacamos la importante consecuencia que *la fuerza de cohesion no estiende su accion mas allá de las distancias que separan las moléculas de los cuerpos*. La fuerza con que están sujetos el uno al otro los dos discos, no es debida á la presion atmosférica, pues en el vacío de la máquina neumática sucede lo propio.

En el contacto de los sólidos con los líquidos hay que distinguir dos casos, á saber: *ó los líquidos mojan á los sólidos, lo cual equivale á decir que tienen con ellos mas atraccion que consigo mismos; ó no los mojan, y entonces tienen menos*. Si del platillo de la balanza hidrostática suspendemos un disco, equilibrándole con pesos en el otro, y lo ponemos en contacto con un líquido, los pesos que los separen medirán su *atraccion reciproca*. Cuando los líquidos mojan á los sólidos, los pesos, á igualdad de las demás condiciones, varian con las clases de líquidos empleados; lo que prueba *que dichos pesos miden la fuerza de cohesion entre dos capas consecutivas de cada líquido, y no la del sólido con ellos*; la finísima capa fluída que envuelve á los sólidos mojados es bastante para aislarlos de la atraccion molecular, cuyo rádio es aun menor que su espesor. Y en efecto así es la verdad, pues un disco de vidrio cubierto de sebo necesita para desprenderse el mismo peso que un cilindro de esta sustancia de igual base. Si los líquidos no mojan á los sólidos *el peso depende de su naturaleza, y no de la de los líquidos, y por eso espresan la fuerza de cohesion entre unos y otros*.

Los gases y los sólidos tambien tienen cierta fuerza de cohesion entre sí; por eso hay cuerpos que absorben muchos volúmenes iguales al suyo de ciertos gases. El platino en musgo, condensa el hidrógeno hasta enrojecerse, y el carbon 90 volúmenes de gas amoniaco. El aire está tan adherido á los sólidos que es una de las razones porque no se hace un vacío completo con la máquina neumática. *Er-*

tre los líquidos y los gases sucede lo mismo; la solubilidad de los gases no depende de otra cosa. El agua disuelve el ácido carbónico y adquiere un sabor agradable; disuelve dos volúmenes de cloro y cincuenta de gas amoníaco; así que las disoluciones tienen la mayor parte de las propiedades de los gases. La capa líquida ó gaseosa que se adhiere á la superficie de los sólidos es causa que en muchas operaciones de física y química no se consigán resultados exactos.

189. Capilaridad. Compréndese bajo el nombre de *capilaridad*, el estudio de los fenómenos engendrados en el contacto de los sólidos con los líquidos, que no dependen inmediatamente de las leyes de la hidrostática; estudio reducido primeramente á la observación de lo que pasaba en tubos de diámetro muy pequeño, comparable con el espesor de los cabellos, de donde han tomado el nombre.

La superficie de los líquidos cerca de las paredes de los vasos deja de ser horizontal, y *se eleva ó deprime segun sean ó no mojadas por ellos*. Las elevaciones y depresiones cerca de los bordes, aumentan con la proximidad de las paredes, tanto que, para pequeñas distancias, ó en tubos capilares, se convierten en superficies cóncavas y convexas, dichas *meniscos*. Si los líquidos mojan á los sólidos, como el agua al vidrio, el menisco es *cóncavo*; si no los mojan, como el mercurio, el menisco es *convexo*.

El aparato que mide semejantes variaciones de nivel, se compone de una série de tubos (fig. 127), de brazos comunicantes y capilares *Aa, Bb, Cc, Dd*, dispuestos sobre una tablita vertical con su pié. En ella se pinta una escala en milímetros, que á partir de cierta línea en donde está el cero, los números se estienden hácia el uno y el otro lado. Suponiendo los tubos perfectamente limpios, se echan los líquidos con cuidado y poco á poco en los brazos mayores hasta que el nivel coincida con el cero, y se miden las alturas en los brazos capilares; comparadas entre sí y con los diámetros de estos, resulta que *las elevaciones si mojan, y las depresiones si no mojan, están en razon inversa de los diámetros*.

La estension absoluta de las elevaciones y depresiones pende de la naturaleza de los líquidos, no entrando para nada la de los tubos ni su espesor. El agua por ejemplo, se deprime de la misma cantidad en un tubo untado con sebo que en otro igual hecho en un trozo

de esta sustancia; fenómeno de fácil esplicacion recordando que la cohesion solo estiende su accion á distancias infinitamente pequeñas.

Entre las *láminas paralelas*, tambien hay *elevaciones si son mojadadas, y depresiones sino lo son, que guardan la razon inversa de las distancias*; pero la magnitud es solo la mitad de la que tomarian en tubos cilindricos de un diámetro igual á sus distancias. En el espacio que media entre dos superficies cilindricas concéntricas, se observa la ley de las láminas paralelas, y en los tubos prismáticos la razon inversa de los perímetros de las bases.

Tomando dos láminas angulares de vidrio y sumergiéndolas en parte dentro de un líquido que las moje, se vé á este elevarse mas y mas hácia el vértice del ángulo, formando por último una curva que es parte de una hipérbola equilátera.

190. Hasta ahora hemos supuesto conocido el diámetro de los tubos capilares, cosa que no parece muy fácil de hallar á primera vista; sin embargo, si pesamos el tubo vacío y lleno de mercurio, la diferencia de estos dos pesos es el del volúmen del líquido introducido; como $P=VD$, y $V=\bar{n}r^2h$; sustituyendo $P=D\bar{n}r^2h$, de donde

$r=\sqrt{\frac{P}{D\bar{n}h}}$; fórmula que dá el valor del rádio del tubo capilar.

191. **Aplicaciones.** Con lo dicho tenemos los fundamentos necesarios para comprender muchos fenómenos capilares que pasan á nuestra vista. Una gota de aceite que cae sobre el mármol, ó de vino tinto sobre los manteles, se estienden con gran rapidez por constituir su porosidad tubos capilares en todos sentidos; la tinta en los libros deja una mancha tanto mayor cuanto mas se aprieten las hojas para impedirle penetrar, operacion que favorece la accion capilar acercando las hojas en vez de perjudicarla como sucederia abriéndolas; la humedad sube en las puertas y paredes á muy alto, y el agua y la sávia se elevan en los vegetales á tanta altura que mantienen la vida y lozanía de las plantas lo mismo en las partes mas lejanas que en las mas próximas á sus tallos y á sus raices.

192. **Parte teórica.** Habiendo visto á los líquidos en los tubos capilares mas altos ó mas bajos que en los brazos mayores, segun era la superficie cóncava ó convexa, réstamos ahora estudiar las fuerzas que lo motivan.

Supuesta la superficie horizontal (fig. 128), imaginaremos trazada una esfera desde el punto m con un radio ma igual á la mayor distancia á que obra la atraccion molecular; la molécula m estará atraida en la superficie por fuerzas iguales y contrarias, como am y bm que se destruyen; mas la atraccion de aquellas que corresponden al menisco dán una resultante en la direccion mn tendiendo á sumergirla normalmente á la superficie de nivel. Convencerémosnos de esta verdad eligiendo dos moléculas c y d , cuyas acciones atractivas se descomponen respectivamente en dos partes, unas mc' y md' que se neutralizan, y otras dos iguales á mr que forman una fuerza doble. Componiendo la de todas las moléculas del menisco, tomadas dos á dos y simétricamente colocadas, se reducen á una sola resultante que representaremos por M . Esta atraccion mengua desde m , donde está en su máximum, hasta el extremo del radio, donde ya es nula; por estar la molécula n solicitada por las resultantes de dos meniscos iguales, uno superior y otro inferior que se equilibran.

En la superficie cóncava (fig. 129), la resultante mr de las moléculas simétricas c y d , tira en sentido opuesto de la fuerza M , y si representamos por N la resultante de todo el menisco dmc , la molécula m estará sometida de arriba abajo á una fuerza igual á $M-N$.

Por el contrario, si fuera convexa (fig. 130), el menisco dmc es negativo respecto del anterior, y deberíamos restar su valor del de M ; así pues, será $M-(-N)=M+N$.

Veamos ahora si los resultados del cálculo están conformes con los hechos. De la teoría anterior se desprende: que los líquidos en brazos comunicantes deben elevarse á la misma altura si las superficies del nivel son planas; á mayor altura en el brazo de menisco cóncavo, y á menor en el que le tenga convexo.

Todo ello recibe una comprobacion admirable echando agua con mucho cuidado en el tubo mas ancho de la (fig. 131); pues el nivel sube desde ab hasta $a'b'c$, trasformándose la superficie cóncava c , del brazo capilar en superficie plana; añadiendo mas liquido, se eleva á $a''b''$, de una cantidad igual á la que antes se encontraba debajo; pero en este caso la superficie plana del tubo capilar se cambia en un menisco convexo: de manera, que el nivel puede estar en el brazo capilar mas alto, igual ó mas bajo que en el brazo ancho, si

concluye con una superficie cóncava, plana ó convexa.

Con efecto; la presión en la parte *ab* está representada por *M*, y en la *c* por *M—N*; para que subsista el equilibrio es menester que el líquido se eleve de una columna *bb'* capaz de reemplazar con su peso la fuerza *N*; cuando las superficies de nivel son planas en los dos brazos, el nivel debe ser el mismo *a'b'c*, como sometido á la misma fuerza también; pero si el líquido no moja, la superficie es convexa y la presión *M+N* mayor, y en este caso el nivel se deprime en tanto cuanto valga *N*, ó se eleva en el otro brazo hasta *a''b''* que viene á ser lo mismo.

A esta altura nos damos cuenta del aumento de volumen adquirido por el agua de un tubo capilar al retirarlo del depósito, y de la marcha de una gota líquida dispuesta entre dos láminas angulares, que sube por un plano inclinado dirigiéndose al vértice si las moja, ó hácia la abertura del ángulo en caso contrario, contrarestando la gravedad que tiende á hacerla descender.

195. Movimiento de los cuerpos flotantes. Cuando dos cuerpos flotantes se colocan á corta distancia el uno del otro *se atraen hasta tocarse si los cuerpos son ó no mojados por el agua; y se repelen si el uno es mojado y el otro no.* El experimento se hace con bolitas de corcho ahumando algunas de ellas; echadas en una copa con agua las mojadas se atraen, y tomando una con la mano arrastra en pos de sí las demás. Con las no mojadas sucede lo mismo. Si una es mojada y la otra no, reunidas con la mano se separan tan pronto como se dejan solas. La superficie interior en los dos primeros casos es cóncava, y por eso es mayor la presión exterior y las junta; en el tercero es convexa, la presión interior prepondera y las separa. Los cuerpos arrastrados por la corriente de los ríos concluyen por adherirse á las orillas donde están retenidos por la acción capilar.

194. Endosmosis. Dutrochet ha notado el primero, que dos líquidos de densidades diferentes, separados por un tabique permeable, se dirigen el uno hácia el otro motivando una diferencia notable en el nivel de sus vasos. El fenómeno es llamado *endosmosis*. Existiendo á la vez dos corrientes que se cruzan á través del tabique de separación y mezclan los líquidos de los dos vasos, han sido

denominadas *endosmosis* á la que va de afuera adentro, y *exosmosis* á la de adentro afuera. Sin embargo, hoy se preseinde de la etimología de estas palabras, y se llama *endosmosis* á la corriente mayor, cualquiera que sea su direccion, y *exosmosis* á la menor.

Las condiciones del fenómeno son dos, á saber: que los líquidos puedan mezclarse y que sea permeable á ambos el cuerpo interpuesto. La corriente se percibe bien pronto en el *endosmómetro*, que es un vaso cónico A (fig. 152), terminado por el tubo capilar B, dividido en milímetros. Cerrando la base con una vejiga y poniendo en el aparato agua con azúcar, con goma ó con albúmina, y fuera agua destilada, el nivel sube rápidamente en el tubo, y rebosa si no es muy alto. La velocidad ó la intensidad de la corriente, en la mayor parte de los casos, es proporcional al esceso de densidad del líquido interior sobre el exterior. Hay *endosmosis* del agua al alcohol, no obstante su menor densidad, presentando así una escepcion notable. La direccion de la corriente entre dos líquidos dados, cambia de signo con su densidad y temperatura; concluye con la presencia de determinadas sustancias; es mayor ó menor segun la lámina interpuesta, y en las pieles y vejigas entra por mucho su frescura, el animal á que pertenecen, el que sus caras estén vueltas en este ó el otro sentido, y muchas otras circunstancias referentes á líquidos, sustancias y temperaturas de las que no debemos ocuparnos. La rotura que sufren algunos frutos azucarados en tiempo de lluvia es debida á esta causa; pueden servir de ejemplo las uvas, que revientan por demasiado llenas y vierten el líquido que encierran con notable perjuicio del labrador.

Tambien hay *endosmosis* entre dos gases separados por una membrana húmeda, ó por una capa delgada líquida, como la de las burbujas de jabon. Una vejiga llena de aire metida en una campana que encierre ácido carbónico sobre el agua, aumenta tanto de volumen que revienta; la *endosmosis* es del gas ácido carbónico al aire. Los gases pasan á través de las visceras de nuestro cuerpo, y de otras muchas separaciones en virtud de la propiedad que nos ocupa.

ACÚSTICA.

LECCION XL.

Acústica.—*Movimiento vibratorio molecular; necesidad de un medio ponderable para la propagacion del sonido.*—*Diferencia entre el sonido musical y el ruido; intensidad, tono y timbre.*—*Límité de percepcion y de comparacion de los sonidos.*—*Velocidad del sonido en el aire, en el agua y en los sólidos.*

195. **Acústica, sonido.** *La acústica es la parte de la física que tiene por objeto el estudio de la produccion y propagacion del sonido.*

Sonido es la sensacion producida en nuestro oido por los cuerpos en vibracion.

Siempre que se altera el equilibrio de las moléculas de los cuerpos elásticos entran en vibracion; ú oscilan alrededor de sus posiciones iniciales con mas ó menos velocidad y amplitud segun la naturaleza del cuerpo y la fuerza de conmocion. Las vibraciones son *isócronas*, ó verificadas en el mismo tiempo, y comparables á las de un péndulo simple puesto en idénticas condiciones que cada una de las moléculas en particular. Ahora bien; cuando los cuerpos dan un sonido, es indicio seguro de que sus moléculas se encuentran en vibracion. Con efecto, si se deja descansar sobre una campana de vidrio una bolita metálica pendiente de un hilo, y se sáca un sonido, la bolita es rechazada cuantas veces cae por su propio peso, y la série de pequeños choques contra la campana produce un repique particular que no permite dudar de lo que en ella pasa. Suspendida una campana entre dos puntas metálicas (fig. 133), y pasando por sus bordes el arco de un violin, sucede lo mismo; tan pronto choca contra ellas como se separa, para volver á tocarlas y separarse después, lo cual revela que además del temblor producido por las vibraciones de las moléculas, la campana experimenta un cambio en su forma y dimensiones, acortándose en un sentido para prolongarse en el opuesto y recíprocamente, todo el tiempo que dure el sonido.

Aun hay otro método mas general y mas perceptible de reconocer el movimiento vibratorio molecular, ya sea en campanas, placas, tubos, cuerdas, etc., cubriéndolos ó rodeándolos de una capa de arena fina, y sacando de ellos un sonido; porque los granitos de arena principian á saltar cada uno de por sí é independientemente de los demás con tanta mas fuerza cuanto el sonido es mas intenso, y concluyen á la par. El movimiento molecular no abraza los cuerpos en toda su estension; hay parajes en completo reposo en los cuales se deposita la arena dándonos idea por su disposicion, de la figura de los puntos, líneas ó superficies nodales de cada uno de ellos.

Segun lo que precede podemos decir que para la *produccion* de los sonidos es preciso hacer vibrar las moléculas de los cuerpos sonoros, y esto se consigue desenvolviendo su fuerza elástica, bien por frotacion de un cuerpo áspero, bien por una série de pequeños choques, bien por cambios de temperatura, etc.

196. **Propagacion del sonido.** *El sonido no existe en el vacío, ni se propaga de un punto á otro del espacio á no ser por medio de los cuerpos ponderables.* Póngase el aparato de relojería (fig. 154), sobre la platina de la máquina neumática; cúbrase con una campana por cuyo centro pasa una varilla metálica terminada en forma de horquilla, con la cual se separa ó se acerca una palanquita, causa de que la campana del reloj toque ó no toque; hágase el vacío, déjese el martillo chocar contra la campana, y sin embargo el sonido no se oirá, ó se oirá muy débilmente; déjese entrar el aire, y el sonido se oirá entonces mucho mejor. El sonido se percibe en esta esperiencia siempre un poco, ya por falta de un vacío absoluto, y ya tambien por la trasmision desde la platina á la campana y demás cuerpos sólidos que la rodean, de todos ellos al aire, y de este á nuestro oido. Se evitan algunos de estos inconvenientes haciendo descansar el aparato de relojería sobre almohadillas de lana ó crin que apagan el movimiento vibratorio.

Los gases y vapores entran en vibracion y transmiten el sonido como el aire. La esperiencia se hace del mismo modo cuando la campana está para ello dispuesta. Con este objeto, se añade otra llave mas que establece la comunicacion con un segundo recipiente donde está el gas que se ha de someter á la esperiencia, ó deja caer

unas gotas del líquido para que se reduzca á vapor; hecho el vacío en la campana, y abierta la llave de comunicacion, el sonido se percibe de nuevo y con tanta mayor intensidad cuanto mas denso sea el gas ó el vapor introducido. Así, un pistoletazo en la cima de una cordillera, causa menor ruido que en el valle, y la voz humana se oye mejor lanzada de abajo arriba que de arriba abajo; los que suben en un globo oyen el ruido que hay en el suelo; los que están en la tierra no oirían otro igual hecho donde el globo se encuentra; desde el pié de una torre se puede hablar al que esté en todo lo alto, sin que este consiga lo mismo á no ser con mucho trabajo.

La trasmision del sonido es mas intensa por los líquidos que por el aire. Con efecto, debajo del agua se oye con facilidad un sonido que es imperceptible fuera de ella. El oído de los seres que viven en el agua es por esta razon menos complicado, y en el aire oirían con suma dificultad; así como nosotros experimentaríamos sensaciones desagradables con sonidos que no son molestos. *Los sólidos muy compactos transmiten el sonido mejor que los líquidos y los gases.* El ruido de las barbas de pluma rozando contra el extremo de una barra metálica, y el choque de un alfiler se distinguen aplicando el oído al extremo opuesto, y nada se oye separándolo.

Los que trabajan en las minas cerca del mar oyen el choque de las olas, y el golpe de los de otras galerías; los presos de algunas fortalezas suelen entenderse por medio de los anchos muros que los separan; los escuchas de un ejército apoyan la cabeza en el suelo para oír el ruido ó los pasos de los enemigos; algunos sordo-mudos han gozado del placer de la música cogiendo con sus dientes el instrumento que la produce, y segun el testimonio de personas autorizadas, en la última guerra de Africa se oían en las minas de Sierra-Gador los cañonazos del otro lado del Estrecho.

197. **Cualidades del sonido.** Hasta el presente hemos empleado las palabras *sonido* y *ruido* indistintamente, no obstante ser cosas bien diferentes. Se dice que *experimentamos la sensacion de un sonido musical cuando las vibraciones moleculares reunen á su intensidad el isocronismo*, y se llama *ruido á la sensacion desagradable que traen consigo dichas vibraciones cuando son irregulares ó principian y concluyen de una manera brusca*. En el pri-

mer caso las vibraciones de un instrumento son comparables á las de otro y los dos pueden tocar al unison; en el segundo, un ruido se parecerá á otro ruido, mas de sacar dos ruidos iguales, solo la casualidad es capaz de encargarse.

En todo sonido musical hay tres cosas distintas á saber: la *intensidad*, el *tono* y el *timbre*.

La intensidad es la mayor ó menor fuerza con que es herido ó impresionado el órgano de la audicion. Pende esclusivamente de la amplitud de las oscilaciones; pulsada una cuerda al principio del movimiento y cuando la amplitud es mayor, la intensidad llega á su máximum, y deerece y concluye al tiempo que aquella.

El tono es la mayor ó menor gravedad ó agudez de un sonido; así decimos sonidos *graves*, sonidos *agudos*. La causa única de esta circunstancia es el número de vibraciones hechas en un tiempo dado: el sonido es mas grave si estas disminuyen, y mas agudo si aumentan. La naturaleza del cuerpo vibrante y la de los que conducen las vibraciones no influyen en el tono; el mismo sonido da el aire que el ácido carbónico y que el agua. Basta pulsar una cuerda siempre con igual energía, y darle mayor ó menor longitud, para convencerse al instante de la exactitud de la asercion.

El timbre es la calidad especial del sonido; como si dijéramos, el *metal* de la voz humana. Depende del cuerpo vibrante y de los que tiene á su alrededor; algunas personas pueden dar las mismas notas sin que se confundan, y otro tanto sucede con los instrumentos; la flauta y el violin, por ejemplo, se distinguen con la mayor facilidad.

198. Limite en la percepcion de los sonidos. Cuando se pone una cuerda muy larga ó muy corta en vibracion, llega un caso en que los sonidos dejan de distinguirse; de donde se sacaba la consecuencia que habia un limite de perceptibilidad, marcado por 32 vibraciones por segundo para los sonidos graves, y de 12 mil, mas ó menos, para los agudos. Savart, á quien son debidas la mayor parte de las esperiencias sobre el particular, ha hecho ver, que la falta de percepcion depende mas bien de la intensidad del sonido que de la existencia de un limite en el órgano de la audicion. Para demostrar su aserto, emplea un aparato que refuerza la intensidad del sonido en ambos casos, y entonces los lí-

mites se alejan mucho mas, siendo de 16 vibraciones para los sonidos graves, y de 48 mil para los agudos. Despretz, amplificando mas estos medios, consigue alejar aun estos números; de donde resulta que los límites no son absolutos, y que varían con el refuerzo prestado á los sonidos. Sin embargo de lo dicho, debe haber alguna diferencia entre la percepcion de los sonidos y su comparacion, y tanto en un caso como en otro, principalmente en el segundo, entra por mucho la sutileza del oido, la esperiencia y habilidad del observador en el fenómeno acústico que vaya á estudiar. Por eso un director de orquesta y las personas entendidas echan al instante de ver la falta en que ha incurrido un músico cualquiera, pasando desapercibida para la generalidad del auditorio.

199. Velocidad del sonido. La trasmision del sonido no es instantánea; el ruido del trueno y el de un cañonazo llegan despues del relámpago y del foganazo, aunque los dos fenómenos se verifican á la par. Determinase su velocidad eligiendo una base estensa cuyos extremos estén el uno á la vista del otro; en ellos se establecen dos observadores con su arma de fuego correspondiente; á una señal convenida dispara uno un cañonazo y el otro cuenta en un buen cronómetro los segundos que pasan desde la aparicion de la luz hasta la llegada del sonido; acto continuo dispara su arma y aquel cuenta del mismo modo; repitiendo dos ó tres veces la operacion y tomando un término medio para mayor exactitud se halla el tiempo que tarda el sonido en recorrer la distancia que los separa; observadores establecidos á la mitad ó tercera parte de los extremos miden el tiempo que tarda en llegar á ellos, que solo es la mitad ó tercera parte, de donde resulta que *el movimiento del sonido es uniforme*, y la velocidad igual al espacio dividido por el tiempo.

La velocidad del sonido en el aire á la temperatura de 0°, es de 333 metros por segundo, y de unos 340 á la ordinaria; aumenta segun acabamos de ver con la temperatura, pero es independiente del estado del cielo y de la presion atmosférica; experimentos practicados en Quito han dado el mismo resultado, no obstante la menor altura que tenia el barómetro. Los vientos perpendiculares no causan alteracion en ella; los restantes aceleran ó retardan la velocidad proporcionalmente á la componente de su marcha en la direc-

cion de las ondas sonoras; si las direcciones del sonido y del viento siguen la misma línea recta, entonces el primero gana ó pierde la velocidad del segundo; de manera que personas equidistantes de un instrumento, pueden oír el mismo sonido en épocas diferentes. Los sonidos *graves* y *agudos*, *fuertes* y *débiles*, todos se transmiten con igual velocidad, notándose la misma armonía cerca de una orquesta que lejos de ella. Otro tanto sucede cuando el sonido vá de abajo arriba que en sentido inverso.

La velocidad del sonido sirve para medir distancias; disparando un arma de fuego y contando los segundos que tarda en llegar el ruido de la esplosion mas que la luz, y multiplicándolos por 340^m, se tiene la distancia en línea recta.

La *velocidad del sonido en los líquidos* ha sido medida por Colladon y Sturm del modo siguiente: suspendieron dentro del agua una gran campana contra la que chocaba un martillo, inflamando á la vez, por medio de un lanza fuegos, pólvora en la superficie; ellos estaban en una barquilla á una distancia conocida, y para mayor exactitud ponian desde el lago al oído un tubo lleno de agua: contando los segundos trascurridos entre la aparición de la llama y la percepción del sonido, y dividiendo por ellos el espacio, obtenian la velocidad, que es, dicho sea de paso, mas de *cuatro veces* la del aire. En *los gases* y *vapores*, y en *los sólidos*, hay que acudir á medios indirectos. En la plata la velocidad es 9 veces la del aire; 10 en el cobre; 17 en el hierro, acero y vidrio; y en las maderas está entre 11 y 17.

LECCION XLI.

Forma y propagacion de las ondas sonoras; coexistencia de estos movimientos sin interrumpirse; ondas condensadas y dilatadas; ondulación; interferencias sonoras.—Intensidad del sonido á diferentes distancias.—Leyes de la reflexion del sonido; ecos y rconancias.

200. **Ondas sonoras.** El sonido se trasmite en el aire por medio de ondas esféricas; el centro corresponde al punto en vibracion y la superficie se estiende por el aire á todas partes con movimiento uniforme. Con efecto, la armonía de la música se oye alrede-

dor de ella con igual perfeccion; en los teatros el hecho está puesto fuera de toda duda. En este movimiento no hay *traslacion de materia*, como á primera vista pudiera creerse: consiste solo en dilataciones y condensaciones alternativas: como si dijéramos que las capas de aire se mecian á los lados de sus posiciones de equilibrio. Tirando una piedra en un estanque de agua, se engendran ondas esféricas que van unas en pos de otras sin alcanzarse ni alterarse en nada, y dejan los cuerpos flotantes en los mismos sitios que tenian antes de la conmocion. Si se arrojan dos ó mas piedras, corresponde á cada una de ellas un sistema de ondas que siguen la misma ley que si estuvieran solas, aun cuando se crucen todas de mil maneras distintas; en una palabra, sus movimientos son *independientes y pueden subsistir* simultáneamente. Todo lo dicho es en el supuesto de que las conmociones no pasen de ciertos límites, fuera de los cuales, las ondas se deforman y los sonidos se interrumpen.

La formacion y propagacion de las ondas sonoras es de suma importancia en el estudio del calor y de la luz, y por eso daremos de este asunto algunas ideas, siquiera sean muy elementales.

Supongamos que la lámina *ab* (fig. 135), oscila á la entrada de un tubo cilíndrico y entre límites bastante estrechos para que puedan mirarse las posiciones extremas *a' b'*, y *a'' b''*, como paralelas á la primera. Si la traemos á la posicion *a' b'*, y la soltamos de repente, oscilará en virtud de su elasticidad como un péndulo, y el máximum de su velocidad corresponderá al medio *ab* de la amplitud, y decrecerá hasta los extremos en donde es nula. En estas idas y venidas, la lámina comprime y dilata las capas de aire que á su paso encuentra; al llegar por ejemplo á *a'' b''*, habrá en el tubo una columna condensada *a'' b'' cd*, de tanta longitud como espacio anda el sonido en el tiempo que la lámina emplea en ir de *a' b'* á *a'' b''*, ó en hacer una oscilacion. La condensacion de este aire es mayor en *mn*, que en los extremos hácia donde decrece, por corresponder á la impulsion en *ab*, que es la mas fuerte, como que en ella tiene la lámina el máximum de su velocidad.

Al volver la lámina de *a'' b''* á *a' b'*, produce un vacío detrás de sí que las capas de aire contiguas ocupan al momento, ocasionando una dilatacion que sigue los mismos trámites que la condensacion

de antes, y al llegar á la posicion *a' b'*, final de la segunda ondulacion, hay en el tubo una columna de aire dilatado de igual longitud que la condensada. Los grados de condensacion y de dilatacion son los mismos para puntos equidistantes de la posicion media *ab*. Cada una de las columnas de aire condensado ó dilatado por las oscilaciones de la lámina vibrante, toma el nombre de onda condensada ó dilatada, y las dos reunidas el de ondulacion. Las ondas van unas á continuacion de las otras sin alcanzarse, por ser uniforme su movimiento, y una capa aérea *mn* pasa por todos los estados de condensacion y de dilatacion de las ondulaciones que recorren el tubo.

Ahora bien, si una ondulacion encuentra en su camino á otra ondulacion idéntica, de modo que la onda condensada coincida con la onda condensada y la dilatada con la dilatada, claro está que formarán una ondulacion de la misma longitud de doble condensacion; pero si por el contrario la onda condensada cae sobre la dilatada, y la dilatada sobre la condensada, siendo iguales las condensaciones á las dilataciones, el aire pasa á su estado natural, el movimiento ondulatorio concluye, y el sonido deja de existir. Y una ondulacion que causa la sensacion de un sonido, con otra ondulacion idéntica, se refuerzan ó se destruyen segun que los caminos andados se diferencian en número par ó impar de semi-ondulaciones. En óptica se conoce el principio de que luz añadida á luz dá oscuridad, con el nombre de interferencias luminosas, que aplicado al caso presente pudiéramos llamar de las *interferencias sonoras*.

201. **Intensidad del sonido.** La intensidad del sonido en tubos cilindricos es la misma á todas las distancias del punto de conmocion; ley que verificó Biot para mas de tres cuartos de legua en los encañados de Paris, haciendo tocar una flauta en un punto y poniéndose él en otro. En la atmósfera no pasa lo mismo por tener el movimiento que repartirse entre mayor número de moléculas de aire. Con efecto, si suponemos que la conmocion *Y* es la del sonido, trasmitiéndose por esferas concéntricas, en el punto que la superficie de una de ellas sea *S* y la intensidad de uno de sus puntos *I*, tendremos la ecuacion $Y=IS$; esto es, la intensidad total igual á la de un punto multiplicada por el número de ellos. Por idénticas razones, para otra esfera $Y=I'S'$, de donde $IS=I'S'$, ó $I:I': S':S$. Recor-

dando que las superficies semejantes son como los cuadrados de las líneas omólogas, y designando por d, d' los rádios ó las distancias al centro de connozion $S': S :: d'^2 : d^2$ y por último, $I: I' :: d'^3 : d^3$. *Las intensidades del sonido están en razon inversa de los cuadrados de las distancias*; relacion importantísima que siguen los flúidos imponderados y las emanaciones que parten de un centro, como son la gravedad y la atraccion universal.

La intensidad del sonido es mayor en el aire tranquilo que cuando hay vientos; se oye mejor en la direccion perpendicular que en las demás, y en el sentido de la propagacion que en la opuesta; los sonidos débiles sufren mas que los intensos; por la noche es mas claro que por el dia y con el frio mas que con el calor.

202. **Reflexion, ecos y resonancia.** Puesto que los cuerpos elásticos al chocar sobre superficies pulidas y resistentes forman el ángulo de reflexion igual al de incidencia, siendo el aire el vehiculo ordinario del sonido, *tambien este se reflejará bajo las mismas leyes*. Asi lo justifican las salas elipticas en las que puestas dos personas en sus focos pueden conversar á bastante distancia sin ser oidas por las demás. En las parábolas todas las ondas paralelas á los diámetros se reflejan en el foco, y los sonidos que parten de este punto salen por la reflexion en todas direcciones, disposicion importante para que un orador se deje oir de un concurso numeroso. Los teatros, los parlamentos y las cátedras públicas debieran tener esta figura para llenar bien el objeto á que se destinan.

En las cátedras se hace el esperimento con los espejos conjugados del calor, aplicando el oido al foco del uno se oyen las oscilaciones de un reloj puesto en el foco del otro.

La reflexion del sonido es causa de las *resonancias y de los ecos*. *Llámanse resonancias á los sonidos reflejados que se confunden con los directos, y ecos á los que llegan despues, dejándose entender clara y distintamente*. Los ecos pueden ser monosilabos, bisilabos y polisilabos.

Para dar la explicacion de los ecos, menester es advertir que no pueden pronunciarse ni oirse con claridad mas de diez sílabas por segundo, término medio, y si hemos de oir una sílaba despues de concluir su pronunciacion, ha de tardar en ir á la superficie reflec-

tante y volver á nosotros cuando menos 0,1 de segundo; es decir, 1₁20 de ida, y 1₁20 de vuelta son 2₁20=1₁10. Siendo V la velocidad del sonido en un segundo, para décimas de segundo será V₁10, y para T décimas TV₁10; de forma que para el espacio andado por el sonido, representándolo por 2d, doble distancia de la superficie al oído, tendremos la ecuación 2d=TV₁10, y d=VT₁20 = 340^m × T₁20; admitiendo según hemos dicho, que á la temperatura ordinaria la velocidad del sonido es de 340 metros por segundo. Si suponemos T=1'', 2'', 3'', 4''..... resulta d=17^m, 34^m, 51^m....; es decir, que hay monosilabo, si la superficie reflectante dista 17^m; bisilabo si 34^m, y en general se oirán tantas sílabas como veces la distancia contenga al número 17 metros.

Las sílabas que se oyen por la reflexión son las últimas de la palabra, pues cuando principiámos la pronunciación de la segunda sílaba llega el sonido de la primera y se confunde con ella, al pronunciar la tercera llega la segunda.... y finalmente, después de pronunciada la última, oiremos su repetición y tendremos un eco monosilabo. Si la superficie dista doble, al pronunciar la tercera oímos la primera, y la segunda al pronunciar la cuarta.... y después de concluir la palabra se dejarán entender las dos últimas sílabas y habrá un eco bisilabo. Los ecos son fatigosos y molestan al auditorio, mientras que las resonancias, confundiendo el sonido reflejado con el directo, dan mas sonoridad y sostienen la voz del orador.

Refracción del sonido. El sonido que pasa de un medio á otro de diferente densidad, no se mueve en él con la misma velocidad (199); y además deja su dirección rectilínea para aproximarse ó alejarse de la normal tirada á la superficie de separación en el punto de incidencia; este desvío que sufre en su marcha se llama *refracción*.

LECCION XLII.

Aparatos de acústica.—Órgano de la voz.—Órgano del oído.—Trompetilla acústica; bocina.—Vibraciones de las cuerdas; monocordio; cálculo de la escala musical ó de la gamma.—Vibraciones de las varillas; diapason.—Lineas nodales en las placas.—Comunicacion del movimiento vibratorio.

203. **Órgano de la voz.** Ligeras han de ser por necesidad las ideas que esponamos de los órganos de la voz y del oído; pero ligeras y todo las preferimos á minuciosas descripciones anatómicas ó al silencio en dos de los principales fenómenos físicos de los cuerpos vivos. Las primeras no son propias de esta enseñanza, y el segundo deja un vacío que en la generalidad de las personas no se llena despues.

Pocas esperiencias necesitamos para reconocer que cierto movimiento de la garganta, hecho al tiempo de salir el aire espulsado de los pulmones, es la causa de la voz, y que practicadas aberturas en diferentes sitios de la garganta, las mas bajas que la protuberancia dicha bocado de Adan, destruyen el sonido, y dejan producirlo las que están despues. Por consecuencia, el aparato de la voz se compone de los *pulmones que suministran el aire*, del *conducto por donde sale*, de la parte *productora de los sonidos*, y de la capacidad que los refuerza; veamos sus partes esenciales.

Desde los pulmones parte un tubo cartilaginoso hasta cerca de la boca llamado *traquearteria*, y termina con otro un poco mas ancho unido al hueso *hioides* dicho *laringe*, que es el verdadero órgano de la voz. Compónese este de cuatro cartílagos á saber: el *cricoides*, el *tiroides* y los dos *aritenoides* articulados entre sí y de formas distintas. Tapiza el interior de la laringe una membrana mucosa formando en su medio dos grandes repliegues laterales y transversales al órgano, llamados *cuerdas bucales* ó ligamentos inferiores de la glótis: mas arriba hay otros repliegues análogos á los primeros, denominados *ligamentos superiores*. Las cavidades formadas á consecuencia de esta disposicion, y que existen entre los ligamentos superiores é inferiores son los *ventrículos* de la laringe.

La especie de abertura dirigida de atrás adelante comprendida entre las dos cuerdas bucales se llama *glótis*, y finalmente una lengüeta fibro-cartilaginosa unida por su base bajo la raíz de la lengua, que cierra en la deglucion la glótis, se llama *epiglótis*.

Al salir por la glótis el aire de los pulmones hace vibrar las cuerdas bucales y produce la voz, mas ó menos aguda segun la tension que les dén los músculos correspondientes, reforzándose despues con el aire de los ventriculos, con el de la parte posterior de la boca y con el de las narices. La parte esencial del órgano de la voz lo constituyen las cuerdas bucales, pues cortadas no vuelve à oirse, mientras que hecha la misma operacion con los ligamentos superiores, la voz subsiste, si bien es mas débil.

La laringe humana no ha podido imitarse: los instrumentos de viento no hacen mas que obtaviar, y pasan sin gradacion de un sonido à otro; los de cuerdas no sostienen el sonido, y los órganos, à pesar de sus tubos de lengüeta y viento, solo dan algunos sonidos muy poco comparables à los de la voz humana. En el órgano bucal al contrario, se obtiene una variedad infinita de sonidos con una disposicion muy sencilla.

204. Órgano del oído. El órgano de la audicion en el hombre es doble, y suele dividirse en *tres partes*, à saber: *oído externo, oído medio y oído interno*.

El oído *externo* lo forman el *pabellon del oído* y el *conducto auditivo*, que está cerrado à cierta distancia por una membrana muy delgada y elástica llamada del *tímpano*. El *oído medio* es una cavidad irregular dicha *caja del tambor* que contiene: una abertura hácia el exterior cerrada, segun hemos dicho, por la membrana del tímpano; dos en frente de esta llamadas por su forma, *ventana oval* la mas alta, y *ventana redonda* la mas baja; otra que está en la parte inferior de la caja y comunica por medio de la *trompa de Eustaquio* con la parte posterior de la boca, y la última en todo lo alto que lo hace como las grandes células del temporal; hay además la cadena de huesecillos llamados *martillo, yunque, lenticular y estribo*; el primero se apoya sobre la membrana del tímpano y el último sobre la ventana oval, y sirve para aumentar ó disminuir la tension de ambas. El *oído interno* ó *laberinto* lo constituyen tres cavidades en

el orden siguiente: el *vestibulo* que por la ventana oval comunica con la caja, el *caracol* que lo hace por la oval, y los *canales semicirculares* que en número de tres terminan, como el caracol, en el vestibulo. Estas cavidades están llenas de un liquido llamado *linfa de cotumni*, en donde se bañan y flotan los filetes terminales ó ramificaciones del nervio acústico.

Todas las partes citadas no son necesarias para la perceptibilidad de los sonidos; en las aves falta el pabellon, en los reptiles el conducto auditivo, y en los peces la caja del tambor. Lo indispensable es que haya un vestibulo, ó una cavidad membranosa llena de un liquido donde se bañen los filetes del nervio acústico. En este aparato vemos reunidas todas las leyes físicas; por una parte, el oido está en la parte mas petrosa del hueso temporal, y por otra las ramificaciones del nervio sensitivo hallándose sumergidas en una masa liquida, reciben mas fácilmente y con mayor intensidad las ondas sonoras trasmitidas hasta allí por las ouerpos ponderables.

205. **Trompetilla acústica.** (fig. 156). Es un tubo cónico truncado encorvado en ángulo recto; la parte ancha dicha pabellon se dirige en la direccion del sonido, y la estrecha se aplica al oido; la reflexion hace que la porcion de onda recogida por el pabellon se aproxime mas y mas al eje, adquiera mayor intensidad y conmueve la membrana del tímpano que no oscilaria en otro caso. Usan este aparato los que oyen con dificultad; los tenientes de oido.

La *bocina* es un tubo cónico de metal abierto por la parte mas ancha en forma de gran pabellon; la boca se aplica á la mas estrecha, donde hay sin embargo espacio para mover los labios y pronunciar bien (fig. 157). La voz es lanzada á grandes distancias, tanto mayores quanto es mas largo el tubo y el pabellon mas abierto. Se usa en los buques y en las cacerias.

206. **Vibraciones de las cuerdas.** Estúdiense las vibraciones de las cuerdas con el *monocordio* ó *sonómetro* (fig. 158). Está compuesto de una caja rectangular, hueca y sonora, sobre la que se tiende una ó mas cuerdas atadas por un extremo en A y sosteniendo pesos en B. Hay entre A y B una escala en milímetros y un puentecito movable *m* para medir y variar la longitud de las cuerdas.

Cuando se pone en vibracion una cuerda (fig. 139), hay partes C, D... que toman mayor velocidad llamadas *vientres*, y otras N, N... que se conservan en reposo, dichas *nudos* ó *nodos*. *Estos puntos se hallan siempre á distancias iguales unos de otros, y dividen las cuerdas vibrantes en partes de la misma longitud*; para reconocerlo basta poner sobre ellas pequeños puentes de papel, y pasando el arco del violin cerca de los extremos, estos puentes son arrojados de los vientres y conservados en los nodos.

Variando la longitud de la cuerda y los pesos que determinan su tension, nada más fácil que construir la escala musical ó la *gamma*, que viene á ser una série de siete notas que causan en el oido una sensacion especial. Tomando por mas grave el *do*, ó la que diera la cuerda con toda su estension, acortándola poco á poco con el puentecito móvil, llegaríamos á saber su longitud para *re*, y así de todos los demás, si este fuera nuestro propósito.

207. **Vibraciones de las varillas.** Las varillas duras y elásticas entran en vibracion frotadas que sean en este ó el otro sentido; los sonidos que dan varian con su longitud, con su espesor y con la manera de conmoverlas. En ellas, como en las cuerdas, hay nodos de vibracion, reconocibles cubriéndolas con una capa ligera de arena fina, la que arrojada de los vientres permanece en los sitios que están en reposo, indicándonos con su figura cual es la de los puntos y líneas nodales. Cuando las mismas varillas se ponen de la misma manera en vibracion, dan siempre el mismo sonido; propiedades que esplican el uso del diapason para templar los pianos.

El diapason (fig. 140), está formado de una varilla metálica de dos ramas convergentes hácia los extremos, y apoyada por el medio de su curvatura sobre un timbre que sirve de pié. Metiendo un cilindro de madera por lo mas ancho y sacándole de repente por lo mas estrecho, las ramas entran en vibracion y dan medios de comparar con su sonido el de la cuerda mas larga ó mas corta de otro instrumento cualquiera.

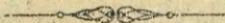
208. **Líneas nodales en las placas.** Con tres placas circulares (fig. 141), fijas por su centro, sácense sonidos que dependen de mil circunstancias á la vez, pero siempre quedan dividi-

das en partes vibrantes de igual estension superficial, como nos lo dejan conocer las líneas nodales. Los sistemas de estas líneas están ligados á la naturaleza de las sustancias de tal modo, que en mineralogia son mirados como caracteres diferenciales de algunos cuerpos cristalinos.

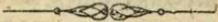
Pasando el arco de un violin perpendicularmente á estas placas con suavidad, es fácil sacar las líneas nodales que están en ellas pintadas; puestos los dedos en dos sitios de la superficie, hacen pasar por los puntos del contacto ródios nodales, dividiéndose la placa en tantas partes vibrantes como veces su distancia esté contenida en la circunferencia. La disposicion de las líneas de cada sistema varía con multitud de accidentes que es de poca importancia enumerar.

209. Comunicacion del sonido. Para conseguir sonidos de un cuerpo no es indispensable ponerlo inmediatamente en vibracion; basta que se halle próximo á otros que estén sonando, porque todas las ondulaciones conducidas por el aire, por los líquidos ó por los sólidos, gozan de la propiedad de poner á otros cuerpos en vibracion que refuerzan su sonido. Propiedad que utilizaban los antiguos griegos colocando debajo de los asientos de los teatros vasos sonoros, que al vibrar el unison de la orquesta y de los cantantes, hacian los sonidos mas perceptibles y armoniosos.

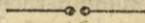
Para ver como los sonidos pueden reforzarse se usa el aparato (fig. 142), compuesto de la campana A, que se pone en vibracion con el arco de un violin, y de un tubo de carton, montado sobre un pié que lo acerca ó retira de la campana; en el fondo suele haber un piston para dar al cilindro diferente longitud. Sacando un sonido de la campana es notablemente reforzado, dando el efecto mayor cuando el émbulo dista de la boca el diámetro del cilindro.



FLUIDOS IMPONDERADOS.



CALÓRICO.



LECCION XLIII.

Demostrar que el calórico es un agente incoercible é imponderable; de la sustancia de que nacen los cuatro flúidos.—Rápida ojeada sobre los efectos del calórico; significacion de las palabras calórico, calor y temperatura.—Hipótesis de la emision y de las ondulaciones.

210. **Idea general del calórico.** *El calórico es un agente incoercible é imponderable; es decir, que ni podemos guardarlo en vasijas cerradas, ni hallar su peso por los medios hasta ahora conocidos. En efecto; los cuerpos en el vacío dán el mismo peso á todas las temperaturas, y de una libra de hielo no sale mas que una libra de agua, á pesar del calor absorbido durante la fusion.*

La sustancia de que se compone el *calórico*, es pues diferente de la que constituye los cuerpos tangibles y pesados, susceptibles de los tres estados sólido, líquido y gaseoso; es mucho mas sutil, mas movable y elástica; mucho mas *flúida* en una palabra; y como se supone que *sus diferentes movimientos* engendran el *calórico*, el *luminico*, el *magnético*, y el *eléctrico*, se les designa con el nombre de *flúidos imponderables ó flúidos incoercibles*; es decir, que se de-

finen por las propiedades de la materia ó sustancia de que nacen.

Por lo que antecede vemos que los cuatro flúidos no son diferentes en cuanto á su esencia; al contrario, hay en ellos un vínculo comun en tener su origen en una misma clase de materia llamada *éter*; y prueba de ello es que los flúidos se trasforman unos en otros; mas claro, que con el influjo del calórico aparecen la luz, el magnetismo y la electricidad, y con cualquiera de ellos los otros tres; sobre todo entre el calor y la luz, y el magnetismo y la electricidad, hav tal semejanza que parecen iguales.

211. Efectos principales del calórico. *El calórico es un agente universal*; encuéntrase esparcido por la naturaleza entera, llenando el espacio y los poros de todos los cuerpos, que se hallan bañados en él como la esponja en el agua; los atraviesa en todas direcciones; donde este flúido escasea parece que falta la vida; en los polos y en las montañas cubiertas de nieve no hay vegetacion. Si obra con poca fuerza los sólidos se vuelven mas densos, los líquidos pasan á sólidos y los gases á líquidos; tal pudiera ser la falta de calor que no hubiera mas estado que el sólido. Por el contrario, cuando aumentan su fuerza, los sólidos se reducen á líquidos y estos á gases; sucede todo lo inverso de antes; pudiera no haber mas estado que el gaseoso.

Las primeras impresiones que nosotros percibimos del calor proceden del sol y del fuego, los dos orígenes mas generales que existen; en ambos van juntos el calor y la luz, y por eso sin duda se asocian ambas ideas. Sin embargo, tambien hay *calor sin luz*, y *luz sin calor*. Suele llamarse *calórico claro* el que despiden los cuerpos luminosos, y *calórico oscuro* el de los demás. La nomenclatura no supone diferencia alguna entre ellos. El fuego segun es mas ó menos activo, quema unos cuerpos, enrojece, funde y volatiliza otros. El sol por su distancia á la tierra y oblicuidad, dá origen á las zonas, á las estaciones, y al diferente calor del dia; derrite las nieves, y trasformá el agua en vapor; concentrados sus rayos con un espejo hace lo que el fuego; funde los metales. Pues bien, el calórico oscuro en otra escala hace lo propio; el plomo fundido derrite el hielo y la cera, volatiliza el agua, y enciende el fósforo. Conviene pues separar por ahora las ideas de calor y luz; y á la

causa de los fenómenos que acabamos de reseñar se designa con la palabra *calórico*; sus diferentes efectos con la de *calor*; y á la *mayor ó menor intensidad del calor* con la de *temperatura*. Las denominaciones de calórico y calor suelen emplearse indistintamente, pero no hay que olvidar por eso su verdadera acepcion.

215. **Hipótesis para explicar el calor.** Dos opiniones hay en *el sistema* del calor y de la luz. La de Newton ó de la *emision*, y la que algunos llaman de Descartes, mejor dicho de las *ondulaciones*. La primera ha tenido á su favor la facilidad en la explicacion de los hechos mas generales de los dos flúidos; pero los nuevos descubrimientos, los que constituyen la física moderna, le son enteramente opuestos, mientras que la segunda es por ellos admitida hoy dia casi sin escepcion.

Admitia Newton la existencia de un flúido entre los poros de los cuerpos con cuyas moléculas tenia una afinidad variable segun su naturaleza; calentados *emiten*, de donde toma nombre la hipótesis, particulas de este flúido en todas direcciones con una gran velocidad, que son las que producen los efectos del *calórico*.

En *el sistema* de las ondulaciones se supone que hay esparcido por el espacio y en los cuerpos un *éter* sumamente movible, inerte y elástico, susceptible de mas ó menos condensacion segun las condiciones físicas ó los medios en que se encuentre; pero que perturbado su equilibrio por las moléculas de los cuerpos, nace el movimiento vibratorio con sus ondas condensadas y dilatadas que producen todos los fenómenos del calórico y de la luz, de la propia manera que las ondas sonoras dan el sonido. En el calor y la luz puede haber diferentes irradiaciones y colores, como hay siete notas musicales bien diferentes unas de otras.

LECCION XLIV.

Medios que debemos emplear para medir los efectos del calórico: objeto de los pirómetros, de los termómetros y de los termóscopos.—Construcción y graduación del termómetro.—Determinar qué temperatura marcaría un termómetro conocida que sea la que indica otro.—Fórmulas generales.—Termómetros diferenciales de Leslie y de Rumfor.—Termómetros de máxima y mínima.—Pirómetro de arcilla; idem metálico.

214. **Medios de medir el calor.** Siendo el calórico un fluido imponderable, incoercible é impalpable, no tenemos mas medios de conocer sus propiedades que por el exámen de los cambios que hace experimentar á los cuerpos. Estudiados estos cambios en su mayor parte, venimos en conocimiento de que las sensaciones orgánicas no tienen nada de absoluto, que son esencialmente relativas; metiendo una mano en hielo y la otra en agua caliente, al sumergirlas juntas en agua templada, sentiríamos calor con la primera y frio con la segunda. La misma habitacion nos parece abrigada ó fria segun que nosotros tengamos frio ó calor. La *dilatacion* ó *aumen'o de volúmen* que los cuerpos experimentan, por el contrario, guarda cierta relacion con la cantidad de calor que sobre ellos actúa, y aun para determinados cuerpos y entre límites poco estensos, los efectos pueden mirarse como constantes, siempre que los coloquemos en idénticas circunstancias. Sin perjuicio de manifestar á su tiempo lo que hay sobre el particular, dejaremos sentado *que respecto de algunos cuerpos, la dilatacion es proporcional á la temperatura*. Esta dilatacion es variable de los sólidos á los líquidos y de estos á los gases: débil en los primeros, mayor en los segundos, y muy considerable en los terceros. Echaremos mano de los sólidos para cuando haya mucho calor, y construiremos los *pirómetros* ó *medidores del fuego*; el aparato (fig. 145) representa uno de ellos: calentada con la lámpara de alcohol *m*, la barra metálica *ab*, sujeta en *b* con el tornillo *v*, y apoyándose en *a* sobre la palanca angular *ac*, la obliga por su *aumento de longitud* á recorrer el cuadrante de círculo *ax*. De los líquidos para cantidades moderadas, y formare-

mos los *termómetros*, ó *medidores del calor*: poniendo mercurio en la esfera A (fig. 144), unida al tubo capilar *bc*, y calentándole un poco sube con rapidez á bastante altura. Y finalmente de los gases para *reconocer ligeras variaciones de temperatura*, por medio de los *termóscopos*. Si en el tubo *mn* (fig. 145), se introduce una gota de mercurio *h*, para interceptar la comunicacion del gas del depósito D, con el aire exterior, y se le aplica la mano, el mercurio es al instante rechazado hácia fuera por la dilatacion que el calor de ella produce.

215. **Construccion del termómetro.** Se toma un tubo capilar cilindrico (fig. 146), bien *calibrado*, ó con el *mismo diámetro en toda su longitud*; y aunque esto en rigor no sea posible, conseguiremos al menos saber si las diferencias son de poca consideracion haciendo que un índice de mercurio vaya de un extremo á otro, pues si en estas posiciones tiene la misma altura, claro está que el diámetro del tubo es igual en todas ellas. En el caso de que las alturas sean desiguales, se divide el tubo por este medio en partes de igual capacidad, señalando en él los puntos á donde llega el nivel del mercurio, despues que la base opuesta coineida con la última division. En seguida se suelda á uno de sus extremos un recipiente cilindrico, ó en forma de espiral, ó bien se sopla una esfera con el auxilio de una lámpara de esmaltar.

Para llenar el depósito y parte del tubo de mercurio, se calientan ligeramente, y se introduce invertido en una vasija que lo contenga muy puro. Como el calórico hace salir la mayor parte del aire encerrado, al enfriarse entra por la presion atmosférica una porcion de mercurio á ocupar el vacío que aquel deja; repitiendo la operacion una ó mas veces, los vapores mercuriales desalojan todo el aire, y por último se llenan de mercurio el recipiente y una parte del tubo. Despues de esto hay que trazar la escala ó *graduar* el aparato, para lo cual se toman dos puntos fijos y fáciles de reproducir, que son: la temperatura del hielo fundente y la del agua en ebullicion. Sábese en efecto que un termómetro conserva siempre la misma temperatura cuando se halla sumergido en una masa de hielo en cuanto no se funda todo, ya lo espongamos al sol, ó ya lo aproximemos al fuego; lo cual nos hace ver que el calórico se emplea solo en cam-

biar el estado del cuerpo, y que su temperatura permanece constante mientras dicho fenómeno se verifica. Marcada la altura donde se detiene el mercurio, rodeando el depósito y el tubo con hielo duro y machado, se introduce de nuevo en una atmósfera de vapor de agua (fig. 147), que partiendo de la vasija A, sigue la dirección de las flechas, y pasa después de haber estado en contacto con él á la capacidad exterior, para conservar la primera á una temperatura estacionaria; como tambien en este caso la columna de mercurio permanece fija á cierta altura, concluimos que la temperatura es constante durante la producción del vapor, y marcamos como antes este segundo punto; dividiendo la distancia que hay entre dichos dos puntos en un cierto número de partes iguales queda la escala concluida. Las escalas suelen grabarse en el tallo del termómetro, ó en una plancha de metal ó madera á la que esté sujeto.

En la construcción de los termómetros se dá la preferencia al mercurio sobre los demás líquidos, porque se vé con facilidad dentro del vidrio; por lo regular de su dilatación, y porque necesita mucho calor para reducirse á vapor, 360 grados, y bastante frio para hacerse sólido, de 39 á 40 grados bajo cero.

216. Escalas termométricas. Si se pone el cero en el punto mas bajo ó en el hielo fundente, y 80 en el mas alto ó de ebullición del agua, se forma la escala de *Reaumur*; y si se divide dicho intervalo en 100 partes la *Centígrada* ó de *Celsio*. En el termómetro de *Fahrenheit* se pone el número 212 en el vapor de agua; el 32 en el hielo fundente, y el cero en el sitio que se detiene la columna de mercurio dentro de una mezcla frigorífica.

Cada una de estas divisiones se llama *grado de temperatura*, y se señala poniendo á la derecha y un poco mas alto del número que la representa un pequeño cero; los grados son *positivos* y se indican con el signo *mas* si van desde el cero hácia arriba, ó *negativos* y se indican con el signo *menos* si van del cero hácia la bola. Así $+20^{\circ}$, y -6° se leen, mas veinte grados ó veinte grados sobre cero, y menos seis grados ó seis grados bajo cero. A fin de saber á qué escala corresponden, debe añadirse después la letra inicial de cada una de ellas; 47° C. quiere decir 47 grados centígrados.

217. **Transformacion de escalas.** Para reducir la temperatura de un termómetro á la de otro, basta saber que en los dos primeros la distancia entre sus puntos fijos es la misma. ¿Luego si 80° de R. son iguales á 100° de C., n grados del primero á cuántos equivalen del segundo, y vice versa? Las proporciones siguientes servirán de fórmula general:

$$80 : 100 :: n : x \dots x = n \times 100 \div 80 = n \times 5 \frac{1}{4}; \text{ luego } C = 5 \frac{1}{4} R.$$

$$100 : 80 :: n : x \dots x = n \times 80 \div 100 = n \times 4 \frac{1}{5}; \text{ luego } R = 4 \frac{1}{5} C.$$

Multiplicando los grados de Reaumur por $5 \frac{1}{4}$, tendremos los equivalentes del centígrado; y multiplicando los del centígrado por $4 \frac{1}{5}$, tendremos los correspondientes del de Reaumur.

Para pasar de los de F. á cualquiera de los otros, C. ó R., es indispensable descontar los 32 que señala este donde aquellos tienen el cero, y despues formar las proporciones $212 - 32$, ó $180 : 100 :: n : x$; y $180 : 80 :: n : x$; de donde resulta $x = n \times 5 \frac{1}{9}$ para el primer caso, y $x = n \times 4 \frac{1}{9}$ para el segundo. Si por el contrario, quisiéramos pasar de grados centígrados, por ejemplo, á los de Fahrenheit, añadiríamos 32 al cuarto término de la proporción, $100 : 180 :: n : x$; representando siempre por n el número de grados que se han de transformar. Por consiguiente $C = (F - 32) \div 9 \frac{1}{9}$; $R = (F - 32) \div 4 \frac{1}{9}$; y $F = 52 + 9 \frac{1}{5} C$; $F = 32 + 9 \frac{1}{4} R$.

En todos los termómetros hay, por regla general, dos escalas para hallar las equivalencias á la vista y sin cálculo alguno.

218. **Termóscopo diferencial de Leslie.** Está destinado, como su nombre lo indica, á medir la diferencia de las temperaturas que hay entre sus esferas, (fig. 148). Compónese de un tubo horizontal y dos brazos verticales, terminados por esferas de igual capacidad llenas de aire. Entre ambas se echa un poco de ácido sulfúrico coloreado que debe elevarse á la misma altura en los dos brazos, y en cuyo nivel se pone el cero de las escalas.

Envuelta una esfera en hielo y otra en agua á diez grados, por ejemplo, el aire de la segunda está mas dilatado que el de la primera, y con el exceso de su fuerza elástica oprime la superficie del líquido, le hace bajar en un brazo y elevarse en el opuesto; dividiendo la diferencia de los dos niveles en diez partes iguales y prolon-

gando la escala en todas direcciones queda el aparato graduado.

219. **El termómetro de Rumfort** (fig. 149), es casi igual al anterior, con la diferencia que *el brazo horizontal es mas largo y los verticales mas cortos*. El cero corresponde á la mitad del tubo horizontal, y la escala se estiende por ambos lados: una pequeña gota de ácido sulfúrico marca el cero cuando las dos esferas se hallan espuestas á la misma temperatura, y corre hácia el uno ó el otro lado cuando esta varia: el índice se dirige siempre hácia la parte menos calentada.

220. **Termómetro de máxima.** Ocurre con mucha frecuencia la necesidad ó el deseo de saber las variaciones de temperatura que ha hecho durante el dia sin estar al lado del termómetro. Para conseguirlo se han inventado aparatos que dejan la señal ó registro de ellas en todo él, llamados *termométrógrafos*; el uso de algunos ha demostrado su insuficiencia, y la esplicacion de otros no es de este lugar; por eso vamos á ocuparnos de los termómetros que dan la mayor y la menor temperatura solamente.

El termómetro de *máxima* á la Negretti, es de *índice de mercurio* (fig. 150). Al principio del tallo hay por dentro una pequeña interrupcion *m* que no impide, pero dificulta, el movimiento del mercurio; se gradúa como todos y se dobla para ponerlo horizontal. Cuando la temperatura sube, la fuerza de dilatacion obliga al mercurio á pasar por entre el obstáculo y las paredes del tubo, y llega hasta donde corresponde al calor que hace; mas al disminuir, ya el mercurio no puede volver á la bola, porque el rozamiento en el punto de la introduccion es mayor que la fuerza de cohesion en la suma delgadez á que debe reducirse; el mercurio se divide y deja en el tallo la columna que señala la mayor temperatura á que ha llegado; para preparar otra vez el termómetro se pone vertical, y el peso del mercurio ó ligeras sacudidas le hacen entrar en la bola.

221. **Termómetro de mínima.** El alcohol es mas á propósito para los termómetros que han de estar espuestos á temperaturas muy bajas que el mercurio, pues no se solidifica tan pronto. Dentro del tallo del termómetro hecho de alcohol, ligeramente colorado algunas veces, se coloca un índice de esmalte *m* (fig. 151), terminado por dos cabezuelas, que corre á todo lo largo por su propio

peso con solo invertirlo en uno ú otro sentido. Cuando la temperatura sube, el alcohol pasa sin dificultad; pero al descender, por la accion capilar, arrastra el índice hácia la bola sin dejarlo nunca en seco, de suerte que el extremo mas apartado del depósito señala la *temperatura mínima*.

222. **Pirómetro de arcilla.** Entre los pirómetros mas usados, debemos citar el de Wedgwood ó *de arcilla* (fig. 152), compuesto de dos láminas convergentes de metal ó de porcelana, provistas de una escala que principia con el cero en la parte mas ancha y termina en la opuesta con el número 240°. A estas reglas corresponden unos conos truncados de arcilla muy fina, que solo entran hasta el cero de la escala cuando no son calentados; pero puestos en hornos encendidos dejan desprender una parte del agua que contienen, por cuya razon disminuyen de volúmen de una manera casi proporcional á la temperatura, y metidos despues en la escala hasta donde puedan entrar, indican por el número correspondiente los grados pirométricos ó de calor.

Cada uno de estos grados equivale á 72° C., y el cero corresponde á 581° C., segun el contenido de buenas obras.

La contraccion de la arcilla no es una escepcion de la propiedad general que tienen todos los cuerpos de dilatarse por la accion del calor; la disminucion de volúmen experimentada es efecto de la pérdida del agua, pues si colocáramos la arcilla totalmente desprovista de humedad, en vez de contraerse se dilataria como todos los demás.

Con el objeto de hacer la escala menos larga, se ponen tres reglas en tal disposicion, que la abertura con que terminan las dos primeras es igual á la que la segunda principia á formar con la tercera.

225. **Pirómetros metálicos.** Hay muchos pirómetros fundados en la dilatacion de los metales, que varian bastante por su disposicion. El de la (fig. 143), llamado *de arco de círculo*, ó de Brongniart, es de los mas perfectos y sencillos. Calculando el número de divisiones que recorre la aguja por el aumento de un milimetro, por ejemplo, en la longitud de la barra *ab*, y conocida su dilatacion, se deduce la temperatura del origen que la calienta.

LECCION XLV.

Calórico radiante.—*Propagacion rectilinea del calórico en los medios homogéneos; su velocidad.*—*Emision del calórico en todas direcciones y equilibrio movable de temperatura; enfriamiento; ley de Newton.*—*Influencia del estado y de la densidad de la superficie.*—*Del espesor.*—*De la absorcion del calor y de sus relaciones con la emision.*—*Decrecimiento de la intensidad del calórico con la inclinacion de la superficie y con la distancia.*

224. **Calórico radiante.** Todos los cuerpos cuya temperatura es superior á la del medio en que se colocan, gozan de la propiedad de *emitir ó dirigir calor en todas direcciones*; el fenómeno se conoce con el nombre de *irradiacion*, y se llama *calórico radiante el que de unos cuerpos se dirige á otros*.

La palabra *irradiacion* no es exacta mas que en la hipótesis de Newton, por indicar una accion de movimiento y de traslacion en línea recta. En la de las ondulaciones que la materia no pasa de un punto á otro, no tiene ni puede tener la misma aplicacion, y por eso la palabra *irradiacion* y la de *rádío calorífico*, solo deben servir en general, *para indicar la direccion de un punto cualquiera de la onda*.

225. **Movimiento del calor.** *El calórico radiante se trasmite en línea recta en los medios homogéneos ó de igual densidad.* Interpuesta una pantalla entre un foco calorífico y un termómetro, no hay elevacion de temperatura si están en línea recta. En los medios de diferente densidad, el calórico cambia de direccion, y pueden concentrarse en un solo punto, con ayuda de los lentes, todos los rayos que en otro caso ocuparian un espacio mucho mayor. Su *velocidad* es inmensa, tanto que en la tierra carecemos de bases suficientemente estensas para medirla; por grande que sea la distancia á que pongamos un termómetro de un origen de calor, indica una elevacion de temperatura en el instante mismo que se quita la pantalla que detiene los rayos caloríficos, si estos tienen la intensidad suficiente para ir de un punto á otro. Mas de una razon hay para creer que la velocidad del calor es igual á la de la luz, y en esta hipótesis *andaria con movimiento uniforme 57 mil leguas por se-*

gundo, sin embargo de que las últimas esperiencias sobre este particular le asignan una velocidad un poco menor.

226. **Emision del calor.** *Enfriamiento.* Los cuerpos calentados emiten ó irradian el calor con la misma intensidad en todas direcciones; colocados varios termómetros en el vacío á igual distancia del cuerpo caliente, todos marcan una temperatura. Si la operacion se practicase en el aire, las capas que estuvieran en contacto del cuerpo, disminuyendo de densidad específica por el aumento de temperatura, se elevarian dejando un espacio vacío que sería ocupado por las capas de aire contiguas, y estas calentándose se elevarian tambien, produciendo así una corriente ascendente de aire templado que tocando á los termómetros de la parte superior produciria en ellos mayor temperatura que en los restantes. Esto explica y dá la razon de por qué al calentar las manos ú otros objetos á la lumbre, debemos colocarlos en la parte superior. El cuerpo pierde el calor en el vacío solo por la irradiacion, y en el aire por la irradiacion y por el contacto de las capas de este. Cuando un cuerpo *disminuye de temperatura decimos que se enfria*. El determinar el tiempo en que un cuerpo disminuye de cierto número de grados, ó la velocidad con que lo verifica, sea en el vacío ó al contacto de otros cuerpos, constituye las *leyes del enfriamiento*.

¿Pero qué pasará en un cuerpo que por enfriamiento llega á tener la misma temperatura que el recinto donde se ha colocado? Dos hipótesis se han imaginado para explicarlo: la una supone que la irradiacion cesa en el momento que las temperaturas son iguales y se produce el equilibrio; y en la otra se admite con Prevost de Ginebra, que la irradiacion continúa aun despues de este caso, y que el cuerpo recibe de las paredes del recinto y de los cuerpos que lo rodean, tanto calor como él envia, verificándose constantemente un cambio igual entre todos los cuerpos; de donde toma esta hipótesis el nombre de *equilibrio movable de temperatura*.

Llámase *velocidad á la pérdida de calor que experimenta un cuerpo en un tiempo dado, y es proporcional á la diferencia entre la temperatura del cuerpo y la del recinto*; esto es segun la ley de Newton y para ciertos cuerpos, y entre límites que no pasen de unos 20°. En semejante supuesto, un cuerpo se enfriará de *doble ó triple nú-*

mero de grados en el mismo tiempo, si el exceso de su temperatura sobre la del recinto es doble ó triple en un caso que en otro. Esta ley no solo es exacta respecto del vacío, sino que puede aplicarse aun para cuando los cuerpos estén en contacto con el aire ú otro cuerpo cualquiera, siempre que den lugar á una causa constante de enfriamiento. El uso de los termómetros para medir la temperatura de un cuerpo ó de un recinto está fundado en la ley anterior.

227. **Estado de la superficie.** El estado en que se encuentra la *superficie* de los cuerpos calentados, obra de una manera muy influyente sobre la cantidad de calor que estos irradian. Para demostrarlo se toma el cubo de Leslie (fig. 153), cuyas caras laterales son: una negra, otra blanca, otra metálica y la otra movable para poner láminas en otros estados, ya sean del mismo cuerpo ó cuerpos diferentes; se llena de agua caliente ó mejor se mantiene en ebullicion con una lámpara de alcohol aplicada á la base inferior; se coloca en frente de un espejo cóncavo MAN, y en su foco el termómetro diferencial; en seguida se anota en el momento de equilibrio la temperatura que marca con la presencia de cada una de las caras, y en la relacion de estas temperaturas están las cantidades de calor emitidas, ó sus *facultades radiantes*.

Este método de esperimentacion hace conocer que *el color, la dureza, la trasparencia, no tienen influencia sobre esta propiedad*; pero la cara rayada emite mas que la pulimentada y tersa; de donde se habia sacado la consecuencia que las superficies escabrosas dejan escapar con mayor facilidad el calor por sus puntas, y aun algunos físicos querian esplicar el fenómeno por el aumento que de superficie adquieren los cuerpos á favor de aquella circunstancia; esplicacion satisfactoria en el sistema de la emision, pero de todo punto insuficiente en el de las ondulaciones. Melloni, á quien son debidos muchos adelantos en el calórico, presentando delante de su aparato termosópico dos láminas de plata, fundida la una y forjada la otra, encontró que la primera irradiaba mas que la segunda; pero que si las rayaba con esmeril, la facultad radiante disminuia en la fundida y aumentaba en la forjada. Notado que el rayado de las láminas aumenta la densidad de la superficie en la fundida, y que la disminuye en la forjada, dedujo con oportunidad que la *facultad radiante no*

dependia mas que de la densidad superficial; consecuencia que comprobó despues repitiendo el esperimento con otras sustancias; todo lo que disminuye la densidad superficial facilita el movimieuto del calor y vice versa. En el mármol la facultad emisiva es independiente del estado de la superficie; el mismo calor atraviesa una cara bruñida que rayada.

A pesar de todo, como en los usos comunes las superficies de los cuerpos se hacen escabrosas al cubrirse de sustancias menos densas, cuales son barnices y los óxidos metálicos, podemos casi asegurar que la escabrosidad contribuye á la irradiacion del calor ó del enfriamiento de los cuerpos.

El negro de humo y el blanco de albayalde son dos de los cuerpos que en igualdad de circunstancias irradian mayor cantidad de calor, si bien hay esperimentos que inducen á creer que reducidos al mismo grado de divisibilidad, todos gozarian de la misma propiedad.

228. **Espesor.** El negro de humo y los metales emiten el mismo calor bajo todos los espesores, pero no pasa lo mismo con los demás cuerpos; así es, que una capa de barniz altera la facultad emisiva de una superficie dada; una segunda hace lo mismo y tambien una tercera; pero llega un caso, variable respecto de cada sustancia, en que la adhesion de una nueva capa de barniz ya no produce alteracion: lo que justifica que *la irradiacion se opera hasta cierta profundidad*; medida en todo caso por el espesor que hay entre la superficie de la primera capa y la que ya no causa efecto alguno.

229. **Poder emisivo de los gases.** *Los gases irradian muy débilmente el calor.* El termómetro de Leslie puesto muy cerca de la llama del gas hidrógeno, á pesar de su elevadísima temperatura, no indica alteracion ninguna. La llama del gas del alumbrado público y la de las lámparas emite mucho mas por las partículas sólidas incandescentes que encierran y á las que deben su brillo. Introduciendo en la llama de hidrógeno una espiral de platino, toma su temperatura, se enrojece y despide luz y calor.

230. **Absorcion.** Todo lo espuesto tocante á los cuerpos que están en un recinto de mas baja temperatura y que se enfrian, es aplicable á los que tienen una temperatura menor y se calientan. *El calentamiento de los cuerpos, segun este supuesto, es proporcio-*

nal al exceso de la temperatura que sobre ellos tenga el foco calorífico; crece con la disminucion de la densidad de la superficie y con la escabrosidad ó falta de pulimento.

Para demostrarlo, basta cubrir la bola del termómetro diferencial con láminas del mismo cuerpo, cuyas superficies se hallen dispuestas con este objeto; apuntar el efecto que produce un origen constante de calor con la adición sucesiva de cada una de ellas, y sus facultades absorbentes serán, sin duda alguna, *proporcionales á las diferencias de temperatura señaladas por el termómetro.*

A las relaciones que hay entre las cantidades de calor emitidas ó absorbidas por los cuerpos bajo las mismas circunstancias, ó para un mismo cuerpo en circunstancias diferentes, se las designa con el nombre de *poderes emisivos ó radiantes* en el primer caso, y *absorbentes* en el segundo.

Colocados los cuerpos por el orden de sus poderes absorbentes, se forma una escala enteramente igual á la de los poderes emisivos; es decir, que son *proporcionales entre sí*. Con el aparato (fig. 154), se hace la demostración experimental; *am* es un termómetro de Leslie, cuyas bolas están reemplazadas por cilindros de bases paralelas; la *n* está ennegrecida, y la *a* plateada. Entre los dos recipientes hay el vaso cilíndrico *NA* del mismo diámetro y tiene la cara *A* plateada y la *N* ennegrecida. La experiencia hace ver que los recipientes *a* y *n* indican la misma temperatura, si están á igual distancia del vaso *AN*. Idéntico resultado se encuentra empleando otras sustancias.

151. Intensidad del calor con la inclinacion de la superficie. A parte de lo que acabamos de estudiar, *la intensidad de los rayos caloríficos que un cuerpo emite, depende de la inclinacion de la superficie; y entendemos por intensidad del calor, la cantidad que corresponde á la unidad de superficie.* Con efecto, presentando delante de un reflector cóncavo *M N* (fig. 155), las superficies *ab*, *ac*, *ad*, de un origen constante de calor, todas producen igual efecto termométrico, lo que prueba que si la última envía mayor número de rayos que la primera, su intensidad es mas débil. En todos los casos, la temperatura *T* del termómetro será igual á la intensidad de un haz multiplicada por el número de ellos, y tendremos para la superficie *ab*, $T=IS$, y para la *ac*, $T=IS'$, de donde sale

$IS=IS'$, ó $I:I::S':S$; y por último $I:I': : 1 : \text{coseno } SS'$, recordando que $S=S'$ coseno SS' , ó $ab=ac \times \text{coseno } bac$; ó tambien $ab=ae \times \text{coseno } ben$, tirando la normal ne .

Por consiguiente, *la intensidad de los rayos caloríficos es proporcional al coseno del ángulo que forman con la normal á la superficie emisiva. De la propia manera, el calor recibido por una superficie oblicua es proporcional al coseno del ángulo que forma su normal con los rayos incidentes.*

Ahora se comprende bien porque una semiesfera, un semicilindro, un semicono... irradian tanto calor por la superficie convexa como por la plana que los termina, y porque en general una superficie proyectante irradia igualmente que la superficie proyectada.

232. Intensidad con las distancias. *Si la propagacion del calor se hace por rayos paralelos su intensidad es casi la misma á todas las distancias.* En el vacío la ley sería exacta. En los rayos divergentes la intensidad decrece en razon inversa de los cuadrados de las distancias. La demostracion teórica es igual en todo á la del sonido (201), con solo variar la nomenclatura. En la práctica se hace del modo siguiente: en el vértice de un cono A (fig. 156), se coloca la bola de un termómetro; perpendicular al eje del cono se presenta una superficie calentada á una temperatura constante; alejándola mas ó menos la columna termométrica se conserva sin embargo inalterable.

Las superficies S y S' interceptadas por la prolongacion del cono, pueden mirarse como dos secciones del mismo, y entonces $S : S' : : ad^2 : ad'^2$; por otra parte, la temperatura del calor recibido es la misma en ambos casos, y si la representamos por T, y por I, I' la de cada uno de los rayos de las dos superficies, tendremos $T=IS$, y $T=I'S'$, de donde $IS=I'S'$, ó $S : S' : : I' : I$; que sustituyendo dá $I' : I : : ad^2 : ad'^2 : : d^2 : d'^2$, que es la ley pedida. La demostracion se hace bien y muy sencillamente tomando por cuerpo caliente un muro que hubiese estado espuesto á los rayos del sol.

LECCION XLVI.

Reflexion del calor. Demostracion experimental en toda clase de superficies — Aplicaciones á los espejos conjugados. Demostrar que no hay fluido frigorífico — Poderes reflectantes por el método de Leslie. — Influencia del espesor. — Difusion calorífica.

235. Reflexion del calor. Cualquiera que sea la hipótesis que aceptemos para la esplicacion del calor, es necesario convenir en que proviene de una sustancia muy elástica; porque al llegar sobre superficies tersas y bien pulimentadas se refleja siguiendo las mismas leyes que una esfera de marfil y que el sonido, es decir: 1.º *Que el ángulo de reflexion y el de incidencia son iguales.* 2.º *Que el rayo reflejado y el incidente están en un mismo plano normal á la superficie reflectante.*

Para demostrarlas, se hace venir un haz de rayos calóricos por el eje de un cilindro sobre una superficie bien pulimentada (fig. 157), y se mide el ángulo de incidencia con un semicírculo vertical; en seguida se va corriendo por el otro cuadrante un segundo cilindro que lleva un termómetro en su interior, hasta encontrar una posición en la cual el termómetro marque una elevacion de temperatura, que será por donde pase el calor reflejado; medido este ángulo se encuentra que es igual al anterior, de donde se deduce que la primera ley es cierta. La segunda es evidente, pues dos líneas que forman ángulo siempre están en un mismo plano; como este plano pasa por la normal, resulta que las tres líneas se hallan contenidas en él. Estas leyes son las mismas así en las superficies planas como en las cóncavas ó convexas, con la única diferencia que la perpendicular toma el nombre de *normal* en los dos últimos casos. Igual demostracion se consigue presentando un espejo parabólico á los rayos solares, ó á los de un cuerpo caliente, pero á tal distancia que no haya gran inconveniente en mirar los rayos como paralelos; el calor y la luz se reflejan en el foco de la parábola, y formando la normal ángulos iguales con el radio vector y los diámetros, resulta que los ángulos de reflexion y de incidencia son iguales. Las leyes de la reflexion se verifican tambien en el vacío.

254. **Espejos conjugados.** Como aplicacion de la propiedad que nos ocupa, citaremos el experimento que se hace con los espejos parabólicos y esféricos, los cuales reconcentran el calor tanto y de tal suerte, que colocadas unas ascuas en el foco de un espejo, inflaman la yesca dispuesta en el foco del otro, aun cuando se halle á 20 piés de distancia. Estos espejos (fig. 158), se disponen de suerte que los planos AB y CD sean paralelos y coincidan las líneas que pasan por sus centros normalmente á M y N, en cuyo caso se llaman *conjugados*. El efecto producido por ellos se explica fácilmente; los rayos caloríficos que salen del foco F, son reflejados por el espejo M paralelamente á su eje, cuya circunstancia ya les hace perder poco de su intensidad: al llegar al espejo N son reflejados en el foco F', adquiriendo por la concentracion una temperatura bastante capaz de producir los efectos indicados.

255. **Aparente reflexion del frio.** Colocando hielo en uno de los focos conjugados y un termómetro en el otro, hay un descenso de temperatura: si de este hecho se dedujera por analogia la existencia de un fluido frigorífico que se reflejaba como el calorífico, la consecuencia sería errónea; porque no hay tal fluido frigorífico; ni las palabras *frio* y *calor* encierran nada de absoluto, ni señalan otra cosa que estados relativos; para nosotros un recinto frio es aquel que posee un temperatura inferior á la nuestra, y tener frio ó sentir falta de calor es idéntico, aunque con palabras distintas. Compruébase lo dicho metiendo el termómetro en una mezcla frigorífica, donde á pesar de la presencia del hielo, su temperatura aumenta por la irradiacion del ambiente; es decir, que el hielo enviaria ahora calor y antes frio, consecuencia inadmisibile. Lo que pasa en ambos casos es que el cuerpo de menos temperatura, hielo ó la mezcla frigorífica, intercepta todos los rádios de calor y los reemplaza con otros mas débiles, dando el mismo resultado que si robara el calor al otro, ó le reflejara frio.

256. **Poderes reflectantes.** El calor que se refleja sobre una superficie, *crece* desde la direccion normal, en la cual es casi nula, hasta que se convierte en tangente de la superficie reflectante que está en su *máximum*; varía además con la constitucion molecular del cuerpo, con el pulimento y densidad de la superficie, con

el color, y finalmente en algunos cuerpos hasta con la naturaleza del origen calorífico. La determinacion exacta y precisa de todas estas circunstancias, y su comparacion en todos los cuerpos, forman sus *poderes reflectantes*.

El mejor medio de estudiar y analizar cada una de por sí, sería tomar espejos de todos los cuerpos, y medir la cantidad de calor que de un origen determinado se reflejaran. Leslie consigue el mismo objeto con un solo reflector cóncavo (fig. 459), que espone á la irradiacion de un origen calorífico, interponiendo entre el foco F y una bola de su termómetro; la lámina *m* del cuerpo cuyo reflexion se busca. La lámina *refleja* sobre la bola parte del calor que recibe del espejo, y por consiguiente los *poderes reflectantes son proporcionales á las diferencias de temperatura señaladas por el termómetro diferencial*.

Asi es como se ha llegado á los resultados siguientes: 1.º Que la reflexion es mayor en las superficies pulimentadas que en las escabrosas; 2.º Que aumenta con la densidad superficial; 3.º Que la reflexion del negro de humo puede mirarse como nula; y 4.º Que exceptuando los metales, la cantidad de calor reflejado varia en cada cuerpo con la naturaleza del origen calorífico.

257. **Espesor.** La reflexion no solo tiene lugar en la superficie sino que procede tambien de *cierta distancia de ella*. En efecto, cubriendo un cuerpo poco á poco con capas de barniz alteran su poder reflectante, pero siempre se encuentra un limite, pasado el cual, la adicion de otra capa ya no produce efecto alguno. La profundidad depende de la naturaleza del cuerpo, y está medida en el caso presente por la distancia que hay de la superficie á la capa inalterable.

258. **Difusion calorífica.** Hasta los brillantes trabajos de Melloni se habia creido que los poderes absorbentes eran complementarios de los reflectantes, ó lo que es lo mismo, que el calor que llegaba á la superficie de un cuerpo se dividia en dos partes, una que quedaba absorbida, y otra que se reflejaba. En el dia está demostrado que una parte de calor se disemina por todas partes, ó que experimenta una reflexion irregular, á la que se ha dado el nombre de *difusion calorífica*. No debemos entender por esto que la reflexion sea irregular, la irregularidad está en la superficie; y si su-

ponemos dividido el calórico incidente en una infinidad de pequeños haces, al caer sobre la superficie de las celdillas ó poros, experimentarán la reflexion correspondiente segun las leyes esplicadas; mas la marcha de estos haces deberá ser en todas direcciones, en atencion á que las celdillas tienen toda clase de inclinaciones. Así lo confirma la experiencia, pues con el aparato de Melloni se encuentra una pequeña cantidad de calor en cualquiera posicion que se le coloque. La difusion calorifica es mayor en las superficies escabrosas que lo es en las pulimentadas, y depende de la naturaleza del foco, excepto en los metales y en el negro de humo.

LECCION XLVII.

Trasmision del calor.—Aparato de Melloni.—Influencia de la temperatura y de los origenes caloríficos; espesor, naturaleza, orden y pulimento de las láminas que el calor atraviesa; circunstancia notable de la sal gema.—Dialtermancia.

259. **Termo-multiplicador de Melloni.** Este aparato es mucho mas sensible que todos los estudiados hasta aquí, pues señala las mas ligeras variaciones de temperatura: el calor de la mano á mas de diez piés de distancia; y sin embargo que en los fundamentos de su construccion no podemos entrar, lo que vamos á decir es suficiente para comprender las aplicaciones á que se destina. Está compuesto de dos partes esenciales que son: *la pila termo-eléctrica*, y el *reómetro ó multiplicador*.

La pila está formada de unas cuantas planchitas rectangulares de dos metales diferentes, *el bismuto y el antimonio*, soldadas alternativamente entre sí de modo que formen un prisma recto, y correspondan hácia *un lado todas las soldaduras pares y las impares al otro*. Esta pila tiene la propiedad de que en el momento mismo que un órden de soldaduras está á una temperatura diferente que el otro, por pequenísimo que sea el exceso, se engendra una cosa invisible, llamada *corriente eléctrica*, dotada de bastante fuerza para separar una aguja imantada de su posicion inicial. Este, es pues, el verdadero aparato *termoscópico*.

El *reómetro* ó *multiplicador*, lo forma un hilo de cobre cubierto de seda, que dá muchas vueltas á un rectángulo, dentro del cual está la aguja imantada suspendida por su centro de gravedad de un hilo de seda sin torsion, y al girar recorre la circunferencia de un círculo graduado. El objeto del número de vueltas es aumentar la intensidad de la corriente, y de aquí el *nombre de multiplicador*. Cuando los extremos del hilo se ponen en contacto de cada uno de los órdenes de soldaduras, y hay alguna diferencia de temperatura entre ellas, se engendra la corriente, que conducida por los hilos y actuando sobre la aguja, produce en ella una desviacion *proporcional á la diferencia de temperatura*. El origen calorífico F puede ser una espiral de platino mantenida en el estado de incandescencia por la llama de una lámpara de alcohol; un cubo de cobre ennegrecido muy calentado; agua en ebullicion, ó lámparas de Argant ó de Locatelli provistas de su reflector. Hay sobre la mesita horizontal una plancha metálica perpendicular á su longitud, en donde se ajustan los sistemas de pantallas y sostenedores que pueden colocarse á diferentes distancias de la pila; algunos de ellos giran alternativamente en los planos vertical y horizontal, con cuya disposicion se practican con este aparato todas las esperiencias del calorífico radiante.

En la (fig. 160), A representa la pila termo-eléctrica, B el multiplicador, F el origen calorífico, E un sostenedor para colocar los cuerpos, y C, G y D pantallas para interceptar ó dejar paso al calor.

240. **Trasmision del calor.** La parte del calorífico que llega sobre los cuerpos y no experimenta la reflexion ni la difusion, penetra en su masa; mas al verificarlo puede atravesarla *instantáneamente* ó *con lentitud*.

En el primer caso, que es lo que constituye la *trasmision*, el *calorífico no modifica ni altera en nada el estado de los cuerpos*; de lo cual tenemos un ejemplo bien patente en los rayos solares que atraviesan toda la atmósfera sin producir en ella elevacion de temperatura sensible, y tan cierto es esto, que la encontramos mas fria á medida que subimos á mayor distancia de la superficie de la tierra, y por eso la region de las nieves perpétuas existe hasta en la zona

tórrida. Esta propiedad de la atmósfera, y de otros muchos cuerpos, de ser permeables á la vez al calor y á la luz, dió márgen para creer que solo los transparentes podian ser atravesados por los rayos caloríficos. Melloni ha hecho ver que no siempre los cuerpos mas *diáfanos son los que dan mejor paso al calor*, porque tomando una lámina de cristal de cuarzo ahumado, con un color bastante oscuro para que no sea posible leer con ella, y otra de alumbre enteramente clara é interpuestas por su órden entre la pila y un foco calorífico, con la primera hay en la aguja una desviacion mucho mayor que con la segunda; y como las desviaciones son proporcionales á las temperaturas, resulta que por la lámina de cuarzo pasa mas calor que por la de alumbre. El vidrio negro, empleado en algunos reflectores de óptica, detiene toda la luz y poco calor, y el agua pura con unos vidrios verdes teñidos por el óxido de cobre, absorben tambien el calor que los rayos solares que por ellos pasan, concentrados en el foco de un lente, no hacen variar la temperatura del termómetro mas sensible. Todo lo cual nos autoriza para creer que hay luz sin calor, y calor sin luz.

241. **Influencia del espesor.** *La trasmision decrece con el espesor, pero está bien lejos de serle proporcional;* pues si representamos los espesores de una lámina por los números 1, 2, 3, y el calor incidente por 100, las pérdidas son respectivamente de 0,58, 0,06, y 0,03; de donde se desprende que el calor que pasa las primeras capas de un cuerpo, puede despues atravesar grandes espesores sin perder gran cosa de su intensidad.

242. **Influencia del origen del calor.** *Cuando el origen calorífico tiene una temperatura bajo, la trasmision es débil.* A la de 100° es casi nula; pero aumenta con su intensidad, aun cuando los cuerpos se alejen lo suficiente para que al llegar sobre ellos adquieran todos los rayos de calor la misma temperatura; sin embargo, puede ocurrir que á mayor temperatura haya menor trasmision. Y hé aqui la esplicacion del uso de las dobles vidrieras: los rayos caloríficos del sol pueden atravesarlas por venir de un origen elevado de temperatura, mientras que son detenidos los que parten del interior de la habitacion, como procedentes de cuerpos poco calentados. La *naturaleza del origen*, tiene su importancia bien definida. Hay sus-

tancias que dejan pasar mejor el calor de una espiral de platino enrojecida que los de la lámpara de Argant, y otras vice versa.

243. **Número y orden de las placas.** Interponiendo entre una lámina y el origen de calor otras de varias sustancias, no se encuentra ley ninguna en la trasmision; la parte que pasa es en mayor ó en menor proporcion que la de los rayos libres segun su naturaleza. El orden de las láminas es indiferente; por punto general los cuerpos del mismo color ó naturaleza facilitan el movimiento del calor, y lo perjudican las de color diferente. La *sal gema* hace escepcion; goza de la propiedad de dejar que la atraviesen las 0,92 partes del calor incidente, cualesquiera que sean sus espesores, los orígenes caloríficos y las sustancias interpuestas.

244. **Teoria de Melloni. Nomenclatura.** Las diferentes propiedades que presentan los flujos caloríficos segun la naturaleza y temperatura de su origen al atravesar los cuerpos, y el modo tan distinto como estos obran sobre cada uno de ellos, sugirieron á Melloni una teoría sobre la constitucion del calórico radiante. Supone Melloni que todo haz de calor se compone de varios rayos caloríficos con las propiedades físicas correspondientes, como la luz se compone de siete colores; y llama *termocrose* á la *coloracion calorífica*. Los cuerpos reciben en el calor denominaciones equivalentes á las que tienen en la luz. Cuerpo *diatérmico*, *traspasante* ó *diáfano*, es aquel que deja pasar el calor por su masa; *adiatérmico*, ú *opaco*, el que lo detiene todo; *termocroico*, ó *colorado*, el que deja pasar unos rayos y detiene otros; *atermocroico*, ó *incoloro*, el que no absorbe ninguna cantidad de calor; *leucotérmico*, ó *blanco*, el que refleja todos los rayos en la misma proporcion, y *melanotérmico*, ó *negro*, el que no refleja ninguno.

Cada cuerpo calentado emitirá rayos que segun su termocrose encontrarán mas ó menos facilidad al atravesar las sustancias interpuestas á su movimiento; y despues de pasar por algunas seguirán su marcha casi con igual intensidad en otras, si son del mismo color, ó serán absorbidos en todo ó en parte en relacion de sus tintas. La *sal gema* es atermocroica.

LECCION XLVIII.

Conductibilidad, modo de verificarse y consecuencias que de ella se deducen: division de los cuerpos en buenos y malos conductores; conductibilidad de los sólidos, caja de Ingenhousz; ley de la conductibilidad en una barra prismática.—Experimentos que demuestran la mala conductibilidad de los líquidos y de los gases.

245. Conductibilidad. A la propiedad que tienen todos los cuerpos de *conducir el calor de un punto á otro de su masa*, se la designa con el nombre de *conductibilidad*.

Empleando el calorico cierto tiempo en su propagacion, y no estando las moléculas de los cuerpos en contacto, necesariamente la conductibilidad debe verificarse por *irradiacion molecular*; es decir, de la primera capa pasará á la segunda, de esta á la tercera, y así hasta la última ó hasta llegar á la superficie opuesta del cuerpo. En dicha irradiacion molecular, parte del calor debe experimentar dentro de los cuerpos una serie de reflexiones que no permitiéndole salir, será la que determine su mayor ó menor fuerza de cohesion, sus dimensiones ó volúmenes y aun el estado en que deben encontrarse. De manera que la conductibilidad debe estar en su máximum en los sólidos muy compactos, porque su fuerza de cohesion indica poca reflexion interior; ser débil en los líquidos, como lo indica la movilidad de sus moléculas, y nula en los gases cuya fuerza repulsiva solo puede comprenderse por una disposicion semejante.

Los cuerpos suelen dividirse en *buenos y malos conductores*. Llámense *buenos conductores los que dejan con facilidad pasar el calor á través de su masa; y malos conductores los que lo detienen ú oponen mucha resistencia á su movimiento*. Citanse entre los primeros, todos los metales que se hallan en buen estado de agregacion molecular, y entre los segundos las lanas y los gases; sin embargo, ni los unos ni los otros gozan de esta propiedad de una manera absoluta, pues el calor en todos los casos encuentra resistencia y paso en los cuerpos.

246. Conductibilidad de los sólidos. Los sólidos no son todos igualmente conductores; prueba de ello que puede cogerse

con la mano un carbon encendido por muy cerca de la lumbre sin quemarse, al paso que ninguno se atreveria á hacer lo mismo con una barra de hierro. La *conductibilidad crece con el espesor*; un alambre no quema aun cuando se coja por un sitio próximo al de incandescencia, y un trozo grueso del mismo metal nos abrasaria á una distancia mayor.

Caja de Ingenhouz. Para dar una idea de la diferente conductibilidad de los sólidos, se hacen barras de iguales dimensiones y se fijan en las caras laterales de una caja de hierro (fig. 161), haciendo que correspondan todas sobre un mismo plano horizontal: en seguida se introducen en una vasija de cera fundida, y al retirarlas quedan cubiertas de una capa uniforme de esta sustancia; calentando la caja conoceremos la distancia á que cada barra funde la cera, que será tanto mayor cuanto que sean mejores conductoras.

Termómetro de contacto. El método de la caja de Ingenhouz solo es aplicable á los sólidos dispuestos en barras; para los demás se usa el termómetro de *Fourier* (fig. 162). Consiste en un termómetro *t* que pasa por el cuello de un embudo *a* lleno de mercurio, cerrado por una piel fina. Aplicado al cuerpo cuya conductibilidad se quiere medir, y que está sobre una plancha metálica cuya temperatura mantiene constante una corriente de vapor de agua, por los grados de calor que marque al llegar á un punto estacionario, se vendrá en conocimiento de la conductibilidad buscada.

Barra de Despretz. El calor conducido por una barra prismática tiene que ir disminuyendo con su longitud, porque una capa solo irradia sobre la siguiente la diferencia entre lo que recibe de la precedente y lo que ella pierde por la absorcion y por la irradiacion de su superficie. Si tomamos la barra ABC (fig. 163), y suponemos que su extremo A es el punto de donde parte el calor, los termómetros que en ella están á *distancias iguales y crecientes como los números de una progresion aritmética, marcan temperaturas que decrecen segun los términos de una progresion geométrica*; la relacion depende de la naturaleza de cada cuerpo y de su estension superficial. Para que los termómetros marquen la temperatura de la barra, se introducen las bolas en unos hoyos practicados en ella llenos de mercurio á fin de establecer mejor el contacto.

La desigual conductibilidad de los sólidos explica muchos hechos que diariamente podemos observar. Los metales, el mármol y los cuerpos buenos conductores, nos parecen mas frios que las telas, maderas y los malos conductores, al aplicar sobre ellos la mano; y consiste en que los primeros conduciendo el calor por toda su masa no se calientan en el contacto como los segundos que lo retienen. Los pozos de nieve, el hielo que se esporta de los Estados Unidos de América, y el agua fresca que se vende por las calles en el verano, se preservan del calor con serrin, paja molida ó cubiertas de corcho, cuerpos todos muy malos conductores.

247. **Conductibilidad de los flúidos.** La facilidad con que los líquidos adquieren igual temperatura en todos los puntos de su masa parece indicar que son buenos conductores, y sin embargo no es así, porque echando agua en una vasija ABC (fig. 164) hasta cubrir ligeramente un termómetro C, y añadiendo alcohol despues, el termómetro no indica por su inflamacion, ni por la presencia de otro cuerpo caliente, mas aumento que el de una fraccion de grado; con lo cual demostramos la poca *conductibilidad de los líquidos*. Así es, que si los calentáramos por la parte superior no tomarian una temperatura uniforme; pero si lo hacemos por el fondo, las primeras moléculas calentadas se hacen menos densas y se elevan, descendiendo otras mas frias y mas pesadas para elevarse despues; de esta manera se engendran dos corrientes, una caliente que sube y otra fria que baja, las cuales poniendo en movimiento la masa flúida, le comunican una temperatura casi regular. El mejor conductor de todos los líquidos es el mercurio, porque al fin es metal, y por eso metiendo la mano en un vaso que lo contenga, sentimos en él mas frio que en los demás.

La escasa conductibilidad de los líquidos se comunica á los sólidos imbibidos en ellos. Los frutos que los contienen conservan tanto el calor que tardan mucho en enfriarse si no se agitan un poco. Al cuerpo humano le pasa una cosa parecida; ni se enfria ni se calienta todo él mas que enfriándose ó calentándose la sangre que establece el equilibrio.

248. *Los gases son aun peores conductores que los líquidos, y mas difícil en ellos la demostracion, porque su fuerza repulsiva les*

permite adquirir casi instantáneamente la misma temperatura por todas partes si la presión es uniforme; sin embargo, introduciéndolos en un recipiente con pluma fina ó sustancias filamentosas que dificulten sus corrientes, se demuestra que su conductibilidad es casi nula.

Las ropas entreteladas y las colchas de pluma usadas en el invierno, nos preservan del frío tanto mejor cuanto mas impiden la renovación del aire que rodea nuestro cuerpo, y su irradiación hácia la atmósfera. En los países muy fríos y muy calorosos se emplean en las casas, para evitar que se enfrien en el primer caso, y que se calienten en el segundo, dobles vidrieras y un segundo muro interior á corta distancia del principal para que lleno el intervalo de aire ó de otros cuerpos malos conductores, sea un obstáculo al movimiento del calor.

LECCION XLIX.

Dilatacion; demostrarla en los sólidos, anillo de S' Gravezande; razones que hay para no mirar la dilatacion como uniforme.—Coeficiente lineal por el método de Lavoisier y Laplace.—Aplicacion de las fórmulas del cuadrado y cubo de un binomio á la determinacion de los coeficientes superficiales y cúbicos.

249. Dilatacion de los sólidos. *Llámanse dilatacion al crecimiento ó aumento de volúmen que adquieren los cuerpos bajo la accion del calor.* La esperiencia no deja sombra de duda, como manifestamos al tratar de los termómetros, que la dilatacion es una propiedad general (214). El anillo de S' Gravezande (fig. 165) sirve para demostrarla en los sólidos; calentada la esfera *m* con una lámpara de alcohol *a*, deja de pasar por el anillo *n*, como lo hace antes de elevar su temperatura ó en el momento que se enfria. Con el aparato (fig. 145), se hace la demostracion mas general; la barra *ab* es reemplazada por otras que al calentarse se dilatan sin escepcion. Para valuar la mayor ó menor dilatacion de los cuerpos sirve de medida el coeficiente de dilatacion, que es el *aumento que experimenta la unidad de longitud al pasar de cero á un grado de temperatura.* La dilatacion se llama lineal tomada en una sola dimension; su-

perfección hablando de dos, y cúbica respecto de las tres dimensiones de todo cuerpo.

El coeficiente de dilatacion es diferente para todos los cuerpos, y en general menor en los sólidos que en los líquidos y en estos que en los gases, y varía en un mismo cuerpo sometido á diferentes temperaturas, destruyendo de esta suerte toda idea de uniformidad; y en efecto, estando los cuerpos dotados de una fuerza de agregacion diferente, la misma cantidad de calórico, ó igual fuerza repulsiva, no puede producir el mismo efecto útil ó idéntica dilatacion en todos ellos. Tampoco nos es lícito admitir una regularidad absoluta en un mismo cuerpo, porque prescindiendo de que su cohesion se altera con la temperatura, la primera cantidad de calor aplicada es menester imaginarla descompuesta en dos partes, una haciendo equilibrio á una fraccion igual de la fuerza de cohesion y la otra dilatando el cuerpo; en el segundo aumento de calor la fuerza de cohesion es menor, por consiguiente la dilatacion aumentará y crecerá en cada cuerpo con arreglo á su temperatura.

250. **Dilatacion lineal.** La dilatacion lineal se halla por el procedimiento de Lavoisier y Laplace de la manera siguiente: Se toma una varilla BF (fig. 165), de la sustancia cuyo coeficiente de dilatacion se va á determinar; y despues de medir exactamente su longitud, se apoya por uno de sus extremos contra un trozo de vidrio AC, muy resistente, y se introduce en una caja rectangular de hierro MN. El extremo F de la varilla toca á una lámina vertical EF que gira con facilidad alrededor de un eje horizontal E; perpendicularmente á esta lámina hay un anteojo para dirigir la visual sobre la regla LK dividida en pulgadas y líneas y colocada á bastante distancia.

Se sabe además, que en el caso á que nos referimos, desviada la lámina EF, con un tornillo micrométrico, de una línea de paso en su espira, la visual dirigida por el anteojo correspondia á la division 744; lo cual da el medio de dividir una línea en 744 partes iguales; y añadiendo un Nonius que aproxime hasta las décimas, la dilatacion estará medida con una aproximacion de $\frac{1}{7440}$ de línea.

Dispuesto todo del modo referido, se echa bastante hielo funden-

te en la caja para cubrir la varilla, y entonces la visual se dirige sobre el cero de la escala: calentando luego la caja hasta la ebullicion del agua, ó á mayor temperatura empleando aceite ó mercurio, la varilla se dilata solo en la direccion del extremo F, por no poder vencer en el otro la resistencia del vidrio AC; al verificarlo, hace que la lámina EF tome la posicion EF', y por consiguiente la visual irá á pasar por la division n de la mira. La dilatacion k , en líneas para t° , se halla sencillamente; ¿si la desviacion de 744 divisiones era producida por el aumento de una línea de longitud, n divisiones á cuántas líneas equivaldrán? $744:1::n:k = \frac{n}{744}$

Esta dilatacion pertenece á la longitud l , desde 0° á t° , de manera que para un grado, y para la unidad de longitud tendríamos $k = \frac{n}{744 lt}$. Tanto por este procedimiento como por otros varios, se llega á reconocer que el coeficiente de dilatacion es diferente en todos los sólidos, y que aumenta con la temperatura en un mismo cuerpo, siendo menor de 0° á 100° que de 0° á 200° , etc.; aunque para las aplicaciones no hay inconveniente en mirar los coeficientes como constantes entre 0° y 100° .

La dilatacion superficial se deduce elevando á la segunda potencia el lado l del cuadrado equivalente á la superficie dada, mas el aumento kl que experimenta para t° ; y si para mayor sencillez suponemos $l=1$, resulta $(1+kt)^2 = 1 + 2kt + k^2t^2$.

El tercer término suele despreciarse, por ser k una fraccion muy pequeña y elevada al cuadrado se convierte en una cantidad insignificante, y solo queda para la dilatacion superficial la expresion $2kt$, que como vemos es doble de la dilatacion lineal kt .

251. La dilatacion cúbica se halla de la misma manera, puesto que $(1+kt)^3 = 1 + 3kt + 3k^2t^2 + k^3t^3$, y despreciando los dos últimos términos por su pequeñez, queda $3kt$, por lo cual el coeficiente de la dilatacion cúbica es triple de la dilatacion lineal.

Efectos de la dilatacion. La fuerza de dilacion es enorme; en general se mide por el peso que necesitarian los cuerpos para disminuir de su volumen tanto como aumentan por la accion del calor. Por eso los tubos metálicos de conduccion de agua ó gas es-

tán metidos en parte unos en otros para que no se rompan con el cambio de longitud que experimentan por el calor. Las barras de los caminos de hierro dejan de trecho en trecho cierto intervalo para evitar que se encorven é inutilicen la línea; cada kilómetro aumenta de un decímetro por un grado de temperatura. Las rejas de hierro se encorvan ó rompen las piedras que las sujetan si están muy ajustadas; y hasta los muros de los edificios, y las bóvedas de los grandes puentes sufren alteracion en los grandes cambios de temperatura. Las vasijas de vidrio se rompen al fuego, porque se dilata la parte calentada y no toda ella por su mala conductibilidad.

LECCION L.

Dilatacion de los flúidos.—Coeficiente de dilatacion aparente del mercurio y aplicaciones del termómetro de peso.—Coeficiente real segun el método de Dulong y Petit.—Máxima densidad del agua.—Coeficiente de dilatacion de los gases y ley de Gay-Lussac.—Correcciones de Regnault.

252. **Dilatacion de los líquidos.** Teniendo que calentar los líquidos en vasijas dilatables por la accion del calor, se deja conocer que el aumento de su volúmen ha de estar en parte absorbido por la mayor capacidad que el recipiente les ofrece. Por eso se considera su dilatacion de dos maneras: *aparente, que es la del líquido sin contar con la de la vasija, y real la que tendria si la vasija no fuera dilatante.* La dilatacion aparente, ya podemos asegurar que depende de la naturaleza de las vasijas. En cuanto á la real d , se compondrá de la aparente k y de la dilatacion del vaso; así tendremos $d=k+k'$.

253. **Dilatacion aparente.** El coeficiente *aparente* del mercurio en el vidrio, ó de otro líquido cualquiera, es el aumento que experimenta la unidad de volúmen en la elevacion de un grado de temperatura á partir de cero grados. Si en un termómetro construido con todo esmero, dividimos el volúmen v de un grado por el

V de toda la bola, hallaremos el coeficiente de dilatacion $k=\frac{v}{V}$.

Ahora solo falta examinar cómo se conoce el volúmen de una di-

vision y el de toda la bola. Con este objeto pesaremos primero el tubo vacío y después lleno de mercurio hasta la división n , y la diferencia de los dos pesos dará el peso del mercurio que hay en la bola y en n divisiones; en seguida se calienta el aparato y se saca mercurio hasta que su nivel coincida con el cero; pesado de nuevo, el peso que le falte será el de las n divisiones, y dividido por n , número de ellas, sacaremos el valor de una: así como el peso restante corresponde al volumen de la bola. Hecha la división entre estas dos cantidades resulta para el coeficiente de dilatación del mercurio en el vidrio $k = \frac{1}{6480}$.

Termómetro de peso. El coeficiente de dilatación se halla por otro medio que suministra muchas aplicaciones. Tómese un cilindro A (fig. 167), que termine con un cuello capilar encorvado B, y pesémosle sucesivamente vacío y lleno de mercurio á 0° ; espóngase en seguida á la temperatura t° , para lo cual se sumerge en un baño caliente, y al dilatarse desalojará una porción de mercurio cuyo peso supondremos ser p . Si P representaba el que tenía á 0° , $P-p$ será el del mercurio que llena el aparato á la temperatura t° , y por consiguiente tenemos en p la dilatación de $P-p$ unidades para t° ; de donde sale para un grado; $k = \frac{p}{(P-p)t}$ que dá el mismo valor que la fórmula anterior.

Resolviendo esta ecuación relativamente á t , hallamos $t = \frac{p}{(P-p)k}$
 $= \frac{6480 p}{P-p}$ sustituyendo por k su valor. Esta fórmula nos dá la temperatura de un baño, en valor del coeficiente aparente del mercurio, por cuya razón el aparato se llama *termómetro de peso*.

Los termómetros comunes tienen el inconveniente de no marcar en una masa fluida mas que la temperatura de la capa que los rodea; mientras que los de peso, participando de todos los grados de calor que hay desde el fondo hasta la superficie, dán su temperatura media y son mas á propósito en esta clase de aplicaciones.

254. **Dilatación absoluta.** Las muchas aplicaciones del mercurio en los instrumentos de física aumentaban el deseo de llegar

á su coeficiente de dilatacion sin pasar por el de la vasija, á fin de evitar los errores consiguientes. Los señores Dulong y Petit resolvieron la cuestion del modo siguiente. El aparato (fig. 168), se compone de dos tubos A y D, cuya comunicacion se establece por otro capilar BC, llenos de mercurio hasta la misma altura. Rodeado el brazo A de hielo en estado de fusion, y el de D de agua ó aceite caliente, deja de existir la igualdad entre las alturas del mercurio que contienen, y sigue la ley de dos líquidos cualesquiera en tubos comunicantes; es decir que $H' : H :: D : D'$; representando H y D la densidad y altura del mercurio para el brazo A, que está á 0°, D' y H', las mismas cosas para el D que está á la temperatura t' ; mas siendo $D = D'(1 + dt)$, tendremos, hecha la sustitucion, $H' : H :: (1 + dt) D' : D'$ que se puede trasformar en la siguiente: $H' - H : H :: dt : 1$, de donde sale $d = \frac{H' - H}{Ht} = \frac{1}{5550}$. Las precauciones tomadas por estos físicos son bastante numerosas para inspirarnos una ciega confianza en sus resultados; precauciones cuya enumeracion omitimos por no pecar de estensos; solo añadiremos que median las temperaturas con termómetros de peso, y las alturas de las columnas mercuriales con un anteojo dispuesto á cierta distancia, ó con un aparato llamado catetómetro.

El coeficiente de dilatacion del mercurio crece con la temperatura, pero con tan poca rapidez que bien puede emplearse sin recelo hasta 300°, y considerarlo como uniforme en otras aplicaciones semejantes.

El coeficiente de dilatacion de otros líquidos, se calcula de la misma manera; pero lo mas admitido consiste en hallar el coeficiente de dilatacion aparante por medio del termómetro de peso y añadirle la cúbica del vidrio.

255. **Máxima densidad del agua.** El agua ofrece una escepcion notable en su dilatacion; tomada á la temperatura de 0° y calentándola su volumen, en vez de aumentar, disminuye hasta llegar á 4° que se reduce á un *minimum*, para dilatarse despues segun la ley general. De suerte que á la temperatura de 4° tiene su *máximo de densidad*. Para probarlo se pesa una esfera de marfil en agua á diferentes temperaturas y á la de 4° es la pérdida ma-

yor. Y por eso al hablar de las densidades ó pesos específicos advertimos la necesidad de tomarla bajo estas condiciones ó referirla á ellas por medio del cálculo. Con el aparato llamado de corona, (fig. 169), la demostracion se hace pronto. En el cilindro de cristal se echa agua y en la corona C hielo machacado; al poco tiempo el termómetro inferior señala la temperatura de 4° , que es la del agua que cae como mas densa despues de haberse enfriado; poniendo agua caliente en lugar de hielo sube la temperatura del termómetro superior pero el otro queda estacionario.

256. **Dilatacion de los gases.** La dilatacion de los gases se halla de una manera muy semejante á la empleada para los líquidos. Tomando el tubo termométrico *m* bien calibrado (fig. 170), dividido en partes de igual capacidad y en una relacion dada con la bola, y llenándole de aire bien seco, ó de otro gas, conoceremos su dilatacion por el aumento de volúmen que experimente en cada grado, desde 0° á los 100° , ó á mayores temperaturas si en vez de un baño de agua se hace uso de los aceites fijos.

— Para llenar dicho tubo de aire seco y puro, despues de haberle calentado bien, se pone en comunicacion con una série de tubos enoervados llenos de potasa cáustica y trozos de amianto empapados en ácido sulfúrico, que terminan en el recipiente de la máquina neumática; hecho el vacío y abiertas las llaves de comunicacion, el aire exterior antes de entrar en él y al pasar por los tubos así preparados, deja la humedad y el ácido carbónico que contiene; en seguida se calienta ligeramente la bola para sacar un poco de aire que se reemplaza con una gota de mercurio, á fin de interceptar toda comunicacion entre lo que queda y el de la atmósfera; preparado el tubo segun acabamos de manifestar, se coloca en la caja rectangular de hierro MN llena de agua ó de aceite que se calienta por debajo con lámparas de alcohol; tiene los termómetros *b, c* para medir las temperaturas, y agitadores para establecer la uniformidad del calor en toda la masa; despues se mide el aumento de volúmen que experimente el gas por la accion del calor. Segun Gay-Lussac, á quien son debidos los primeros trabajos, la dilatacion del aire desde 0° á 100° es de 0,575 de su volúmen, ó 0,00375 por cada grado centígrado.

Se ha creído por algun tiempo que el coeficiente de dilatacion del aire era el mismo para todos los gases y temperaturas, por lo cual se decia *que se dilataban uniformemente* segun la ley de Gay-Lussac, como se comprimen segun la de Boile ó Mariotte. Habiendo tomado Regnault por su cuenta la rectificacion del coeficiente de dilatacion, encontró que al enfriarse el aparato y al volver á la temperatura de partida ó de 0° , el indice de mercurio no se detenia en el sitio que ocupaba antes de la elevacion de temperatura, sino que pasaba un poco hácia la bola, lo cual, segun su entender, era efecto de la salida de una ligera cantidad de aire por entre las paredes del tubo y la gota de mercurio. Empleando medios mas exactos halló *que el coeficiente de dilatacion depende de la naturaleza de los gases y de la temperatura*, y que para el aire de 0° á 100° es de 0,3665, ó de 0,00366 para un grado centigrado.

El coeficiente de dilatacion de los gases permanentes es sensiblemente el mismo para todos; el de los liquefactibles varia mucho de unos á otros. Crece con la presion excepto el del hidrógeno, y es mayor bajo presion constante que si se calcula por el aumento de su fuerza elástica. La diferencia es mayor entre los gases liquefactibles y los que se comprimen mas de lo que indica la ley de Mariotte. A débiles presiones todos los gases deben tener el mismo coeficiente, y la ley de Gay-Lussac es en este caso el límite hácia el que se acercan.

LECCION LI.

Aplicacion de las dilataciones: 1.º A determinar el volúmen de un cuerpo á una temperatura cualquiera. 2.º A la correccion de las densidades. 3.º A la de las alturas barométricas. 4.º A la longitud de los pendulos —Termómetro de Breguet.

257. **Relacion entre los volúmenes de un cuerpo á diferentes temperaturas.** Son muy frecuentes los casos en que conocido el volúmen de un cuerpo y su coeficiente de dilatacion, se necesita saber cual seria aquel á otra temperatura diferente.

Para deducir fórmulas que resuelvan este problema, supongamos

que dado el volúmen V á 0° , se pide el que tendria á la temperatura t° . Si la dilatacion de un grado en la unidad de volúmen es k , para t° será kt , y en V unidades Vkt . El volúmen V' se campondrá pues del primitivo V , mas del aumento que ha sufrido; de donde sale $V' = V + Vkt = V(1 + kt)$.

En un orden inverso, conocido el volúmen á la temperatura t° ó V' , hallar el que tendria á 0° , ó V ; para lo cual despejando en la ecuacion anterior hallariamos $V = \frac{V'}{1 + kt}$.

Si en lugar de elevarse la temperatura del cuerpo á t° lo hiciera á t'° , tendríamos como antes, $V'' = V(1 + kt')$, ó $V = \frac{V''}{1 + kt'}$. Igua-

lando los dos valores de V resulta: $\frac{V'}{V''} = \frac{1 + kt'}{1 + kt}$ que es la fórmula mas general para pasar del volúmen de un cuerpo á una temperatura dada al que tendria á otra cualquiera.

258. **Relacion de las densidades.** Esta trasformacion que acabamos de hacer de los volúmenes de unas á otras temperaturas, es aun de mayor importancia para referir las densidades de los cuerpos á una temperatura única. Sea por ejemplo la densidad de un cuerpo á la temperatura t° la que deseamos referir á 0° . El peso P del cuerpo, tanto á una como á otra temperaturas, estará dado por las ecuaciones $P = V' D'$, y $P = V D$; de donde sale que $V' D' = V D$; por último, siendo $V' = V(1 + kt)$ sustituyendo resulta $D' V(1 + kt) = V D$, ó mejor $D = D'(1 + kt)$.

Tambien puede resolverse el problema inverso; quiero decir, dada la densidad á 0° , hallar cual sería á la temperatura t° , para lo cual no hay mas que despejar y sale $D' = \frac{D}{1 + kt}$.

259. **Correccion de la altura barométrica.** Las columnas barométricas no son comparables unas con otras á menos de referirlas á una misma temperatura, que por punto general es la de 0° . Con semejante propósito de la proporcion $H' : H :: D : D'$, ó de la $H' : H :: (1 + dt) D' : D'$ que dedujimos al tratar de la dilatacion real de los líquidos, podemos sacar la ecuacion siguiente $H = \frac{H'}{1 + dt}$.

Para sacar buen partido del barómetro en la medicion de alturas, conviene trasformar por esta espresion las dos columnas mercuriales de la cima y de la base, á la temperatura de 0°, antes de hacer la sustraccion de que hablamos en aquella ocasion (157).

260. **Correccion del péndulo.** Al ocuparnos del péndulo hemos tenido buen cuidado de advertir que siendo los tiempos de una oscilacion proporcionales á las raices cuadradas de sus longitudes, los relojes debian retrasarse ó adelantarse si estas aumentaban ó disminuian. Ahora ya podemos afirmar con toda seguridad, que todos los péndulos varian de longitud bajo la accion del calor, y que en su virtud ninguno divide el tiempo en partes iguales, ni marca la hora verdadera.

Para evitar tan graves inconvenientes han imaginado los fisicos ingeniosisimos medios de compensacion, oponiendo la dilatacion á la dilatacion. He aquí algunos; suspendida la varilla del péndulo de un cuadro formado de dos metales diferentes (fig. 171), la dilatacion de uno de los sistemas contribuye á elevar la lenteja y la del otro á hacerla descender; calculando las longitudes de las varillas en conformidad con sus coeficientes de dilatacion, la compensacion es completa. En el hierro y el laton si el primero tiene una longitud como 1, el segundo necesita 1,7.

Haciendo muy delgada una varilla de platino y uniéndola á una lenteja de zinc que solo pueda dilatarse hácia la parte superior, siguiendo el método de Robert (fig. 172), ó suspendiendo un vaso con mercurio como lo practicó Graham (fig. 173), se consigue el mismo resultado.

Con efecto, el centro de oscilacion puede mirarse como en el de gravedad, de suerte que siendo h la altura del mercurio ó de la lenteja de zinc, la de aquel será $1\frac{1}{2} h$, y para que la compensacion tenga lugar, las dilataciones deberán ser iguales, ó $kl = k' h\frac{1}{2}$, de donde resulta $h = \frac{2kl}{k'}$; ecuacion que dará la altura que debe tener

el mercurio para compensar la dilatacion de un cuerpo cuya longitud es l y su coeficiente k .

Los compensadores de los relojes de bolsillo son dos láminas de metales diferentes, dispuestas á los extremos de un diámetro del ba-

lancin en direcciones opuestas. El metal mas dilatante está en el exterior, con el objeto de que cuando la temperatura aumente y dilate todo el aparato, las láminas al encorvarse hácia adentro aproximen al centro unas bolitas de oro en que terminan los dos sistemas, y de esta suerte queda compensada la pérdida que el resorte experimenta por la accion del calor.

261. Termómetro de Bréguet. El termómetro sólido (fig. 714), está formado de una lámina arrollada en espiral, compuesta de tres metales en el orden de sus dilataciones; la plata en la parte convexa, el oro en el medio y el platino en la cóncava. El principio *h* de la hélice está cogido por unas pinzas y el otro concluye con una aguja horizontal sobre un círculo graduado. En el momento que la temperatura aumenta, la lámina de plata tiende á dilatarse mas que la de platino, y encontrándose ligada á esta, hace á la espiral arrollarse sobre sí misma, la aguja recorre un arco de círculo y señala la temperatura correspondiente al aumento de calor. En un orden inverso, disminuyendo la temperatura, la plata se contrae mas que el platino, desenvuelve la hélice y la aguja marcha en sentido contrario indicando la pérdida del calor. El poner entre las dos láminas otra de oro, es para uniformar la marcha de la hélice, porque siendo el coeficiente de dilatacion de este metal menor que el de la plata y mayor que el del platino, evita por lo tanto su rotura en variaciones grandes y repentinas de temperatura. Se gradúa por comparacion, y tiene la ventaja de indicar las alteraciones de temperatura mas pronto y mejor que los termómetros de mercurio, haciéndole esta circunstancia muy á propósito para señalar el frio producido en el vacío de la máquina neumática.

LECCION LII.

Capacidades caloríficas y ejemplos para conocerlas. — Método de las mezclas y precauciones que deben tomarse en algunos casos. — Calorímetro de Lavoisier.

262. Capacidades caloríficas. Hemos dicho que los cuerpos irradian ó absorben el calor hasta tanto que llegan á la temperatura del recinto, pero no sabemos si todos irradian ó absor-

ben la misma cantidad de calor al variar de igual número de grados termométricos. Para averiguarlo, mézclense pesos iguales de dos cuerpos á temperaturas diferentes y se verá que la temperatura de la mezcla es siempre distinta de la semisuma de sus elementos. Una libra de mercurio á 100° y otra de agua á 0° , solo tienen despues de la mezcla una temperatura de 5° ; es decir, que el mercurio ha perdido 97° para elevar á 5° igual peso de agua. Si pues la misma cantidad de calor no produce idéntico efecto termométrico sobre igual masa de todos los cuerpos, nada mas natural que concebir en ellos diferentes espacios donde abrigarlo ó contenerlo, propiedad que se ha designado con el nombre de *capacidad calorífica*.

La capacidad calorífica de un cuerpo es la cantidad de calor absorbida por la unidad de masa para variar de un grado de temperatura, á partir de cero grados. Semejante cantidad no puede determinarse de una manera absoluta, y por eso se ha elegido la del agua por unidad de medida, ó como suele decirse tambien, como *unidad de calor, ó caloria*, y entonces las de los demás cuerpos con relacion á ella toman con mas propiedad la denominacion de *calores especificos, ó capacidades caloríficas especificas*.

Los métodos empleados para hallar las capacidades caloríficas, son tres: *el de las mezclas, el del calorímetro de Lavoisier y el del enfriamiento.*

265. Método de las mezclas. El mismo peso de dos cuerpos A y B, mezclados no dan una temperatura media, sino que el uno aumenta ó disminuye de mayor número de grados que el otro. Como el calor que el primero pierde lo gana el segundo, si el primero sube de 1, 2, 3, ó n grados cuando el segundo lo hace de uno solo, claró está que su capacidad calorífica será 1, 2, 3 ó n veces menor; las capacidades caloríficas estarán pues *en razon inversa de las sensibilidades de los cuerpos para el calor, ó de los grados de temperatura de que varien*; propiedad que reasume la proporcion $c:c'::n':n$. Haciendo aplicacion al agua y al mercurio, $c=1$, $n=3$, $n'=97$, y substituyendo $1:c'::97:3$, de donde $c'=3|97$.

Si las masas en vez de ser iguales, estuvieran representadas por m y m' , la proporcion de antes se trasformaria en la siguiente: $mc:m'c'::n':n$.

Los números de grados n y n' de que se alteran las temperaturas de los cuerpos, suelen representarse de otra manera. Si la temperatura del cuerpo caliente es t' y la de la mezcla t'' , se deja conocer que la pérdida que ha experimentado vendrá representada por la diferencia $t' - t''$ entre la t' que tenía y la t'' que conserva; por razones análogas, el agua habrá adquirido la t'' que tiene ahora menos la t que tenía antes de la mezcla, y será por consiguiente $t'' - t$: haciendo la sustitucion deduciremos la fórmula general $mc : m'c' :: t' - t : t'' - t$, que se pone bajo esta forma: $m'c'(t' - t'') = mc(t'' - t)$.

Los Sres. Dulong y Petit primero, y Regnault despues, al ocuparse de esta cuestion, no perdonaron medio alguno para llegar á resultados exactos, modificando los métodos de esperimentacion segun la naturaleza de los cuerpos. A unos los reducian á láminas ó á anillos de gran superficie y pequeño espesor, para que tomaran mas pronto una temperatura uniforme en toda su masa, introducidos en un baño de agua ó de aceite que preparaban al efecto; á otros, como los pulverulentos, ya los comprimian fuertemente en moldes de gran resistencia para favorecer su fuerza de cohesion, ó formaban con ellos bolitas que calcinaban despues para volatizar el agua con que los amasaban, ó ya los encerraban en pequeños vasos de laton de paredes muy delgadas; medio que sirve tambien para los que están en fragmentos insignificantes; y finalmente, con los solubles y con los que ejercen accion química hacian uso del aceite de trementina, cuya capacidad calorífica con relacion al agua, determinaban antes con toda exactitud y escrupulosidad. Los líquidos que no pueden ponerse en contacto con el agua, se encierran en tubos de vidrio muy delgados que se sueldan á la lámpara para evitar la evaporacion. Y por último, tenían en cuenta la parte de calor que correspondia á la vasija y á la irradiacion del recinto.

264. **Calorimetro de Lavoisier.** Este aparato (fig. 175), está formado de un vaso de alambre A, donde se pone el cuerpo caliente; de otro BC barnizado de blanco, que se llena de hielo machacado y provisto de la llave F para recoger el agua que proviene de la fusion; del DE que rodea el anterior, con hielo tambien á fin de evitar la radiacion exterior, sirviendo la llave G para dejar salir el agua del hielo derretido por ella; y por último, cubre

todo esto una tapadera de una construccion análoga.

El hielo, como sabemos, conserva durante la fusion la misma temperatura, y absorbe para fundirse (270) una cantidad de calor que seria suficiente para elevar el mismo peso de agua á 79°, ó á 1° un peso 79 veces mayor. Los cuerpos introducidos en la rejilla fundirán tanto mas hielo cuanto mayor sea su capacidad calorífica, y si colocados en las mismas circunstancias de masa y temperatura, funde el uno dos, tres ó n veces mas ó menos que otro, no queda duda de que consistirá en que su calor específico es dos, tres ó n veces mayor ó menor; de aqui el que podamos decir *que las capacidades caloríficas son proporcionales á los pesos del hielo fundido* y escribir $c : c' :: p : p'$. Si tomáramos los cuerpos bajo masas y temperaturas diferentes, designando aquellas por m, m' , y estas por t, t' , tendremos: $mct : m'c't' :: p : p'$.

Para conocer el número que represente el calor específico de un cuerpo, observaremos que tomando el agua por unidad y necesitándose 79° para fundir cada libra de hielo, tenemos $p=1$ y $cmt=79°$, de donde $79c : m't'c' :: 1 : p'$ y por último, $c' = \frac{79cp'}{m't'}$.

Para los sólidos que tengan accion química sobre el hielo ó sobre el agua que provenga de la fusion, para los solubles y para los líquidos, se emplea el medio de encerrarlos en un vaso de paredes muy delgadas; y restando de todo el peso del agua el que corresponde á la fusion de la masa del vaso, resultará el de los cuerpos encerrados en él; es decir, que será legitima la ecuacion $m'c't'=79cp' - m''c''t'$; representando m'', c'', t' , la masa, capacidad calorífica y temperatura del vaso.

LECCION. LIII.

Método del enfriamiento y modo de dar á los cuerpos la misma superficie radiante; conclusiones.—Capacidades caloríficas de los gases referidas al agua.—Idem referidas al aire á volúmen constante y á volúmen variable; y consecuencias que se deducen.

265. **Método del enfriamiento.** Segun las leyes del enfriamiento, todos los cuerpos de temperaturas, volúmenes y superfi-

cies radiantes iguales, pierden en el mismo tiempo en un recinto mas frio, la misma cantidad de calor; y de aqui que si para enfriarse de igual número de grados tardá un cuerpo doble ó triple tiempo que otro, es porque encierra dos ó tres veces mayor cantidad de calor, ó lo que es lo mismo, porque tiene una capacidad calorifica doble ó triple. *Luego las capacidades caloríficas de los cuerpos son proporcionales á los tiempos que emplean en enfriarse de igual número de grados.* Llamando t y t' los tiempos de enfriamiento, mc y $m'c'$ las masas y capacidades caloríficas correspondientes, tendremos la proporcion: $mc : m'c' :: t : t'$.

Los cuerpos sólidos como la madera, el hierro, plomo, cobre, etc., se reducen á la forma de cilindros de igual volúmen, y se les dá la misma superficie radiante cubriéndolos de capas de barniz hasta tanto que la adición de una nueva capa no produzca ya alteracion en el tiempo de su enfriamiento. A los pulverulentos y á los líquidos, no hay mas medio de proporcionárlas la misma superficie radiante que encerrándolos en una cajita de plata muy bien pulimentada, y esperar que la temperatura sea uniforme en todo el conjunto. En este caso siendo m'' la masa y c'' la capacidad calorifica de la plata, ó su equivalente en agua la proporcion anterior se trasforma en la siguiente: $mc + m''c'' : m'c' + m''c'' :: t : t'$.

En este método es indispensable tomar los cuerpos á partir de la misma temperatura, pues solo así es igual la velocidad de su enfriamiento.

266. **Conclusiones generales.** La capacidad calorifica de los sólidos es menor que la de los líquidos, y en estos menor que en los gases. El agua es el cuerpo de mayor capacidad para el calor esceptuando el hidrógeno, y á esta propiedad debe el tardar tanto en calentarse y enfriarse, el servir para templar el acero y para los calentadores. Hasta unos 100° puede mirarse como constante en todos, pero crece con la temperatura, siendo las diferencias mas rápidas cerca del punto de fusion, y en los líquidos mas aun que en los sólidos. La densidad y el calor específico varían en razon inversa; los metales que son los cuerpos mas densos tienen muy poca capacidad calorifica, y por eso aumenta con la temperatura en los mismos términos que la dilatacion. El mercurio tiene muy poca capaci-

dad calorífica porque la densidad se compensa con la fluidéz, y á esto debe el ser tan á propósito para medir las temperaturas. Por último, la capacidad calorífica depende en gran parte del estado de agregación de los cuerpos: el grafito y el diamante que tienen la misma composición química, contienen desigual cantidad de calor; el azufre calentado á 100° sube repentinamente su temperatura hasta 110, si bien despues vuelve á la de 100°; y templando y recociendo algunos cuerpos y golpeándolos con un volante cambian de calor específico aunque no varíe su densidad.

267. **Capacidades caloríficas de los gases.** Las capacidades caloríficas de los gases suelen referirse *al agua y al aire*. En el primer caso el método empleado es parecido al de las mezclas, porque está reducido á hacer pasar una corriente de gas calentado por un serpentín (fig. 176), que dá muchas vueltas en un recipiente de agua fría. Se evita la pérdida de calor por la irradiación, disponiendo el agua á tres ó cuatro grados bajo cero, concluyendo la operación cuando está á tres ó cuatro grados sobre él. Para conocer la masa se hace salir el gas con una velocidad constante; se calcula el gasto ó volumen por las fórmulas establecidas, y se multiplica por la densidad correspondiente. El calórico desprendido se halla representado por la diferencia $t-t'$, entre la temperatura t que tiene á la entrada del serpentín y la t' que conserva á la salida: por igual razón el absorbido por el agua y el serpentín será $t'-t''$; es decir, la diferencia que hay entre la temperatura final t' , si es igual á la que tenía el gas á la salida, y la inicial t'' ; y reflexionando que el calórico perdido por uno es igual al ganado por los otros, deducimos la siguiente ecuación: $m'c'(t-t')=(mc+m''c'')t'-t''$; representando por m'' y c'' la masa y capacidad calorífica del serpentín, ó su equivalente en agua. De aquí resulta que las *capacidades caloríficas de los gases crecen con la presión y con el aumento de temperatura*.

268. **Capacidades caloríficas con relación al aire.** Las capacidades caloríficas referidas al aire, pueden ser de dos maneras: á *volumen variable y presión constante*, ó á *volumen constante y presión variable*. En el primer caso basta dividir las capacidades caloríficas de los gases, halladas por el método anterior, por la del aire referida al agua. También se resuelve la cuestión como

en el caso precedente, haciendo pasar corrientes constantes de aire y otros gases, durante el mismo tiempo y á igual temperatura; y teniendo en cuenta los efectos ocasionados en el agua por volúmenes iguales de todos ellos, *sus capacidades caloríficas serán proporcionales á las cantidades de calor desprendidas, ó á las temperaturas á que elevan igual cantidad de agua, tomando la del aire por unidad.*

Para obtener las capacidades caloríficas bajo iguales volúmenes, se encierran los gases en vasos poco estensibles y *se mide la cantidad de calor necesaria para hacer variar de un grado de temperatura la unidad de volumen.* Estas capacidades caloríficas, obtenidas por medios indirectos, resultan menores que las de volumen variable; lo que prueba de una manera evidente, *que la dilatacion de los cuerpos se verifica á espensas de una cierta cantidad de calor absorbido;* cantidad que podemos medir en cada gas por la *diferencia entre sus capacidades caloríficas á volumen variable y á volumen constante.*

En esto encontramos la razon de por qué comprimiendo los gases en el eslabon neumático hay un desprendimiento de calor capaz de inflamar la yesca, y por qué tambien todos los cuerpos al reducirse de volumen elevan tan marcadamente su temperatura.

LECCION LIV.

Cambio de estado de los cuerpos; nomenclatura.—Calórico latente debido á la fusion, fórmulas generales.—Aplicaciones del aumento de volumen que experimentan algunos cuerpos al solidificarse.—Mezclas frigoríficas.

269. **Cambio de estado.** Los cuerpos son susceptibles, por lo general, de pasar por los tres estados de sólido, líquido y gaseoso, segun la temperatura á que se les someta; pues si bien hay algunas escepciones, como el carbono que no ha podido liquidarse, el éter que hasta el presente no ha pasado al estado sólido, ni el aire al de líquido, es presumible que desaparecerán con el tiempo.

Los sólidos pueden reducirse á líquidos por *fusion* y por *disolucion*. *La fusion es el acto por el cual los sólidos se convierten en lí-*

quidos por el calor. Cuando por enfriamiento los líquidos pasan á sólidos se llama *solidificación*. Si lo hacen á bajas temperaturas se le dá el nombre de *congelacion*. En la fusion hay que tener en cuenta si los cuerpos son *buenos* ó *malos* conductores del calor. En el primer caso, al llegar á la temperatura de fusion *se reduce á líquido toda la masa de repente y de una sola vez*; en el segundo, la fusion *se hace poco á poco y parcialmente*, en el sentido que se va propagando el calor; los cuerpos se ponen mas ó menos *pastosos* y experimentan la *fusion vitrea*; al solidificarse lo hacen tambien con lentitud y en iguales términos. La *disolucion* es cuando los sólidos se reducen á líquidos en los líquidos mismos; por eso llaman al calor el gran *disolvente* de la naturaleza.

Los sólidos no son todos igualmente fusibles; desde 0° á que cambia de estado el hielo, hasta 1000° que absorbe la plata pura; y desde 52° del pirómetro de arcilla que necesita el oro, á 150 que emplea el hierro, hay diferencias grandísimas, encontrándose aun otros, como el platino, que necesitan mayores temperaturas. Los cuerpos que no se funden, ó que solo lo hacen á fuerza de grandes cantidades de calor, se llaman *refractarios*.

Lo mas notable durante la *fusion*, ó durante el cambio de estado, en cualquier sentido que sea, es que la temperatura permanece estacionaria todo el tiempo que dura el fenómeno; y que cada cuerpo lo hace *siempre á la misma temperatura*, con tal que se le coloque en idénticas circunstancias. Todo lo cual justifica la elección que hicimos del cambio de estado para la graduacion del termómetro, tomando la fusion del hielo como el punto mas bajo ó mas frio, y el de la ebullicion del agua para el mas elevado ó de mayor calor.

Este calor que entra en los cuerpos, y cuyo efecto es hacerles cambiar de estado, y que no lo señalan los termómetros, se llama *latente*, *oculto* ó *disimulado*.

270. **Calórico latente de la fusion.** Para conocer el calórico latente de la fusion del hielo, se toma una cantidad de agua bastante caliente para fundir todo el que se introduzca en ella, y observando la pérdida de calor que experimenta, tendremos lo absorbido en el cambio de estado. Una libra de hielo mezclado con otra de agua á 79° dán dos libras de agua á 0°; por consiguiente, el hie-

lo necesita para fundirse 79 unidades de calor. Esto mismo puede espresarse con una fórmula general; para ello supondremos ser m la masa del agua y t su temperatura; si despues de la fusion conserva la temperatura t' , la pérdida que ha experimentado estará representada por $mc(t-t')$. El hielo hará latente el calórico x en la unidad de masa, ó $m'x$ en un trozo cualquiera; además, el agua procedente de la fusion, elevando su temperatura hasta t' , ha ganado $m'ct'$ unidades de calor; y siendo la primera cantidad igual á la segunda, en el caso de equilibrio tendremos la ecuacion $mc(t-t')=m'x+m'ct'$.

Este método no puede emplearse mas que con aquellos cuerpos cuyo punto de fusion es inferior á la temperatura del agua hirviendo; con los restantes úsase de otro un poco diferente, fundado en que *si un cuerpo al fundirse ó licuarse conserva su temperatura constante, en la solidificacion sucederá lo mismo, y el calor que hace latente en el primer caso aparecerá sensible en el segundo.*

Echando, pues, un cuerpo fundido en un líquido poco volátil, y anotando el calor desprendido por su cambio de estado, lo estará tambien de una manera implícita el calor latente. Siendo m' la masa, c' la capacidad calorífica, x el calórico latente, t la temperatura del cuerpo fundido, y t' la de la mezcla despues de la solidificacion, el calor desprendido será $m'x+m'c'(t-t')$, y el absorbido por el líquido $mc(t'-t'')$; representando por m , c y t'' la masa, capacidad calorífica y temperatura del baño; por consiguiente, hallaremos el valor de x por la ecuacion $m'x+m'c'(t-t')=mc(t'-t'')$.

Acabamos de suponer que los líquidos se convierten en sólidos á la misma temperatura que los sólidos pasan á líquidos. Sin embargo de esta regla hay algunas escepciones, y el agua puede bajar hasta -11° sin solidificarse, con tal que la conservemos en una gran quietud y privada del contacto del aire por medio de una capa muy ténue de aceite; pero el mas ligero movimiento basta para su solidificacion, con la particularidad que la temperatura sube hasta 0° . Depende esto, de que las moléculas flúidas, si bien se hallan en equilibrio inestable, necesitan una fuerza, siquiera sea muy pequeña, para vencer su inercia; la cual solo resulta por la inmersión de algun sólido que atraiga con desigualdad dichas moléculas, ó por la excitacion de vibraciones que agiten la masa.

271. Fenómenos de la solidificación. La solidificación de los cuerpos lleva en general consigo la reducción de volumen, porque también depende de un descenso de temperatura; mas *el agua, la fundición de hierro y el bismuto*, presentan la singular propiedad de aumentarlo, en razón á que la cristalización, aun cuando irregular en muchas ocasiones, deja bastantes intersticios para que así pueda verificarse.

La fuerza con que lo hacen es grandísima: una alcarraza y una bomba llenas de agua y bien tapadas se rompen en la congelación; las plantas quedan destruidas por la helada; la tierra se esponja, y algunas piedras presentan un aspecto carcomido y ruinoso desmoronándose poco á poco en tiempo de grandes frios, y enormes rocas se desprenden de las montañas por la acción del hielo como si fuera una gran cuña. La fundición de hierro debe su excelencia para la reproducción exacta y fiel de los bustos, al aumento de volumen que experimenta al solidificarse, que la obliga á ocupar las señales mas imperceptibles del modelo.

272. Mezclas frigoríficas. Ahora podemos comprender la manera de formar mezclas frigoríficas, de las cuales hablamos incidentalmente al tratar de la graduación del termómetro de Fahrenheit y de la reflexión aparante del frío. Poniendo en contacto cuerpos fusibles se roban unos á otros el calor y disminuyen su temperatura: el hielo y la sal marina en proporciones convenientes producen una baja de -20° ; y por eso los botilleros echan alrededor de la garrafa unos puñados de sal para acelerar el punto de congelación de las bebidas: nueve partes del fosfato de sosa con cuatro de ácido nítrico estendido, llevan el termómetro de $+10^{\circ}$ á -29° , de suerte que hay una diferencia de 39° .

Para que dos ó mas cuerpos mezclados produzcan siempre la misma temperatura, necesitan entrar en iguales proporciones y en toda su pureza; mas como son condiciones que difícilmente se llenan, por eso estas temperaturas adolecen de poca seguridad. La razón de todo lo dicho se funda en que al pasar los cuerpos de sólidos á líquidos ó de líquidos á gases, conservan latente el calor, y no teniendo un foco calorífico de donde proveerse, lo roban á los que les rodean, produciendo la baja de temperatura observada.

LECCION LV.

Cambio de liquido á gas y vice versa.—Fórmulas generales para determinar su calórico latente.—Explicacion de algunos fenómenos importantes.—Frio producido por la evaporacion, y congelacion del agua en el vacío.

275. **Calórico latente de la vaporizacion.** *El tránsito de liquido á vapor se llama vaporizacion; tiene lugar de dos maneras, por ebullicion ó por evaporacion. La ebullicion es el acto por el cual un liquido se reduce á vapor en todos los puntos de su masa á espensas de origen de calor; en cada liquido se verifica á la misma temperatura y presion. La evaporacion es cuando lo hace de una manera espontánea, á todas las presiones y sin calentamiento. El paso de gas á liquido por enfriamiento se llama liquefaccion. Cuando un liquido pasa á vapor con mucha rapidez se llama volátil, y volatilizacion el acto en que lo verifica. Tanto en un caso como en otro, hay siempre una absorcion de calor, ya lo tomen los cuerpos de un foco esterno ó ya lo roben á su propia masa y á los demás que los rodean, dando márgen en este supuesto á una disminucion de temperatura ó á un infriamiento.*

El calórico que *absorben* los cuerpos al pasar de líquidos á gases, es exactamente igual al que estos *desprenden* ó hacen sensible al trasformarse en líquidos; y como es mas fácil medir el de desprendimiento que el de absorcion, nosotros lo preferimos para la determinacion del calórico latente.

Con este objeto se echa el liquido que ha de producir el vapor en una retorta A de cuello largo (fig. 177), al que se adapta un serpiente B que dá bastantes vueltas dentro de una vasija C de agua fria, para que se condense todo el vapor que por él circule, y en la entrada del cuello de la retorta hay el termómetro *n* para medir la temperatura del vapor; ahora bien, como el calor que esta hace sensible al reducirse á liquido es totalmente absorbido por el agua y el serpiente, conservando la notacion de antes (270), uno y otro estará representado por la ecuacion $m'x + m'c'(t-t') = (mc + m''c'')(-t'')$.

En el caso de servirse del vapor de agua, c que representa en general la capacidad calorífica del líquido empleado, será para este caso particular igual á c capacidad calorífica del agua.

Tomando todas las precauciones necesarias para que no pueda alterarse la exactitud del procedimiento, ha llegado á conocer Regnault que para el agua, á partir de 100° y bajo la presión de una atmósfera, $x=536c$; de suerte que una libra de agua á 0° , absorbe para convertirse en vapor $656c$.

El vapor de agua al pasar al estado líquido desprende todo este calor menos el que corresponde á la temperatura de la parte condensada; y por eso son muy á propósito las corrientes de vapor para calentar baños, estufas, telares, talleres, etc., y aun para conservar á una temperatura suave y templada las habitaciones en tiempo de invierno en los países fríos.

274. Frio producido por la evaporacion. No es difícil comprender la sensación de frio que nos produce la volatilización de algunas gotas de éter echadas sobre la mano, y la de la salida del baño, ni el enfriamiento que experimenta el agua en las alcarrazas porosas espuestas á las corrientes de aire; el vapor que se se forma en todos los casos es á espensas del calórico de nuestro cuerpo y del que saca de la vasija.

La baja de temperatura debida á la evaporacion, aumenta con la volatilidad del cuerpo, y en prueba de ello el ácido sulfuroso produce en el aire un descenso de -57° , y -68° en el vacío, que es mas que suficiente para solidificar el mercurio. El ácido carbónico al pasar repentinamente de líquido á gas, absorbe tanto calor, que un termómetro colocado en la corriente de este gas, al salir de una vasija donde se le conserve líquido á fuerza de grandes presiones y bajas temperaturas, marca -90° . Si se toma un poquito de ácido carbónico sólido y se aprieta entre los dedos, causa una sensación tan dolorosa como cogiendo un hierro muy caliente.

Tambien es muy frecuente desear que nieve ó llueva, para que temple el tiempo cuando hace mucho frio, y esto se funda en que el vapor de agua de la atmósfera al condensarse ó solidificarse necesariamente la ha de templar con el calórico desprendido en cualquiera de estos fenómenos. Al contrario, bien conocido es de todos el frio

que hace despues de haber llovido, en tiempo de deshielos, ó cuando la nieve se derrite, por la razon de que en estos cambios absorbe lo que en los otros desprende.

Congelacion del agua. Si se rodea la bola de un termómetro de agua con algodón empapado en éter, y se introduce bajo la campana de la máquina neumática, haciendo el vacío, la evaporacion es tan abundante que trasforma el agua en hielo. Tomando (fig. 178) una capsulita plana, puesta sobre otra vasija llena de ácido sulfúrico concentrado, que atraiga y condense los vapores, al hacer el vacío se ve el agua solidificarse en pequeñas y finísimas agujas, aunque sea en medio del estío.

LECCION LVI.

Propiedades de los vapores en el vacío para el caso de saturacion, y diferencia entre los gases y vapores.—Tension de los vapores entre 0° y 100°.—Idem á temperaturas bajo 0°.—Tensiones á altas temperaturas.

275. **Propiedades de los vapores.** Aunque todos los líquidos son susceptibles de emitir vapores, las condiciones de temperatura y de presión á que lo verifican difieren bastante de unos á otros. El agua y el éter lo desprenden á bajas temperaturas, el mercurio aunque en corta cantidad á la temperatura ordinaria, y el ácido sulfúrico solo los emite á la de 30°. De suerte que los líquidos son mas ó menos *volátiles*, ó tienen diferente *tension*, como suele decirse tambien. Por la palabra *tension*, aplicada á los líquidos, debe entenderse *la fuerza elástica de sus vapores*, que es diferente para todos ellos.

276. **Tension de los vapores en el vacío.** Estúdiense las propiedades de los vapores en el vacío con el auxilio de un barómetro de gran cubeta (fig. 179), llamado con impropiedad *barómetro de vapor*. Se principia por echar mercurio en la cubeta hasta el nivel AB y despues se hace otro tanto con el tubo CD, teniendo muy buen cuidado de acabar de llenarlo con un poco del líquido que ha de producir el vapor cuya elasticidad se quiere medir; invertido el tubo como al hacer el barómetro el líquido, en virtud

de su menor densidad, se coloca sobre la superficie del mercurio, donde *produce repentinamente el vapor* que llena toda la cámara barométrica.

La *tension* del vapor desprendido se conoce en que, oprimiendo la superficie del mercurio, rebaja la columna mercurial, y la diferencia *mn* que hay entre su altura y la de otro barómetro puesto al lado, representa su valor. De esta manera es como se halla la *tension* del vapor de todos los líquidos introducidos en el barómetro, y se llega á los resultados siguientes.

1.º *La fuerza elástica de los vapores en el vacío es siempre la misma, con tal que la temperatura no varíe y quede un poco de líquido sobrante.* Para probarlo, se introduce mas ó menos el tubo CD en la cubeta, y sin embargo que en el primer caso disminuye la cámara barométrica *nD*, y aumenta en el segundo, la columna de mercurio no sufre alteracion alguna, y la diferencia *mn*, que mide la *tension* del vapor, tiene en todas estas posiciones igual longitud. Para explicar lo que sucede conviene saber, que cuando disminuye el volúmen de la cámara el vapor, en vez de *aumentar de densidad y de fuerza elástica, se condensa* y vuelve al estado líquido en una cantidad proporcional á aquella reduccion; y al contrario, euando dicho volúmen crece no por eso el vapor existente se *dilata*, sino que se produce *nueva cantidad de él*, á fin de ocupar el vacío que se le presenta. Esto prueba que la cantidad del vapor desprendido de un mismo líquido es proporcional al espacio vacío donde se encuentra y que adquiere inmediatamente el *máximum de tension y densidad*. Cuando en un recinto *no cabe mas vapor se dice, tanto del recinto como del vapor, que están suturados.*

Debemos llamar la atencion sobre la diferencia que hay entre los *vapores saturados y los gases: los primeros no varían de fuerza elástica ni de densidad, y son independientes del volúmen y de la presion, en tanto que los segundos siguen la ley de la comprensibilidad y la de dilatacion.* Si los vapores no están, como suponemos, en contacto de los líquidos respectivos, obedecen á las mismas leyes que los demás gases liquefactibles en cuanto no se acerquen á los puntos de sus cambios de estado.

2.º *La cantidad absoluta del vapor y su fuerza elástica crecen*

con la temperatura. Para cerciorarse de ello basta aproximar á la cámara barométrica una ascua ó una lámpara de alcohol, pues desaparece parte del líquido y baja repentinamente la columna mercurial.

3.º *La tension del vapor depende de la naturaleza del líquido.* Introduciendo en el tubo CD diferentes líquidos unos despues de otros, ó tomando muchos barómetros juntos, la presión que mide *mn* varía en todos ellos.

277. **Tensiones del vapor en el vacío entre 0º y 100º.** Tómense dos barómetros (fig. 180), uno ordinario EF y otro CD que contenga el vapor cuya tensión tratemos de conocer, é introdúzcanse en un cilindro de vidrio MN, que se llena de agua muy pura, y como está sobre una cubeta de mercurio le impide verterse; elevando en seguida la temperatura por medio de lámparas, la tensión del vapor estará medida por la diferencia *mn* entre las dos alturas barométricas. La tensión de los vapores aumenta con la temperatura mucho mas rápidamente que lo hacen los gases encerrados en vasijas de paredes resistentes, lo cual establece una nueva diferencia entre estas dos clases de flúidos. La del vapor de agua á 0º es 4,6 milímetros; á 50º de 91; á la 100º de 760, ó de una atmósfera, y á 200º de 15 atmósferas; es decir, para una temperatura doble hay una presión 15 veces mayor.

Es de advertir que todos los vapores á la temperatura que hierven los líquidos correspondientes, tienen una tensión exactamente igual á la presión de la atmósfera; porque deshacen por completo la columna barométrica. El éter á 37º, el alcohol á 78º, el agua á 100º, y el mercurio á 360º, que son los puntos de su ebullición, emiten vapores de igual fuerza elástica que la presión atmosférica en el momento y paraje que se hace el experimento. Fundándose Dalton en este principio hubo de creer que las tensiones de todos los vapores debían ser las mismas á igual distancia de los puntos de ebullición de sus líquidos; pero el principio es erróneo; la tensión del vapor de éter á 0º debiera ser igual á la del vapor de agua á 65º, consecuencia que está bien lejos de ser cierta según consta de las tablas.

278. **Tensiones á temperaturas inferiores á 0º.** La medición de la elasticidad del vapor en este caso se fundó en el

principio de que solo puede haber equilibrio en un recinto lleno de vapor y á temperaturas diferentes, cuando este adquiere la tension que corresponde á la parte mas fria.

Bajo tal concepto y cuidando de que la parte superior del barómetro de vapor se sumerja en una vasija llena de una mezcla frigorífica *M*, (fig. 181), conoceremos como antes la tension del vapor á esta temperatura por la diferencia *mn* entre las alturas de los dos barómetros.

279. **Para tensiones superiores á 100°.** Se toma el tubo encorvado *ab* (fig. 182), y en la parte *a* se encierra el liquido que ha de dar el vapor, y lo restante tiene mercurio. Metido en un baño caliente el mercurio sube en *b* y la presion es igual en cada instante á la presion atmosférica mas el peso de la columna del mercurio.

LECCION LVII.

Mezcla de los gases con los vapores y medida de su elasticidad.—Aparato de Gay-Lussac.—Fenómenos que favorecen la evaporacion; consecuencias que de aqui se deducen.—Determinacion de las densidades de los vapores por los métodos de Gay-Lussac y Dumas.

280. **Mezcla de los gases y vapores.** Si en lugar de poner los liquidos en el vacío, como hicimos antes, los introdujéramos en un recinto lleno de vapor, de aire ó de un gas en general, la evaporacion no cesaría por eso; sería sí mucho mas lenta, pero la densidad y la tension del vapor son iguales en uno y otro caso.

El aparato de Gay-Lussac, llamado de la mezcla de los gases y vapores, es como sigue. En la (fig. 183), *AB* representa un tubo de vidrio dividido en partes de igual capacidad, que comunica con el *CD* de menor diámetro, provisto de una escala metálica. En la parte inferior hay la llave *E* para dejar salir el mercurio que llena el aparato cuando se quiere producir el vacío: en la parte superior se atornilla una llave *K* que no está atravesada de una parte á otra, sino que lleva una hoquedad *m'* que se llena de liquido cuando mira hácia la parte superior, y lo deja caer en el recipiente al volverla hácia la parte inferior. En la mezcla de los vapores con los gases

esta llave se reemplaza con un globo M lleno del gas que se haya de mezclar con el vapor.

Para hacer el experimento se llena el tubo AB de mercurio, y abriendo la llave E queda un vacío A m que se puede llenar con un gas cualquiera, atornillando el globo M que le contenga; en seguida de quitar el globo se pone la llave K con su embudo donde echamos el liquido; dando vueltas con la llave conseguimos saturar de vapor todo el espacio Am.

Desde las primeras gotas de liquido vertidas en A, el mercurio principia á subir lentamente por la rama CD, y no se mantiene estacionario sino al cabo de cierto tiempo, variable segun la naturaleza del gas y del vapor mezclados; probando con'ello que la *evaporacion en los gases no se hace instantaneamente como en el vacío.*

La columna mn, que mide la tension del vapor, es la misma que si estuviera en el vacío, demostrando esto que *la densidad y la tension del vapor son constantes á una misma temperatura*, cualquiera que sea la presion á que esté sometido.

Reunidos varios liquidos en el mismo recipiente, la *cantidad de vapor emitida por cada uno es independiente de los vapores de los demás, y la presion total igual á la suma de las presiones que tendrian estos vapores separadamente en el vacío á la temperatura correspondiente.* Algunos trabajos de Regnault parecen demostrar que el vapor de agua adquiere una tension menor en el aire y en el azoe que en el vacío, pero las diferencias son insignificantes.

281. **Consecuencias.** La formacion del vapor de agua, por ejemplo, está, segun lo espuesto, mas favorecida en un aire seco que en otro húmedo, y la velocidad de evaporacion crece proporcionalmente á la diferencia entre la tension del vapor á la temperatura á que se desprenda y la que tenga el vapor de la atmósfera ó del recinto donde el agua se halle; por eso es mas abundante con el agua caliente que con la fria, en el verano que en el invierno y en un dia sereno y claro que en otro lluvioso ó cubierto de nubes; por eso tambien en la cima de las montañas y á grandes distancias de la tierra la evaporacion es tan rápida, que se enroscan los pergaminos y á penas se puede vivir, contribuyendo á la vez la débil presion y la falta de vapor, y por último hace que en los puntos eleva-

dos haya una temperatura mas baja que en la capa atmosférica correspondiente, tomada fuera de sus influencias. Los vientos favorecen bastante el fenómeno separando del contacto de los cuerpos húmedos las capas saturadas de vapor para reemplazarlas con otras mas secas ó de mas tension.

282. Densidades de los vapores. Las densidades de los vapores refiérense generalmente al aire, sin perjuicio de hacerlo despues respecto del agua. En el primer caso, para determinar las densidades hay necesidad de conocer el *peso del mismo volúmen de vapor y de aire*, y *dividir*, como siempre, *el peso del primero por el del segundo*. La dificultad está pues en hallar el peso de un volúmen de vapor á todas las temperaturas sin que lo acompañe líquido alguno. Si con este objeto pesamos cuidadosamente el líquido introducido en el barómetro de vapor, y medimos el volúmen que ocupa despues, está la cuestion resuelta, toda vez que la densidad del aire es conocida á cualquiera temperatura que la necesitamos. Para este fin, el barómetro de vapor es de mayores dimensiones, ó como si fuera una campana, y está dividido en partes de igual capacidad (fig. 184): el líquido que ha de producir el vapor se introduce en una ampollita de vidrio, la cual, pesada en esta forma y vacía nos dá por la diferencia entre estos dos pesos el del volúmen del líquido que contiene. Solo falta hacer pasar este líquido á la cámara barométrica; para ello puesta la ampollita dentro de la base inferior del barómetro y abandonada á sí misma sube á la superficie por su menor densidad específica. Un ligero choque contra las paredes del barómetro, ó la elevacion de temperatura, son los medios de romperla y dar salida al líquido encerrado. Rodeado el barómetro de vapor de un vaso cilindrico lleno de agua ó de un aceite fijo, segun la temperatura á que sea necesario operar, y calentando con un hornillo todo el aparato hasta evaporar el líquido por completo, tendremos los volúmenes que ocupa el vapor á diferentes temperaturas. Dividido el peso del vapor por el de un volúmen igual de aire el cociente es la densidad. El método empleado es debido á Gay-Lussac.

283. M. Dumas toma un globo de vidrio que remata en un cuello capilar, donde introduce el sólido ó el líquido que ha de producir el vapor: espone luego el globo á diferentes temperaturas segun la

naturaleza del cuerpo empleado, valiéndose de baños de agua, de aceites fijos ó de mercurio; y cuando ya no sale mas vapor, que se conoce en que cesa un pequeño silbido que hay antes, suelda el tubo con la lámpara de esmaltar. Pesado el globo vacío y lleno de vapor, la diferencia entre estos dos pesos es el de un volumen de vapor igual á la capacidad del globo, y una simple division dá su densidad. La del vapor de agua con relacion al aire es $5\frac{1}{8}$ ó 0,62; la del de éter de 1,61; la del mercurio 6,98. La densidad del vapor de agua á 100° con relacion al agua á 4°, es 1700 veces menor. Un litro de agua se desenvuelve en 1700 de vapor.

La densidad de los vapores con relacion al agua crece con la temperatura, si los líquidos están encerrados en vasijas fuertes, y sobre todo bajo la accion de focos caloríficos enérgicos; el agua se ha convertido en vapor en doble espacio del que ocupaba, mas en este caso la tension del vapor llega á ser tan grande que empaña la transparencia del vidrio disolviendo probablemente alguno de sus elementos. La fuerza elástica de los vapores se emplea con frecuencia para la licuacion de los gases ayudada de las bajas temperaturas; condiciones las mas á propósito para favorecer la fuerza de cohesion, pues por una parte disminuyen la distancia molecular y por la otra la fuerza repulsiva del calor, y por tanto convierten en líquidos la mayor parte de los gases. De los simples solo quedan por licuar el oxígeno, el hidrógeno y el azoe.

LECCION LVIII.

Fenómenos que acompañan á la ebullicion.—Causas que la aceleran ó la retardan; ebullicion del agua en el vacío.—Aplicaciones; marmita de Papin.—Estado esferoidal y hechos mas notables que presenta.

284. Ebullicion. Se entiende por *ebullicion* el acto por el cual un líquido pasa al estado de vapor en todos los puntos de su masa á impulso de un origen calorífico. Es fácil conocer cuando un líquido está próximo á hervir por el ruido que suena dentro de la vasija, ruido mucho mas perceptible aun si el aire ocupa el último tercio de su capacidad, pues entrando en vibración refuerza el en-

gendrado por la condensacion de las burbujas de vapor. Con efecto, calentada la vasija sea por un lado ó por la parte inferior, se forman en la masa flúida dos corrientes, una ascendente de moléculas mas calientes y menos densas por cerca de las paredes, y otra descendente de moléculas mas frias y mas densas por el medio de la vasija. La ebullicion principia naturalmente por la parte mas calentada, y las burbujas de vapor formadas en ella encuentran al elevarse capas mas frias y se condensan causando un vacío que tienden á ocupar las moléculas de los alrededores; mas al verificarlo chocan unas con otras, de donde resulta el ruido que, reforzado por la sonoridad del aire, se oye bastante bien aunque sea á la distancia de tres ó cuatro varas. El calórico que se desprende por los cambios de estado, de las burbujas de vapor eleva y uniforma la temperatura de la masa flúida, hasta que llegando á estallar en la superficie del liquido, principia la ebullicion y continúa tranquilamente.

285. **Causas que influyen en la ebullicion. 1.^a**

Para que los líquidos entren en ebullicion *necesitan emitir vapores de igual fuerza elástica que la presion atmosférica* (277). Por consiguiente todo lo que disminuye la presion atmosférica acelera la ebullicion y lo que la aumenta la retarda. En la cima de las montañas los líquidos hierven con menos calor que al nivel de los mares, y que dentro de las minas.

2.^a La profundidad de la masa retarda el *punto de ebullicion proporcionalmente á lo que vale sobre el fondo el peso de la columna líquida que gravita sobre él*; por esta razon los líquidos hierven á mas bajas temperaturas en las vasijas planas que en las hondas. Tambien se deduce de lo espuesto que las capas de un liquido en ebullicion tienen todas diferente temperatura; está en su *mínimum* en la superficie, y en su *máximum* en el fondo. Al peso de la columna líquida sobre el fondo se refiere la *densidad de los líquidos*; los mas pesados como el mercurio necesitan mayores temperaturas que el agua y el alcohol. Todo lo que aumente la densidad de un liquido aumenta á la par la temperatura de ebullicion; las disoluciones salinas retardan la ebullicion del agua; las alcoólicas lo aceleran; saturada el agua de carbonato de potasa no hierva hasta 140°.

3.^a *La fuerza de cohesion del liquido consigo mismo y con la*

vasija, influye tambien. Con solo cambiar la naturaleza de las vasijas es suficiente para que la diferencia del punto de ebullicion de un mismo liquido llegue algunas veces hasta cerca de 2°; y por eso es muy conveniente para obtener resultados comparables elegir siempre vasijas metálicas á fin de hacer las diferencias menos sensibles. En resumen, para que un *liquido hierva, sus vapores han de tener una tension igual á la presion atmosférica, al peso de la columna liquida sobre el fondo y á la fuerza de cohesion.*

286. **Aplicaciones.** Ya podemos justificar por qué en la graduacion del termómetro se hacia uso del vapor y no del agua hirviendo; la razon es sencilla. Sumergiendo el termómetro en el agua, el punto de mayor temperatura estaria sujeto á tantas causas de error como influyen en su ebullicion, sin contar lo difícil que sería llevar la bola á igual profundidad en dos ocasiones distintas para que participara de una capa flúida con igual grado de calor; al paso que el vapor tiene siempre la misma temperatura, tomado á cortas distancias de la superficie del liquido productor.

Ebullicion en el vacio. Dentro de la máquina neumática entra á hervir el agua á una temperatura inferior á 100°. Puesta la probeta que la contenga debajo de la campana y haciendo el vacio, las burbujas se desprenden en abundancia de la superficie, pero cesan pronto por la elasticidad del vapor, para principiar de nuevo si se repite el vacio. El fenómeno es poco vistoso porque se empaña la campana.

Marmita de Papin. Este aparato está destinado á retardar el punto de ebullicion elevando la temperatura del agua para que las sustancias alimenticias se cuezan en poco tiempo (fig. 185). Se compone de un vaso metálico de paredes muy gruesas, cuya tapadera está sujeta con un fuerte tornillo que atraviesa el asa, unida á la olla por dos clavos pasantes; va provista de una válvula de seguridad que abriéndose de adentro afuera cuando la elasticidad del vapor ha llegado á cierto límite evita las esplosiones. La temperatura es bastante alta para estraer la gelatina de los huesos y proporcionar ciertos aprovechamientos en la confeccion de caldos para los enfermos de los establecimientos de escasos recursos, mas económicos que por los medios ordidarios. Tambien parece que se ha servido en

nuestro tiempo gelatina de huesos de mastodontes, muertos seis mil años antes. La *autoclava* es casi lo mismo y con iguales aplicaciones.

287. **Hypsómetro.** De que el agua entre en ebullicion cuando la elasticidad del vapor es igual á la presion atmosférica, se ha sacado partido para medir alturas con un termómetro. La fig. 186, representa el hypsómetro de Regnault. Un termómetro está sujeto con un corcho á tres tubos de laton que entran unos en otros. Otro cilindrico, que sirve de pié, tiene una caldera en la parte alta donde se echa el agua y una lámpara de alcohol en la base que la caliente. Al poner en juego el aparato se introduce la bola del termómetro hasta cerca del nivel del agua; el vapor desprendido eleva su temperatura y sale despues por una abertura que hay para este fin. Cuando ya el termómetro está estacionario se toma su temperatura y se busca despues en las tablas la presion que tiene en ella el vapor de agua y esta es la de la atmósfera.

288. **Estado esferoidal.** Echando algunas gotas de agua sobre una superficie pulimentada y muy caliente hallamos que en vez de reducirse á vapor como era de esperar, toman la forma de *pequeñas esferas* dotadas de movimientos muy rápidos de traslacion. Los glóbulos vibrantes no tocan á la placa, lo que se conoce por la luz que pasa por debajo, y porque poniendo líquidos que tengan una accion química sobre ella, no producen alteracion alguna. La forma esférica es reemplazada algunas veces por estrellas de número par de rádios y su forma varía con el líquido empleado.

La temperatura á que el fenómeno se verifica crece con la del punto de ebullicion de cada líquido, mas no es preciso que la de la placa llegue siempre á la del rojo blanco como se habia creido. Para el agua es de 142°, 154° para el alcohol, y 61 para el éter. La temperatura á la cual los líquidos toman el estado esferoidal es siempre inferior á la de su ebullicion; el agua á 96°, el alcohol á 75 y el ácido sulfuroso anhidro á —10.

El principal estudio de los fenómenos del estado esferoidal es debido á Boutigny, autor de esta denominacion. Esplica el movimiento de los glóbulos por la reaccion del vapor que se forma en la superficie inferior de los mismos, y su baja temperatura porque el calor se refleje en gran parte sobre la superficie brillante que los termina,

y por el absorbido por el vapor; además en los líquidos diatérmicos el calor puede atravesarlos sin calentamiento.

La cantidad de vapor que se desprende crece con la temperatura de la superficie, pero sucede que si se deja enfriar y desciende del punto que necesita el líquido para su estado globular, cae sobre la placa, la moja, y de repente se convierte todo en vapor, lo cual pudiera ser origen de grandes esplosiones si sucediera en vasijas cerradas que no le ofrecieran libre y fácil salida.

Fenómenos del estado esferoidal. Echando con una pipeta algunas gotas de agua en un globo de ácido sulfuroso anhidro en el estado esferoidal se congela, de manera que el hielo se forma en este caso sobre una placa incandescente. Los trabajadores de vidrio lo toman fundido debajo del agua con la mano, y en una masa enrojecida de fundición de hierro se ha metido la mano sin conocer aumento de calor ni recibir daño alguno; conviene para mayor seguridad humedecerla con agua ó con éter. La razón está en que reduciéndose al estado esferoidal la capa líquida que la envuelve el calor no puede pasar. La *incombustibilidad momentánea del tejido orgánico*, está puesta, por extraño que parezca, fuera de toda duda, y algunos milagros de nuestros antepasados quedan por lo tanto reducidos á hechos naturales y nada más.

LECCION LIX. (1)

Empleo del vapor como fuerza motora.—Máquina atmosférica.—Condensador de Watt.—Máquinas con detencion.—Máquinas con expansion.—Volante.—Regulador.—Trasformacion de movimiento.—Diferentes sistemas de máquinas.—Calderas.—Caminos de hierro; locomotoras de gran velocidad.—Uso de otras clases de vapor.—Buques de vapor, con ruedas y con hélice; ventajas de los dos sistemas.

289. **Aplicacion del vapor á las máquinas.** El empleo de la elasticidad ó tension del vapor como fuerza motriz, es

(1) Esta leccion, y algunas otras, es seguro que ll van al profesor dos dias para explicarlas, pero en asuntos que no admiten cómoda y natural division para señalar la tarea diaria del discipulo, creemos preferible dejarlos bajo la forma de un pequeño tratado, con el fin de fijar su atencion sobre el conjunto.

uno de los descubrimientos que mas ennoblecen la especie humana, porque bajo su inteligente direccion realiza el pensamiento de hacer que todos los hombres vivan en familia, que todos los pueblos no formen mas que un gran pueblo, y que el comercio del mundo se reuna en un solo bazar.

Por eso al entrar en el estudio de las máquinas de vapor, sentimos mas que nunca tener que concretarnos á nociones elementales; pero aun así y sin traspasarlas procuraremos hacer comprender su mecanismo, el juego de las principales piezas, y las clasificaciones que de ellas se hacen.

290. **Máquina atmosférica.** La primera máquina de vapor que funcionó con alguna regularidad es la de Savery; mas siendo insuficiente para el agotamiento de las minas, fué reemplazada por la de Newcomen y Cawley, llamada *atmosférica*: veamos su disposicion. Supongamos que un cuerpo de bomba CD (fig. 187), se halla en comunicacion con una caldera AB, donde se produce el vapor; cuando este adquiere mayor tension que la que corresponde á la temperatura de 100°, abierta la llave S entra en el cuerpo de bomba, vence la presión atmosférica y eleva el piston P. Si despues se echa agua fria en el cuerpo de bomba, el vapor se condensa, produce un vacío, y entonces la presión de la atmósfera, gravitando sobre la superficie superior del piston, le hace descender; dejando salir el agua por la llave T y abriendo la S para que el piston suba de nuevo se repite lo mismo sin cesar.

Si el piston anterior está unido á un balancin MN, hará jugar una bomba destinada á la elevacion de las aguas. En efecto, al subir el piston P baja el piston P' ayudado del peso X; abierta la llave T el vapor sale y deja un vacío, y la presión atmosférica haciendo descender el piston P eleva al mismo tiempo el P' y con él una columna de agua tanto mayor cuanto mayor sea la base del piston P respecto de la del P'. Como el efecto útil es debido y limitado á lo que vale la presión del aire, se ha llamado *máquina atmosférica* la que acabamos de describir.

291. **Condensador.** El primer inconveniente que ofrecia está máquina era la gran pérdida de combustible; pues enfriándose el cuerpo de bomba con el agua, las primeras porciones de vapor

que entran en él se condensan, y es indispensable que pase cierto tiempo antes que el vapor caliente lo bastante sus paredes para que adquiriera de nuevo la tension necesaria á elevar otra vez el piston. Esta operacion, repetida en cada pistonazo, aumentaba el costo y dificultaba el aprovechamiento de sus útiles efectos; pero felizmente han sido evitados semejantes obstáculos con la aplicacion del *condensador de Watt*. Consiste este en *hacer comunicar el cuerpo de bomba con una vasija de agua fria C, donde el vapor se condensa, hasta que su tension sea solo la que corresponde á la temperatura del agua*. Para no perder el calórico desprendido en la condensacion del vapor, se hace que la caldera se alimente del condensador, abasteciendo este de agua fria una bomba movida por el árbol principal de la máquina.

La mejora de Watt es de tal importancia y proporciona tanta economia, que con solo percibir este hombre célebre el importe de la tercera parte del combustible ahorrado en tres máquinas de una mina en Cornouailles, reunia una renta de 60000 francos. La Inglaterra agradecida á los talentos del que creó las máquinas de vapor, le ha erigido una estatua de bronce que perpetue ó immortalice su memoria.

292. **Máquina de simple efecto.** Watt mejoró la máquina de Newcomen haciendo que *el vapor bajara el piston*, en lugar de subirlo, y desde entonces sus efectos dejaron de estar limitados á la presion atmosférica. El vapor entraba despues sobre las dos bases del piston para equilibrar su elasticidad, y por eso subia por el contrapeso X. Como el vapor no obra sino en una sola direccion la máquina se llama de *simple efecto*.

293. **Máquina de doble efecto.** La máquina de simple efecto tenia el inconveniente que el movimiento del piston no era uniforme en la subida y en la bajada, y Watt para perfeccionarle imaginó hacer pasar el vapor alternativamente sobre las dos bases del piston (fig. 188). De la caldera F se dirige por el tubo *m* cuando el piston P está en la parte baja de su carrera, y por el *n* si está en la alta. Esta máquina en la que el vapor hace subir y bajar el piston *se llama de doble efecto*.

La tension del vapor en las máquinas puede ir desde poco mas de

una atmósfera hasta seis, ocho y aun diez. Las máquinas movidas con la elasticidad de menos de dos atmósferas se llaman de *baja presión*; las de dos á tres atmósferas de *media presión*, y de tres en adelante de *alta presión*. Las de baja presión tienen por regla general condensador; las restantes unas lo tienen y otras no. Las de alta presión son mucho más sencillas, ocupan y pesan menos que la de baja presión; su costo es menor también. Se emplean las de alta presión en las locomotoras de los caminos de hierro; pues de otra suerte una buena parte del cargamento consistiría en agua fría. En la marina de guerra las máquinas son de baja presión. En los talleres y en las minas hay de todos los sistemas.

294. **Máquina con detención.** Cuando el vapor obra sobre el pistón mientras dura su movimiento, adquiere tanta velocidad al fin de la carrera que, chocando con fuerza contra las paredes del cuerpo de bomba, acaba por echarlas á perder.

Para evitar los accidentes que esto trae consigo, se dispone de tal suerte las cosas, que el vapor obra solo durante la mitad ó la tercera parte de la carrera, y lo restante lo anda el pistón con la velocidad adquirida y en virtud de la elasticidad del vapor introducido. Se llaman máquinas con *detención* aquellas en que hay esta modificación.

295. **Máquina de expansión.** El vapor que de ciertas máquinas se perdía en la atmósfera tenía todavía una gran fuerza elástica que estaba convidando á su aprovechamiento, como efectivamente así sucedió haciéndole pasar á un segundo cuerpo de bomba cuyo pistón se mueve al propio tiempo que el primero. Las máquinas de *expansión*, que así se llaman las que llevan esta mejora imaginada por Wool, tienen una disposición análoga á la que representa la (fig. 188). El vapor, según indican las flechas, entra por las aberturas *n* y *m* y obra sobre las dos bases del pistón *P* para hacerle subir y bajar, como de doble efecto. En seguida pasa de la parte inferior del primer cilindro á la superior del segundo, y de la superior á la inferior. El vapor concluye esparciéndose en la atmósfera ó en el condensador *F*.

La expansión se calcula según las necesidades de la máquina, dando al cilindro mayor un diámetro que guarde cierta proporción con

la tension del vapor en el cilindro menor. Si fuera por ejemplo de tres atmósferas y quisiéramos tener una expansion hasta reducirla á una atmósfera, sería necesario dar á la base del piston P', una estension triple de la del piston P.

296. **Volante.** El movimiento de la máquina no sería muy regular si hubiera de depender solamente de las impulsiones del piston; y por eso ha sido indispensable añadir á las máquinas un *volante*, que equivale á decir una *pieza muy pesada y generalmente circular*; la que toma y guarda una buena parte de la fuerza del piston cuando este la posee en exceso, para devolvérsela en el momento mismo que la necesita; haciendo de esta manera que el movimiento se aproxime á la uniformidad en cuanto es posible. Es verdad que en lugar de dar fuerza á la máquina, como equivocadamente creen las personas ajenas á la ciencia, destruye una parte de ella por su inercia, por su rozamiento con el eje y por la resistencia del aire; pero no es menos cierto que sin esta adiccion importante las máquinas no hubieran alcanzado el grado de perfeccion que en el dia tienen.

297. **Regulador de Watt.** La entrada del vapor en el cuerpo de bomba, no es posible fuera regular si la dejáramos encomendada á la mas ó menos cantidad que de él se produjera, sabiendo como sabemos, las dificultades que presenta el conseguir que una masa de agua, de alguna consideracion, conserve una temperatura constante. Con la mira de ahorrar el empleo supérfluo del vapor, se añade al regulador una pieza que consiste en una varilla vertical con dos brazos articulados, en cuyos extremos hay dos masas bastante grandes que suben ó bajan segun el movimiento del cuerpo principal de la máquina, á la que está unida por medio de una cuerda sin fin. Cuando el movimiento es muy rápido; las masas se elevan separándose del eje, en virtud de la fuerza centrifuga, y cierran la válvula por donde entra el vapor en el momento crítico que ya no hace falta y es perjudicial; cesando la entrada del vapor en el cuerpo de bomba, el movimiento se hace mas lento, las masas pierden una parte de su fuerza centrifuga, caen, y entonces dejan libre paso al vapor con el que la máquina adquiere nuevo movimiento; la válvula, pues, se cierra y abre alternativamente y así nunca falta el vapor ni entra lamposo con exceso.

298. **Trasformacion de movimiento.** Ahora conviene examinar cómo el movimiento rectilíneo del piston se transforma en circular continuo, según acontece casi en todas las máquinas. En primer lugar para hacer que la varilla del piston aplicada siempre á un balancin se mueva en una direccion rectilínea, se interpone el *paralelógramo articulado* de Watt, cuyos lados pueden girar alrededor de los vértices; del balancin parte una palanca llamada *biela* que se enlaza con otra más pequeña llamada *manivela*, unida al árbol que se quiere hacer girar. La combinacion de estas palancas lleva el movimiento del piston al árbol de la máquina, mas al llegar á dos puntos diametralmente opuestos en que no producirian efecto alguno, el volante las arrastra mas adelante sin que se detengan nunca.

299. **Diferentes sistemas de máquinas.** La importancia de las máquinas de vapor, cada dia mas difícil de definir, ha llamado sin cesar la atencion de los hombres mas competentes, no solo de la ciencia, sino de los negocios públicos. De aquí el que las invenciones se multiplicaran, y el que tengamos para las fijas tres sistemas bien distintos que son: el de doble efecto de Watt, el sencillísimo de Maudslay y el del *cilindro oscilante* de Mambly, que son las de mas cortos resultados.

300. **Calderas.** Las calderas son generalmente grandes cilindros horizontales terminados por superficies esféricas; comunican por su parte inferior con dos ó mas cilindros horizontales de menores dimensiones que se introducen por completo en el fuego, llamados *hervidores*. Las calderas están provistas de toda *clase de válvulas para su seguridad*: unas son placas que se funden á una temperatura fija, y por consiguiente cuando el vapor llega á este grado de calor le dejan libre salida; y otras son pesos que levanta el vapor cuando adquiere una fuerza elástica grande, dejando de todas maneras la máquina asegurada de las explosiones. La entrada del agua está moderada por un flotador que abre ó cierra la válvula según que el nivel esté mas bajo ó mas alto que lo necesario; y cuando falta sale el vapor y dá un silbido en un timbre para llamar la atencion; hay además una gran abertura en la parte superior de la caldera por donde entra el obrero á limpiarla, llamado *agujero del hombre*; la válvula que la cierra se abre de afuera adentro para de-

jar entrar el aire y evitar la apaste la presión de la atmósfera, si acaso se produjera un vacío en la caldera. Por último una serie de manómetros indican en todos tiempos la fuerza elástica del vapor, entre los que merece citarse el metálico de Bourdon, muy adoptado en las locomotoras y en los buques de vapor.

501. Nuevos medios de mover las máquinas de vapor. El calor que esparce consigo en la atmósfera el vapor de las máquinas de alta presión, y el que se pierde en el condensador en las restantes, sobre todo en las de baja presión, impulsaba á buscar medios más económicos con que favorecer sus aplicaciones; estos medios hasta el día se reducen á los siguientes:

Máquinas de vapores combinados. En estas máquinas el calor del vapor que habia de perderse, se aprovecha para cambiar de estado líquidos volátiles, como son el éter ó el cloroformo. La economía que ofrece semejante método parece ser nada menos que del 50 por 100 del combustible.

Máquinas de vapor regenerado. En lugar de pasar el vapor de agua, después de producir su efecto útil, á la atmósfera ó al condensador, se calienta de nuevo llevándole á un sitio de alta temperatura, para que desde allí vuelva otra vez á mover el piston que habia dejado.

Máquina de aire caliente. En la máquina calórica de Ericsson el vapor de agua está sustituido por el aire calentado, para cuyo fin atraviesa antes de llegar al cuerpo de bomba por enrejados metálicos de una temperatura elevadísima.

502. Caminos de hierro. Los caminos de hierro son hoy los medios ordinarios de comunicacion en los pueblos civilizados. Desde 1829 en que ya se establecieron de una manera regular con las calderas tubuladas hasta nuestros días, los progresos hay sido numerosos. Consisten en su parte esencial, en poner á todo lo largo de la *via* dos barras de hierro bien *niveladas* y equidistantes, y casi en *línea recta*, ó con *curvas de grandes radios*, para evitar en las vueltas los efectos de la fuerza centrífuga. Las ruedas llevan un reborde por la parte interior con el cual se aseguran más en los rails y les impide descarrilar; el primer coche es el que lleva la máquina y en pos de él son arrastrados los demás de viajeros y mer-

cancias. Las calderas están atravesadas en el sentido de su longitud por mas de cien tubos que recorre y calienta la flama, aumentando con ellos en grandes proporciones la superficie del contacto con el agua, y produciendo abundante cantidad de vapor en poco tiempo, que es una de las primeras necesidades de esta aplicacion. Los *pistones son dos, uno de cada lado*; se mueven horizontalmente en los cuerpos de bomba de atrás adelante y vice versa; sus varillas están unidas por el intermedio de *bielas* á los *manubrios* ó *manivelas* del *eje* de un par de ruedas á las que hacen girar ó dar vueltas y con ellas las demás y la *locomotora*. El número de ruedas es de tres á cuatro pares. El *maquinista* vá en el carruaje de la máquina, y detrás otro llamado el *tender* con el depósito del carbon. En la caja de distribucion del vapor hay medios de *invertir su direccion*, ya para detener el convoy si fuera preciso, ó para hacerle marchar en *sentido* contrario. Las calderas están provistas de todo lo que dejamos ya espuesto.

Locomotoras de gran velocidad. Lo que anda el carruaje en un tiempo dado es igual á la longitud de la circunferencia de las ruedas motoras multiplicadas por el número de vueltas dadas en él, menos un poco que resbalan hácia atrás y que se llama el *patinado* de la máquina. Para darles mayor velocidad, era indispensable aumentar el diámetro de las ruedas, lo que parecia presentar el grave inconveniente de elevar el centro de gravedad del carruaje en perjuicio de su estabilidad. Crampton sin embargo, resolvió el problema con toda felicidad. Las *ruedas motrices* están por la parte de atrás del coche, y se les puede dar un diámetro de mas de dos metros, descansando la máquina sobre otras cuatro que sostienen una buena parte de su peso, con lo cual evitan los saltos que les hacen en otro caso descarrilar; el centro de gravedad no se eleva por tan oportuna disposicion, y las máquinas caminan con la seguridad que antes de 110 á 120 kilómetros por hora, si están destinadas á viajeros solamente; los trenes mistos ó de viajeros y mercancías andan de 40 á 45, y las de transporte menos aun.

Caminos de hierro atmosféricos. En estos caminos la fuerza del vapor se reemplaza con la *presion atmosférica*. Un tubo cilíndrico de hierro vá de un punto á otro de la línea y en él ajusta un piston

unido al coche que ha de arrastrar á los demás; en cada estación hay grandes máquinas neumáticas movidas por el vapor que estraen del aire ó hacen el vacío, y una vez verificado, el piston camina empujado por la presion exterior y mueve todo el convoy. Los carruajes suben en este sistema mayores pendientes que con el vapor; para los pequeños trozos contruidos han salido muy costosos. Hoy se trata de llevar la correspondencia pública dentro de las poblaciones por un sistema parecido.

Máquinas de aire comprimido. Diremos para terminar esta reseña, que se han construido locomotoras que llevan un gran depósito de aire fuertemente comprimido y que dejan salir cada vez con mas abundancia para que obrando sobre los pistones produzca una fuerza constante. La locomotora, como se vé, lleva almacenada la fuerza de su movimiento, y que debe á la máquina con que se encerró el aire. El depósito necesita ser muy seguro para evitar las esplosiones.

505. **Buques de vapor.** El primer buque que navegó con la fuerza elástica del vapor fué construido por el americano Fulton. Hasta el año 1838 no se habia hecho el viaje trasatlántico de Europa á América; en la actualidad los buques de vapor inundan los mares y los rios un poco caudalosos, y figuran en primera línea entre los elementos de prosperidad y poder de las naciones. Los hay de dos clases, de *ruedas* y de *hélice* ó *tornillo*. En los primeros, á los lados del buque hay dos grandes ruedas con paletas que se apoyan en el agua haciendo de remos, y un poco mas hácia adelante que el centro de gravedad; dos máquinas de vapor de doble efecto una á cada lado dan movimiento el eje de las mismas, y obligándolas á dar vueltas con bastante rapidez, el buque camina como los coches en los caminos de hierro (298). Estos buques tienen el inconveniente de que sus máquinas ocupan mucho espacio; que las ruedas aumentan su anchura y dificultan los movimientos en los rios y en los puertos, y que en tiempo de tormentas las ruedas no estando igualmente sumergidas, ni espuestas de la propia suerte al choque de las olas, se destruyen las máquinas con mas facilidad. En los buques de guerra queda la rueda espuesta á las balas enemigas, é impide armar de artillería una gran parte de sus costados. En los de *hélice* hay en la

quilla, y en reducido espacio, una *rosca de hierro* compuesta de una *sola vuelta*, dividida en tres partes alrededor del árbol, pero de paso muy largo; sumergida en el agua en la posición horizontal y puesta en movimiento por una máquina de vapor, con cuatro cuerpos de bomba, dos á cada lado, dá muchas vueltas en ella, que por su inercia hace veces de *tuerca*, y el buque debe avanzar en cada una tanto como vale el paso de la espira; sin embargo, como el agua cede en parte, la velocidad es un poco menor. El impulso de la máquina de vapor llega al árbol de la rosca ó hélice por medio de engranages que multiplican el número de vueltas; á pesar de todo caminan con menos velocidad que los de ruedas en iguales circunstancias. La combinacion de los dos sistemas parece que es el mas adecuado á la ligereza de las embarcaciones. Las construcciones de los buques de guerra son todas con hélice.

LECCION LX.

Meteorología.—Temperaturas medias y causas que alteran las líneas isothermas; de los climas.—Temperatura de la atmósfera á diferentes alturas.—Calor propio del globo.—Consecuencias que se desprenden para su porvenir físico.—Orígenes de calor.—Vientos periódicos; brisas de mar y tierra; vientos monzones y vientos aliscos; vientos irregulares, huracanes.

304. **Meteorología.** La meteorología es la parte de la física que estudia los fenómenos que pasan en la atmósfera, y los del globo que tienen inmediata relacion con ella. Estos fenómenos se llaman *meteoros*. Los meteoros pueden clasificarse en *caloríficos, luminosos, magnéticos y eléctricos*, segun los flúidos imponderables de que dependen; muchos de ellos se ligan á dos ó mas.

284. **Distribucion del calor.** Los cambios atmosféricos que primero llaman nuestra atencion son los de temperatura, porque su influencia se deja sentir de un modo mas pronunciado sobre todos los seres orgánicos, y ejerce el principal papel en el clima de cada pais ó localidad. Para apreciarlos se hace uso de las *temperaturas medias*. La del dia es el cociente de la suma de todas las *temperaturas observadas divididas por el número de ellas*. La del

mes es la suma de las medias de los días dividida por el número de ellos, y la del año le dozava parte de la media de los meses. La temperatura media de un país viene á ser la media de algunos años.

La temperatura media diurna no exige observaciones muy repetidas: es suficiente hacerlas de tres en tres, ó de seis en seis horas, cuidando de principiar á las 9 ó 12 de la mañana. Todavía se halla mas fácilmente: se toma por lo regular la *semisuma de las temperaturas máxima y mínima del día*. Para conocerlas se usan los termómetros construidos con este objeto (pág. 186), ó en otro caso los termómetros registrados. La temperatura máxima tiene lugar á eso de las tres de la tarde en el verano, y á las dos ó un poco antes en el invierno; la mínima, ó es algo antes ó coincide con los primeros crepúsculos de la mañana; sin embargo cambia mucho con la localidad y con la estacion.

305. Variaciones de la temperatura media. La temperatura media del día y de los meses depende de la estacion, de la latitud, de la altura sobre el nivel del mar, de la naturaleza, cultivo y posicion topográfica del parage, de los vientos y de otras causas. En el ecuador, y la mayor parte de la *zona tórrida*, la temperatura es casi constante del día á la noche y hasta de un mes á otro; en la zona templada las variaciones son bastante marcadas, y en las regiones polares mas todavía. Por punto general los meses mas frios son diciembre, enero y febrero, y deseando los meteorologistas que el *minimum* correspondiese á la mitad del invierno, suponen que siempre tiene lugar el 15 de enero, de donde viene la division del año en *estaciones meteorológicas*. La del *invierno* se compone de los meses mencionados; de marzo, abril y mayo la *primavera*; de junio julio y agosto el *verano*, y de setiembre octubre y noviembre el *otoño*. El *máximum* corresponde al medio de julio, medio á la vez del verano, y la temperatura *media anual* á los meses de abril y setiembre que dividen el otoño y la primavera en partes iguales.

306. Líneas isotermas. Para poder comparar con mas facilidad las temperaturas medias de la superficie de la tierra se han ideado las líneas *isotermas*, que son aquellas que pasan por los puntos de igual temperatura media anual. La isoterma de mayor temperatura se llama *ecuador termal*. Las líneas isotermas no coinciden

con *los paralelos*; son curvas irregulares en su forma con inflexiones mas ó menos pronunciadas y en uno ú otro sentido segun los países por donde pasan. Estas irregularidades, casi nulas hasta unos 20° del ecuador, crecen con la latitud. En Europa vuelven sus convexidades hácia el polo norte y en América sus concavidades, de donde se saca la consecuencia que el nuevo continente es mas frio que el antiguo, á igualdad de latitud. Las líneas isotermas y el ecuador termal cambian con el tiempo. Asi como el ecuador termal no coincide con el geográfico, tampoco el *polo de frio* está al extremo del eje de la tierra, ni se puede asegurar si hay *uno ó dos polos de frio*, por la dificultad de hacer observaciones en países cubiertos de hielos y de nieves perpetuamente, y cuya temperatura mínima se calcula que no baja de —57°. El decrecimiento de la temperatura del ecuador á los polos no es uniforme, pero para nuestro país puede calcularse en un grado por cada 288 kilómetros.

Climas. Para conocer el clima de un país no basta el exámen de las líneas isotermas; es indispensable conocer tambien las *isoquímonas ó invernales*, y las *isoteres ó estivales*. Las primeras son las que pasan por los puntos de igual *temperatura media en el invierno*, y las segundas las que lo hacen por los de la misma *temperatura media en el verano*. Estas líneas son tambien curvas irregulares. Las *líneas invernales* están muy ligadas á la posición de las cordilleras de montañas; los países situados al lado de donde vienen los vientos de los polos son mas frios, y mas abrigados los que están por la parte de los vientos templados, circunstancias que deben tenerse muy en cuenta en la agricultura. Las *estivales* son muy irregulares, y en Europa siguen en parte la dirección de los meridianos; ciudades de muy diferente latitud suelen tener igual temperatura media en el verano. La diferencia entre la media invernal y estival es tanto mayor cuanto la temperatura media anual es mas baja.

La inspección de los tres sistemas de líneas puede darnos idea aproximada de los climas, que son tanto mas *dulces, benignos ó agradables* cuanto que la temperaturas, sin traspasar ciertos límites, ofrecen menos cambios del día á la noche, y en las diferentes estaciones del año. Los cambios bruscos de temperatura, ó el tránsito de mucho frio á mucho calor, ocasionan alteraciones en los seres vi-

vos que les son por regla general muy perjudiciales, y por ello hay países bajo la misma línea isoterma que los frutos que en el uno llevan bien no los dá el otro, por la desigualdad de su clima. De aquí el distinguir los *climas en excesivos*, si la diferencia entre las temperaturas extremas es grande, y en *variables y uniformes*, si es moderada ó insignificante. La division mas natural es la de *climas marinos* á los de la costa, y *climas continentales* á los del interior.

507. **Temperatura de la atmósfera á diferentes alturas.** Las observaciones practicadas en la cima de las montañas, tanto en el antiguo como en el nuevo continente, y en los viajes aereostáticos, no dejan la menor duda de que la temperatura de la atmósfera es cada vez menor. El decrecimiento no guarda proporcion ninguna con la distancia á la tierra; es mayor en el ecuador que en los polos, en el verano que en el invierno, y por el día que por la noche; en una palabra, aumenta con la temperatura del suelo. Sin embargo de todo, podemos admitir que hay cierta regularidad hasta unos tres mil metros, y para nuestro país como término medio, el *descenso de un grado de temperatura por cada 180 metros de elevacion*. Pasado este limite, el enfriamiento crece mas rápidamente, y en las altas regiones de la atmósfera el frio debe ser sumamente intenso: de 60° bajo cero término medio, que es el calor que algunos asignan á los *espacios planetarios*, aunque Pouillet la calcula en —142. La temperatura de las montañas, y sobre todo en los picos altos y escarpados es algo menor que la de la capa horizontal tomada á mucha distancia sobre las llanuras. Por supuesto que no se trata de los mares donde la temperatura del aire varia poco.

Citaremos en apoyo de lo que acabamos de decir la existencia en todas las zonas *de la region de las nieves perpétuas*, y que si bien podemos considerar sus limites inferiores demarcados por una línea que partiendo de la tierra á la distancia de muchos grados de los polos, se fuera elevando hasta el ecuador, deberemos advertir que esta línea presentaria muchas irregularidades hijas de las localidades por donde pasara; y hasta en el mismo ecuador la region de las nieves está á desiguales alturas.

Es fácil comprender la causa del mayor frio que se experimenta

en la parte alta de la atmósfera, siendo así que el calor solar atraviesa el aire y los gases en general sin calentarlos; por lo cual no elevan sensiblemente su temperatura mas que por el contacto de los sólidos y de los líquidos, de donde viene que las capas de aire toman mayor grado de calor cerca de la superficie de la tierra. A esto mismo se agrega que en las montañas, la evaporacion es mucho mas rápida, y su irradiacion hácia los espacios planetarios obra como otra causa grande de enfriamiento, con tanta mayor razon cuanto que no es compensada; de modo que deben tener, como tienen, menor temperatura que la capa de aire correspondiente.

508. **Temperatura del globo á diferentes profundidades.** Examinando la temperatura que tiene el globo á diferentes profundidades se encuentra en él cierta cantidad de calor propio, ó independiente del que recibe del sol. Escalonando termómetros bien resguardados del aire, desde la superficie hasta la mayor distancia donde se puede llegar, aparece primero una capa donde son nulas las variaciones diurnas, y otra despues para las anuales; la profundidad de ambas varía con multitud de circunstancias, siendo una de ellas la latitud, ó donde las temperaturas extremas difieren poco. En el ecuador, la *capa invariable anual* dista un par de metros poco mas ó menos de la superficie; en Francia llega á 20. Lo mas importante de la capa invariable es que su *temperatura es igual á la media del aire* de donde se encuentra; y que puede servir para conocerla á falta de observaciones directas; el agua de los pozos hondos conservando la misma temperatura todo el año sirve para una primera aproximacion, y por eso nos parece fria en el verano y caliente en el invierno segun que nos roba ó cede calor.

509. **Calor central.** El crecimiento de temperatura con la profundidad no está sujeto á ley alguna, pero se aproxima bastante á un grado de temperatura por cada 30 metros; suponiéndose hoy que el aumento es mucho mas rápido á grandes profundidades. Estas ligeras indicaciones nos ponen en el caso de mirar el centro de la tierra como completamente incandescente, sirviendo los volcanes de respiraderos de este gran foco calorífico. En las *aguas termales* y en algunas minas donde los operarios, por el mucho calor, tienen que trabajar desnudos, se nos ofrecen otras pruebas de la existencia de

temperaturas elevadísimas bajo la costra sólida de la tierra; y que en otro tiempo debieron ser mucho mas elevadas cuando todavía se conservan en este estado, á pesar del enfriamiento de la tierra en su irradiacion hácia los espacios celestes. De la pérdida de calor que durante muchos siglos ha experimentado nuestro globo, sacaron partido algunos filósofos para predecir que llegaria á cubrirse de hielo como lo están actualmente los polos. Semejante conclusion no es exacta ni deben inquietarse por ella las generaciones venideras; pues segun observaciones dignas de todo crédito, el calor propio del globo no altera de 1/50 de grado su temperatura media, que está ya ligada casi exclusivamente á la influencia solar, y en su consecuencia, las cosas seguirán en adelante con la misma regularidad y armonia que se viene notando desde el último trastorno acaecido hasta nuestros dias. De manera que nosotros estamos rodeados por los espacios celestes con un frio espantoso, y por el fuego central donde las sustancias mas refractarias se encontrarán, acaso, en el estado de vapor. La atmósfera abriga la tierra conservando parte del calor que recibe del sol para irradiarlo por la noche; sin ella los tránsitos del calor al frio serian impropios á toda vegetacion. La costra de la tierra nos aísla del fuego interior.

310. **Orígenes de calor.** La temperatura de la tierra es debida á orígenes de tres clases, á saber: *permanentes*, *accidentales* y *vitales*. Los primeros son el sol, el calor propio del globo y el de los espacios celestes. Los segundos abrazan las acciones químicas, cambios de estado y acciones mecánicas, y los terceros comprenden el calor animal. El mas influyente de todos es el del sol, que envia á la tierra en un año, segun cálculos bastante fundados, tanto calor como se necesitaria para fundir una cubierta de hielo de 30^m, 9 de espesor. Ahora se comprende que por la diferente distancia y oblicuidad de la tierra haya tan grandes variaciones de una zona á otra, en las estaciones del año, y hasta en las horas de un mismo dia. De las combinaciones químicas, y principalmente de la combustion, sacamos el calor necesario á la mayor parte de los usos domésticos, para guarecernos de las intemperies atmosféricas, y para los grandes talleres de vapor y fundicion. La compresion determina un desprendimiento de calor al reducir los cuerpos de volúmen, y por eso no tiene nada

de extraño que se enciendan los ejes de los carros, galeras y diligencias, que sufren grandes presiones y rozamientos, y aun el que llegue á conseguirse fuego por la flotacion de dos trozos de madera bien secos. La frotacion ofrece la particularidad que si se le aplica una máquina de fuerza de dos caballos de vapor, desprende calor para mover otra de uno, lo que ya pudiera dar lugar á ciertas aplicaciones donde hubiera mucha fuerza y poco calor ó combustible. Los cambios de estado se dejan sentir de una manera bien marcada en la atmósfera; y por fin las corrientes eléctricas dán bastante calor para fundir el platino y el diamante, que son cuerpos sumamente refractarios.

311. **Vientos.** *Llámanse viento al aire en movimiento.* Los vientos toman el nombre del punto del horizonte por donde soplan, de su regularidad, de la velocidad, de su duracion, de la localidad donde reinan, y de algunas de sus propiedades físicas. Los vientos pueden ser por *aspiracion* ó por *impulsion*; los primeros se propagan en sentido opuesto de su direccion, y los segundos en el mismo. Los vientos se dividen en *regulares* y *accidentales*.

Los vientos constantes, regulares ó periódicos, son aquellos que duran un tiempo determinado y aparecen con cierta regularidad, tales son las brisas de mar y tierra, los vientos monzones, los aliseos, el chansin, etc.

Las brisas de mar y tierra son las ligeras corrientes de aire que vienen del mar hácia la costa, ó van de la costa hácia el mar. Estas brisas, como todas las corrientes aéreas, marchan casi siempre de la parte mas fria á la mas caliente cerca del suelo; así que, soplan del mar á la tierra durante el día, y de la tierra hácia el mar durante la noche; las horas en que nacen estas corrientes dependen de la latitud y de las condiciones de la costa. Los vientos *monzones* se sienten en la zona tórrida y en los mares que forman los grandes golfos; una parte del año soplan en una direccion y la otra en la opuesta, dirigiéndose del hemisferio mas frio al mas caliente, pero nunca son paralelos ni perpendiculares al ecuador, mudando de inclinacion segun el movimiento del sol. Hay además en los grandes mares, una corriente de aire que abraza una zona de 30° á cada lado del ecuador, y sopla del este al oeste, conocida con el nom-

bre de *vientos aliseos*; esta corriente suele ser algun tanto modificada en cada meridiano, con las estaciones y las circunstancias locales. El *chamsin* sopla en el Egipto 50 dias seguidos todas las primaveras, y es causa de las inundaciones del Nilo por el derretimiento de las nieves.

Los *vientos irregulares* no presentan periodicidad ninguna que sepamos á punto fijo, solo sí que á ellos pertenecen las tempestades y huracanes. Cuando el viento tiene la velocidad de 25 metros por segundo en adelante, ya es peligroso; y al llegar á la de 40, 45 y 50 con que sopla algunas veces derriba y arranca los edificios y los árboles mas robustos.

Los *vientos irregulares* suelen esplicarse por las grandes condensaciones de vapor, y por los volcanes; y los *vientos regulares* por los cambios de temperatura entre dos contornos mas ó menos próximos; pero hasta ahora una teoría completa y fundada no se tiene ni de los primeros ni de los segundos.

Los *vientos* ejercen una influencia de primer orden en los climas; en Europa los del norte, y nordeste son secos y frios, y los del sur y sudoeste calientes y húmedos.

En Asia y Africa hay los *vientos del desierto* llamados *simoun* ó *harmatan*, que quiere decir venenoso. Son secos y levantan mucho polvo con el que amenazan enterrar las caravanas de viajeros. En Italia este viento caliente se llama *siroco* y en España *solano*. En el Mediterráneo reinan tambien los *vientos etesianos*; soplan del norte en el verano y del sur en el invierno, y favorecen la navegacion entre Francia y la Argelia.

LECCION LXI.

Higrometría; diferentes clases de higrómetros —Higrómetro de Saussure; relacion entre el grado del higrómetro y la tension del vapor; modificaciones de Babinet; inconvenientes de este higrómetro.—Higrómetro de condensacion de Daniell; sus desventajas.—Higrómetro de Regnault.—Psychrómetro.

312. **Higrometría.** La *higrometría* tiene por objeto medir la humedad y la tension del vapor que hay en el aire. Llámase es-

tado higrométrico á la relacion entre el vapor que contiene la atmósfera y el que contendria en el caso de saturacion; ó á la relacion entre las tensiones del vapor en estos casos. Los aparatos empleados para medir la humedad de la atmósfera ó la tension de su vapor se llaman *higrómetros*.

Los higrómetros son de diferentes clases, pero todos están fundados en los cambios ó alteraciones que los cuerpos experimentan con la presencia del vapor. Unos absorben parte de la humedad y aumentan de peso, otros varían de volúmen, y otros nos dicen el frio producido por la evaporacion, ó la temperatura necesaria para la condensacion del vapor.

315. Higrómetro de absorcion. Entre los cuerpos que varían de volúmen por la absorcion del vapor, hay algunos tan sensibles y que lo hacen con tal regularidad, que sirven para medirlo.

El higrómetro de *cabello*, ó de Saussure, está formado por un cuadro metálico AB (fig. 189), que lleva pendiente de unas pinzas un cabello perfectamente desengrasado, para lo cual se lava en alcohol ó en una disolucion de sosa. Por el extremo inferior se ata á la garganta de una polea D que gira alrededor de su eje, y de donde pende un pesito para mantener tenso el cabello; perpendicularmente al eje de la polea hay una aguja que se dirige sobre un semicírculo graduado, y se mueve en esta ó en la otra direccion segun que el cabello se alarga ó se acorta.

Para graduar el aparato se eligen las indicaciones de dos puntos fijos é invariables en las mismas circunstancias, que son el de la humedad y el de la sequedad estremas.

Se determina el primero, metiendo el higrómetro en una campana de agua pura y sin comunicacion con el exterior; al cabo de poco tiempo que el espacio está saturado de vapor, el cabello ya no se alarga mas; la manecilla permanece estacionaria, y el punto señalado se mira como de estrema humedad, y se designa generalmente con el número 100. Despues de bien enjugado, se introduce en otra campana, donde hay un vaso con ácido sulfúrico muy concentrado ó con potasa cáustica, para absorber toda la humedad: en este caso la aguja gira en sentido contrario, y solo queda inmóvil cuando el aire está perfectamente seco, lo cual se conoce si elevando la tem-

peratura no experimenta alteracion alguna: en el punto donde se deliene se pone el *cero*, y *dividiendo el intérvalo que hay entre estos dos puntos en cien partes iguales cada una de ellas es un grado del higrómetro.*

Las indicaciones medias del higrómetro son de unos 70°; no sube á 100° aunque llueva, ni baja de 40° en las mas grandes sequedades. En las altas regiones de la atmósfera las indicaciones deben ser muy inferiores, porque ya en la ascension de Gay-Lussac descendió hasta 26°, y estaba el aire tan seco que casi no servia para la respiracion.

El higrómetro que acabamos de describir señala las centésimas del vapor que hay en la atmósfera, pero no mide ni su tension absoluta, ni la cantidad real que de él existe. Nosotros sabemos, en efecto, que un recinto puede estar saturado con tantas cantidades diferentes de vapor cuantas sean sus temperaturas; de suerte que, sin aumentar ni disminuir el de la atmósfera, el higrómetro marcará mayor ó menor grado de humedad segun que el aire esté mas frio ó mas caliente; lo que nos precisa á determinar la relacion entre el grado del higrómetro y la tension del vapor. Para ello se sirvió Gay-Lussac de disoluciones salinas en distintas proporciones, que introdujo por órden en el barómetro de vapor, en donde midió la tension de cada una á la temperatura de 10°: en seguida halló tambien el grado del higrómetro dentro de una campana saturada de vapor de estas disoluciones, formando de esta manera tablas de grande utilidad, con las que dada la temperatura del aire podemos pasar del grado del higrómetro á la tension absoluta del vapor y vice versa. Conocida la tension absoluta del vapor basta para determinar su peso tomar los $\frac{5}{8}$ del de un volúmen igual de aire sometido á la misma presion.

Babinet ha modificado este aparato dejando el cabello libremente tendido, y por lo que es necesario alargarle ó acortarle para hacerle coincidir con una señal de partida, se viene en conocimiento del estado higrométrico. El aumento ó disminucion de longitud se halla en valor del número de vueltas que sea preciso dar á un torno de circunferencia conocida, y á la que está unido un extremo del cabello, ó bien con el auxilio de una escala vertical.

Estos higrómetros, segun Regnault, no son exactamente comparables, aun cuando se les haya desengrasado de la misma manera y coincidan en sus indicaciones estremas; pues á pesar de estar tendidos por pesos iguales suelen dar resultados diferentes, siendo necesario para conseguir la uniformidad calcular una tabla por cada uno de ellos.

314. **Higrómetros de condensacion.** Fúndanse estos aparatos en el principio de que la *tension absoluta del vapor atmosférico no varia aun cuando disminuya la temperatura hasta el punto de saturacion*. La disminucion de temperatura deberá ser tanto mayor quanto menos vapor haya en la atmósfera; por eso observando con todo cuidado la temperatura á que el vapor se condensa, ó *el punto de rocío*, y viendo en las tablas la tension que le corresponde, esta será la que tiene en el aire á la temperatura de la operacion.

El higrómetro de *Daniell* (fig. 190), se compone de dos esferas de vidrio A y D unidas por medio del tubo BC, y sostenido todo por el pié M; la esfera D lleva un poco de alcohol y un termómetro introducido en él, y la A se cubre con una tela delgada de hilo. Vertiendo sobre la bola A algunas gotas de éter, al evaporarse producen frio y condensan en su consecuencia el vapor que encierra: el alcohol que hay en D emite nuevos vapores en el espacio vacío que los primeros dejan, y á su vez baja de temperatura y el enfriamiento hace á la capa de aire que rodea la esfera condensarse poco á poco hasta llegar al punto de saturacion, y se conoce cuando llega este caso en que el vapor al precipitarse empaña la superficie de la bola. *Tomada la temperatura de esta precipitacion con el termómetro que hay dentro, y mirando en las tablas la tension que le corresponde, se halla la que tiene en el aire.* Dividiendo esta tension por la que corresponde á la temperatura del aire resulta el estado higrométrico.

En este higrómetro hay bastantes causas de error, ya porque el termómetro no indica mas que la temperatura de las capas con las cuales está en contacto, siendo asi que debe disminuir de la superficie al fondo, ya porque la misma evaporacion altera la temperatura del aire que rodea el aparato, alteracion que se hace mas difícil de apreciar con la presencia del observador, y ya finalmente porque

hay ocasiones en que el enfriamiento producido por la evaporacion no es suficiente para llevar el aire al estado de saturacion.

315. **Higrómetro de Regnault.** El higrómetro de Regnault, además de evitar la mayor parte de estos inconvenientes, ofrece mayor facilidad para percibir el instante preciso de la precipitacion del vapor. Se compone (fig. 191), de un pequeño vaso K de plata bien pulimentado donde está el liquido: un tubo *mn* dá entrada al aire que sirve para agitar la masa líquida, cuya temperatura se mide con un termómetro sumergido en ella; desde la parte inferior del tubo hasta un aspirador V, hay una manga para establecer la comunicacion entre los dos; y por último, el termómetro que ha de dar la temperatura del ambiente se halla encerrado en otro aparato semejante al primero, con la diferencia de no contener liquido alguno. Si se abre la llave R del aspirador, el agua que contiene sale dejando un vacío que el aire ocupa, pasando al efecto por el tubo *mn* y por la masa líquida que agita con su movimiento, haciéndola adquirir una temperatura uniforme; observando con un anteojó la temperatura de la precipitacion y la del aire, su relacion nos dará á conocer el estado higrómetro.

A fin de llegar á resultados mas exactos, conviene colocarse á cierta distancia del aparato, y establecer la comunicacion con el aspirador por medio de una manga; de esta suerte regulariza la salida del agua á su manera, y puede medir dos ó tres veces las temperaturas de la precipitacion para tomar términos medios. Es muy conveniente apreciar tambien la temperatura de la evaporacion, porque es un poco mas elevada que la del punto de rocío, y como la de condensacion es un poco mas baja, la media de las dos dá la temperatura exacta.

316. **Psychrómetro.** Este aparato se compone de dos termómetros iguales y muy sensibles (fig. 192). El *t'* se rodea con muselina delgada que mantiene humedecida una mecha de algodón que se introduce en el tubo *v'v* lleno de agua destilada. El termómetro húmedo debe su temperatura á la mayor ó menor evaporacion del agua que neutraliza en parte el calor de la atmósfera; si hay sequedad en el aire la evaporacion es mas abundante y el termómetro señala menor temperatura; si por el contrario hay humedad los vapo-

res no se desprenden y la temperatura es mas elevada. De suerte que viendo las temperaturas de los dos termómetros seco y húmedo, se puede calcular despues la humedad relativa del vapor con fórmulas que hay á propósito.

LECCION LXII.

Hydrometeoros.—*Esplicacion del rocío y circunstancias atmosféricas que lo acompañan.*—*Escarcha y helada.*—*Sereno y lluvia; pluviómetro.*—*Nieve y granizo.*—*Formacion y suspension de las nubes.*

317. **Hydrometeoros.** Llámanse *hydrometeoros*, ó *meteoros acuosos*, los que proceden del vapor de agua que hay en la atmósfera; tales son el rocío, la lluvia, el granizo, la escarcha, etc.

318. **Rocío.** El rocío es la humedad que durante la noche se deposita sobre la superficie de la tierra. La condensacion del vapor es mas abundante en las plantas y en los cuerpos de grandes poderes emisivos que en los metales pulimentados, y en todos aquellos que irradian el calórico con dificultad. La esplicacion de este meteoro y de otros de que hablaremos despues, se desprende de la teoría del calórico y de las propiedades del vapor, como supo demostrar el doctor Wells. El globo terrestre y los cuerpos que sobre él están, pierden durante la noche, por su irradiacion hácia los espacios celestes, una gran parte del calor absorbido durante el día, y el enfriamiento es tanto mas rápido cuanto mayor sea su poder radiante. El aire que los envuelve se enfria con su contacto, y al cabo de algun tiempo llega á la temperatura de saturacion; en cuyo caso, no pudiendo contener todo el vapor que antes, principia la condensacion ó la *aparicion del rocío*. Recordando que la cantidad de vapor que hay en un recinto crece con la temperatura, echaremos de ver que el rocío depositado no será en igual abundancia para el descenso del mismo número de grados, sino que debe aumentar, como así acontece, con la temperatura inicial; es decir, que si los cuerpos bajan de 14° á 10°, por ejemplo, la condensacion es mayor que si lo hacen de 10° á 6°. El rocío se favorece mas al amanecer que durante la noche, por ser esta la época del mayor enfriamiento de la tierra, como lo es de la mayor ausencia del sol.

Todas las circunstancias, pues, que se opongan al enfriamiento, dificultarán la formación del rocío. Una noche oscura y un cielo encapotado, no son á propósito para favorecer este meteoro; pues absorbiendo ó irradiando las nubes sobre la tierra una parte del calor que esta emite hácia el espacio, dificultan su enfriamiento; mientras que si el cielo está claro y la atmósfera limpia y cristalina, como en algunas noches de luna, la pérdida de calor es grande y el rocío abundante, atribuyéndose entonces á este astro una influencia maléfica que no tiene. Cuando la atmósfera está tranquila, el fenómeno cesa bien pronto: el aire que rodea cada cuerpo no puede ceder mas que la parte de vapor que corresponde á su exceso de temperatura; pero si hay unas ligeras corrientes de aire, renuevan las capas que ya se hallan sin vapor, reemplazándolas con otras que, enfriándose como las primeras, depositan nueva cantidad de humedad. Si la renovacion de las capas es muy rápida, porque los vientos tengan bastante velocidad para no dejar que aquellas se enfrien con el contacto de los cuerpos, el rocío, como lo acredita la experiencia, no se deposita ó es muy escaso.

519. **Escarcha y helada.** Sucede algunas veces que la temperatura del suelo; y en particular la de las plantas, llega á dos ó tres grados bajo cero, aun cuando la de la atmósfera la tenga mas elevada: entonces el vapor de agua *pasa al estado sólido y forma la escarcha ó la helada*. La posicion de nuestro globo respecto del sol, hace que las diferencias de temperatura entre el dia y la noche sean mayores al principio de la primavera y al concluir el otoño; y como la vegetacion comienza en la primera época, resulta que la helada puede tener lugar en las plantas antes que sobre los demás cuerpos.

Con estos datos podemos explicar lo peligrosas que son las heladas para las plantas delicadas y los frutos sin madurar. Con efecto, al principiar la vegetacion los vasos de las plantas son muy tiernos para resistir á la fuerza de dilatacion desenvuelta por el agua al pasar al estado sólido, y una vez deshechos y no sirviendo para verificar sus funciones, los vegetales mueren y los campos presentan el mismo aspecto que si hubieran sido heridos por los rayos abrasadores del estío. La precaucion que suelen tomar jardineros y hortelanos

nos de abrigar algunas plantas, evita indudablemente su destrucción, pues oponiendo un óbláculo al enfriamiento, imposibilitan de todo punto la helada.

320. **Lluvia.** *La lluvia es la caída abundante de gotas de agua que produce la condensacion del vapor de la nubes.* La esplicacion es parecida á la del rocío; al ocurrir un infriamiento rápido en la atmósfera, ó que una gran masa de aire pase de una temperatura á otra mas baja, ya sea por el encuentro de dos vientos que partan de regiones desigualmente calentadas, del ecuador y los polos por ejemplo, ó de una sola corriente de aire procedente de un paraje de menor temperatura, ó que ella se enfrie en su movimiento por efecto de una grande expansion, al encontrar obstáculos en su marcha, la pérdida de calor que esto origina es la causa de que pase al estado líquido gran parte del vapor que en las nubes existe.

321. **Pluviómetro.** Para conocer el agua que cae en un paraje dado, empléase el *pluviómetro* (fig. 195), que es un vaso de metal cilíndrico ó cúbico, cuya cubierta esta en forma de embudo para impedir la evaporacion. Un tubo lateral de vidrio indica la altura del agua y mide su volúmen; otras veces hay una campana graduada y en una relacion dada con la capacidad del pluviómetro, que conduce á los mismos resultados.

La cantidad media de agua recogida, es mayor sobre la superficie del suelo que á cierta altura. Esta diferencia la miran unos como hija del aumento de volúmen que toman las gotas al caer con la condensacion del vapor que encuentran en las capas interpuestas entre la parte superior y la inferior, y de la menor inclinacion de las corrientes aéreas que traen la lluvia. Otros se fijan en la influencia de los edificios que causan remolinos en el aire que impide la caída regular del agua.

322. **Distribucion de las lluvias.** En la zona tórrida hay dos estaciones, *la de las lluvias y la seca*; la primera tiene lugar en el *estío*, y la segunda cuando el sol está á los lados del ecuador. A mayores latitudes la lluvia no presenta regularidad ninguna y va decreciendo, si bien se presentan anomalias tanto en la cantidad como en la época en que se verifica; cuanto mas cerca de los polos mas frecuentes son las lluvias en todas las estaciones. En Europa

hay dos zonas, una al *nord-este*, de mas abundantes lluvias en el estío, y otra de *sud-oeste*, en que son en el otoño. En el número de dias de lluvia sucede lo propio; en la zona tórrida llueve mas veces que en Rusia. De estas consideraciones se ha sacada la consecuencia, demasiado general sin duda, de que la *lluvia es mas abundante allí donde la temperatura media es mayor*. La posicion de los pueblos respecto de las grandes cordilleras de montañas, de su mas ó menos elevacion y distancia de los mares, de la direccion y frecuencia de los vientos secos ó húmedos, explica las diferencias locales que se advierten en los anuarios meteorológicos; por punto general la altura y proximidad de los mares favorece la lluvia. En España, y sobre todo en algunas provincias de Andalucía, llueve con abundancia con los vientos de sud-oeste, mientras que en otras no se moja el suelo sino con los de levante y poniente.

523. **Sereno.** *El sereno* es una lluvia finísima y sin nubes que cae algunas veces al ponerse el sol en días de mucho calor. En algunas islas y en las regiones polares se observa con alguna frecuencia.

Lluvias singulares. Ha llamado algunas veces mucho la atencion, en tiempo de tempestades, el que el agua que cae de las nubes tenga color rojo ó amarillo, etc., que dan á las lluvias el aspecto de *sangre* y de *azufre*. Analizadas las aguas de tan siniestros aspectos, ha resultado que es debido á que arrastran el polvo de las regiones de donde vienen, y el pólen de ciertos pinos del mismo color. A este fenómeno debe referirse la caída de otras sustancias mas ó menos estrañas.

524. **Nieblas y nubes.** Hay ocasiones en que la atmósfera de diáfana y cristalina pasa repentidamente á cierto estado de oscuridad, cubriéndose de *nieblas* mas ó menos densas, ó de *nubes* que nos privan casi por completo de la luz solar.

Las *nieblas* las forma la aglomeracion de gotas de agua de estrema pequenez suspendidas cerca de la tierra; si están mas elevadas en la atmósfera se llaman *nubes*. La explicacion de cómo se forman es fácil. El encuentro de dos corrientes de aire con diferente temperatura; un viento frio en una region templada, y mejor un viento caliente en una fria, condensan el vapor que reunido despues

en grandes masas forma las nubes. Las nieblas espesas forman lo que en el mar se llama bruma.

Las nubes se forman tambien por la evaporacion del agua de los rios, de los estanques y de todos los terrenos húmedos, cuando su temperatura es superior á la de la atmósfera, cuyo vapor se condensa al contacto del aire frio, formando una pequeña nubecilla análoga á la que vemos se forma con nuestro hálito en tiempo de invierno ó en sitios frios.

La elevacion y suspension de las nubes es difícil de explicar, cualquiera que sea la hipótesis sobre el estado del vapor que las constituye. Si las suponemos compuestas de *pequeñísimas gotas*, es preciso admitir que las capas de aire que rodean las nubes son menos densas que lo restante, consistiendo esta disminucion de densidad en el aumento de temperatura, porque el calor que llegase sobre ellas sería en parte reconcentrado como por unas lentes, y reflejado en todas direcciones sin dejarle salir de las nubes. En el caso poco probable de admitir la forma *vesicular*; es decir, *pequeñas esferas llenas de aire caliente cuya cubierta es de agua*, semejantes á las burbujas de jabon, es mas fácil concebir su elevacion, pero no explicar la formacion de la nieve, la del granizo, la del arco iris, ni la refraccion de la luz.

325. **Nieve.** En algunas ocasiones el enfriamiento de la atmósfera es muy grande y entonces el agua de las nubes pasa de repente al estado sólido y forma la nieve. Si el frio no se ha estendido hácia el suelo, la nieve se funde antes de llagar, ó á lo mas alcanza á las montañas elevadas; si por el contrario el descenso de temperatura ha sido mas general entonces la nieve cubre la superficie de la tierra. La nieve presenta algunas diferencias en su cristalización segun á la temperatura y al estado higrométrico en que se han formado. En las tempestades, principalmente en verano, cae el agua en masas redondeadas, de mas ó menos volúmen, constituyendo la *pie-dra* y el *granizo*; pero su formacion parece ligada á la electricidad como veremos mas adelante.

ÓPTICA.

LECCION LXIII.

*Qué es óptica.—Hipótesis de la luz.—Cuerpos luminosos y cuerpos alumbra-
brados.—Propagacion rectilínea de la luz.—Cuerpos transparentes y
opacos.—Sombra y penumbra.—Velocidad.—Aplicaciones.*

326. **Óptica.** *La óptica es la parte de la física que tiene por objeto el estudio de las propiedades del lumínico ó de la luz. Suele dividirse en catóptrica y dióptrica, segun que trata de la reflexion ó de la refraccion de la misma. La luz es la causa de la vision; es decir, que obrando sobre el sentido de la vista nos dá la existencia de los cuerpos sin necesidad de tocarlos.*

327. **Hipótesis de la luz.** *Las hipótesis mas admitidas en el dia para la esplicacion de este flúido las dejamos espuestas al tratar del calórico (213); pero aqui es donde principalmente encontramos los hechos culminantes que justifican la preferencia que damos al sistema de las ondulaciones sobre el de la emision.*

La sustancia de que se compone la luz es de una sutileza estrema; porque por una abertura muy pequeña vemos con claridad una gran estension sembrada de objetos diversos, y sin embargo la luz que todos ellos envian al órgano de la vision ha de pasar al mismo tiempo por dicha abertura. La que viene de todo lo que descubrimos en un horizonte despejado entra en los ojos por sus pupilas, que son dos orificios circulares de bien escasas dimensiones. En el sistema de las ondulaciones, donde se supone que la luz nace con el movi-

miento del *éter universal*, la esplicacion de los hechos citados no ofrece ninguna dificultad; pues si en los líquidos y en los gases existen á la vez en un mismo punto varios movimientos sin interrumpirse, con mas razon podrá tener lugar semejante coincidencia en el *éter*. En el de la emision los cuerpos lanzarian partículas de sustancia luminosa, pero á pesar de la gran velocidad con que se mueven y de la concentracion que en ellas causan los espejos y las lentes, no son susceptibles de imprimir el mas ligero movimiento, resultado que está bien poco conforme con los principios mas evidentes de mecánica.

528. **Cuerpos luminosos.** La luz no puede existir sin la materia impenetrable de donde trae su origen. Los cuerpos que emiten *luz propia* se llaman *luminosos*, y son otros tantos orígenes de luz. Los que no son luminosos pueden aparecerlo, pero es cuando reciben luz de otros que la tienen; en este caso se dice que están *alumbra-*
dos; ejemplo bien patente de ellos son la luna y los planetas, cuya luz la reciben del sol.

Los orígenes de luz son de dos especies; *permanentes*, el sol y las estrellas que alumbran el universo; y *accidentales* que se dividen en *naturales* y *artificiales*. A los naturales corresponde la fosforescencia espontánea, ó la luz que emiten algunos seres en el estado vivo; á los artificiales corresponde la fosforescencia que adquieren ciertos cuerpos en condiciones determinadas; la de la combustion, principalmente de gases ó vapores, de la que sacamos partido para nuestro alumbrado público y doméstico, y la elevacion de temperatura que hace á los cuerpos incandescentes. Esta última circunstancia parece indicar que las causas de un calor elevado, de 500 á 600 grados, lo son tambien de luz; sin embargo debe tenerse en cuenta que del mismo modo que hay calor sin luz (244), tambien hay luz sin calor. Con efecto, la luz de la luna muy concentrada con lentes ó espejos no dá señales de aumento apreciable de temperatura; con la de la *luciérnaga*, y la de cuerpos fosforescentes sucede lo propio; puede haber, pues, cuerpos luminosos de bajas temperaturas, y cuerpos calentados enteramente oscuros.

529. **Propagacion rectilinea de la luz.** *La luz se propaga en todas direcciones, y en línea recta por los medios homogéneos: sigue los rádios de una esfera imaginaria cuyo centro ocupa*

el cuerpo luminoso. En efecto, de todas partes vemos el sol, las estrellas y la luz de una bujía; mas si entre ellos y el órgano de la vision interponemos un cuerpo opaco se nos ocultan cuando intercepta todas las líneas rectas que pueden unirlos, ó percibimos en ellos una mancha oscura, que no es otra cosa que la proyeccion rectilínea de la parte interceptada.

330. Division de los cuerpos segun la trasmision de la luz. La propagacion de la luz tiene lugar á través de algunos cuerpos mientras que no pueda pasar por otros. Los que dejan circular la luz por su masa en bastante cantidad para ver los objetos que están detrás, se llaman *transparentes*, y *opacos* los que la detienen. Entre los primeros se distinguen los que dejan pasar la misma fraccion de la luz de todos los colores, y se denominan *diáfanos ó hialinos*: no tienen color; y los que solo dan paso á los *rayos de su propio color*; estos son propiamente los cuerpos transparentes.

La atmósfera y el cristal de roca hialino son diáfanos, y los vidrios de color de que se hacen los anteojos para las personas delicadas de la vista transparentes. Los cuerpos opacos reducidos á láminas muy finas dejan pasar alguna porcion de luz; tal sucede con el oro que se vuelve permeable á los rayos verdes; pero nunca dejan luz bastante para distinguir con ellos los objetos exteriores; en este caso los cuerpos se llaman *traslucientes*. Tenemos ejemplos de traslucidez en el papel dado de aceite, en las telas finas, y en el ópalo. Ninguna de dichas propiedades es absoluta; los cuerpos transparentes se convierten en traslucientes aumentando su espesor; sobre todo, para luces débiles, y con muchos de los opacos sucede lo mismo haciéndolos muy delgados. La trasmision en todo caso es siempre mayor si el origen de luz es muy intenso.

331. Sombra y penumbra. Dase el nombre de sombra á la parte *oscura* que los cuerpos opacos *proyectan detrás de sí, y al lado opuesto de donde viene la luz*. La sombra aun cuando tiene las tres dimensiones de todo volúmen geométrico no constituye cuerpo fisico, porque no hay en ella una sola molécula material, ni es impenetrable. El determinar la posicion, figura y magnitud de las sombras, es una cuestion fuera de este lugar; y así solo trataremos

de la parte puramente elemental y de aplicaciones inmediatas á la física.

Si el origen de luz es un *punto único*, y una esfera el cuerpo opaco, tirando desde aquel á esta una tangente LM (fig. 194), y haciéndola girar hasta completar una revolucion, la parte MNOQ del espacio engendrado está en sombra completa, y su figura es la de un cono truncado perfectamente definido, cuya base menor es la seccion dada á la esfera por los puntos de tangencia.

Si la luz no parte de un punto, sino de un *cuerpo luminoso*, la sombra no se encuentra señalada de un modo brusco, antes por el contrario experimenta su tinta un desvanecimiento en la luz tan imperceptible que hace imposible el poder decir con la vista, sin equivocarse, desde donde trae su origen. *Este velo desigualmente alumbrado que envuelve la sombra, se llama penumbra*. Para determinarla basta tirar desde el cuerpo luminoso al cuerpo opaco (fig. 195), las tangentes AM, AN, BM y BN, y los espacios P, comprendidos por las dos de un mismo lado, están en penumbra. La penumbra será mas ó menos clara, segun que se la considere mas cerca de la luz ó de la sombra; en todos los casos, es dable saber si un punto cualquiera k, está en sombra, en luz ó en penumbra, y qué claridad le corresponde; para ello desde el punto k se tira una tangente kM al cuerpo opaco; *si la tangente prolongada cae al mismo lado del cuerpo luminoso sin encontrarle, está en sombra; si al lado opuesto en luz, y si le corta en penumbra, cuya claridad dependerá de la extension interceptada*.

Todo lo dicho no es mas que una construccion geométrica, aproximada si se quiere, pero no exacta, en razon á que la luz cerca de los bordes de los cuerpos sufre algun desvio en su direccion á consecuencia del fenómeno denominado *difraccion*.

332. **Velocidad.** La propagacion de la luz se creyó instantánea por largo tiempo, y así parecian confirmarlo los experimentos de Galileo, hasta que el astrónomo Roemer, observando las revoluciones del primer satélite de júpiter, conoció su movimiento y midió su velocidad.

Supongamos el sol (fig. 196) en S, júpiter en J; que ABCD y

abcd representen las órbitas de la tierra y del primer satélite de júpiter, y que además todos estos astros se hallan en el plano de la eclíptica. Observando, como lo hizo Roemer, dos inmersiones ó entradas consecutivas del primer satélite en la sombra que júpiter proyecta detrás de sí, desde un punto cualquiera que ocupe la tierra T, se encuentra que siempre transcurre el propio tiempo: $42h, 30'$. Luego si la propagacion de la luz fuese instantánea, la décima inmersión, por ejemplo, principiaria de allí diez veces dicho tiempo; en lugar de suceder esto, se nota un retraso de $16'$ y $26''$ cuando se hacen las observaciones en los puntos B y A que corresponden á las distancias estremas á que la tierra puede estar de la sombra de dicho planeta; retraso que está manifestando ser el tiempo empleado por la luz en recorrerla. Repitiendo las observaciones en puntos intermedios D, E, los retrasos son menores y siempre proporcionales á las distancias; mas aun, siguiendo el mismo método de A á C, y á B, hay una aceleracion igual al retraso de antes, de todo lo cual resulta *que el movimiento de la luz es uniforme*. Dividiendo el espacio AB, que es el eje mayor de la eclíptica, por $16', 26''$, tiempo empleado por la luz en recorrerlo, encontramos que su velocidad escede de 57 mil leguas por segundo.

Ocupando el sol uno de los focos de nuestra órbita, su luz tardará en llegar á la tierra, término medio, $8', 13''$. Una bala de cañon, con la velocidad igual á la de su salida tardaria 17 años. La luz de las estrellas mas próximas á nosotros, que están sin embargo á una distancia 206 mil veces la del sol, tardará por cima de tres años, y la de aquellos grupos ó nebulosas que solo son visibles con ayuda de los telescopios, andará siglos y siglos sin que la percibamos. Por esta consideracion sola, ya podemos decir que no vemos las estrellas en la posicion que ocupan, sino mas ó menos separadas de ella, segun la distancia y la velocidad de sus revoluciones; esta separacion llamada *aberracion* depende á la vez, de la diagonal del paralelógramo construido sobre las velocidades de la luz y de la tierra, del sentido de estas velocidades y del movimiento de las estrellas. Segun lo espuesto, algunas estrellas, y aun grupos enteros de los que estamos contemplando en la llamada bóveda celeste, pudiera suceder que hayan desaparecido hace muchos años de la escena del mundo, y que

de algunas de las constelaciones que estudiamos, solo quede el rastro de la luz que nos engaña.

LECCION LXIV.

Intensidad teórica de la luz.—Ley de las distancias.—Ley de la inclinacion de las superficies.—Fotómetros.—Fotómetro de Bouguer.—Idem de Rumford.—Idem de Lesly.—Idem de Wheatstone.

353. **Fotometria.** La *fotometria* es la parte de la óptica que estudia las leyes de todo lo que se refiere á la intensidad de la luz.

354. **Intensidad de la luz con las distancias.** La luz que se *propaga en el vacío y por rayos paralelos* tiene en todas partes *igual intensidad que en el origen*; en el aire y en los otros medios va decreciendo con las distancias. *Si se propaga por rayos divergentes las intensidades están en razon inversa de los cuadrados de las distancias.* La demostracion puede hacerse como en el sonido (201). No obstante, vamos á presentarla de otro modo, para que sirva de comprobacion. Si por un orificio circular o , (fig. 197), hacemos entrar un haz de rayos luminosos en un aposento oscuro, el espacio alumbrado tiene la forma de un cono cuyo vértice corresponde á la abertura de la ventana; cortado este cono con un carton blanco, perpendicular á su eje, por dos puntos diferentes, presenta dos secciones circulares paralelas, las cuales, segun un teorema de geometría, tienen sus áreas ó superficies s y s' , proporcionales á los cuadrados de las distancias do^2 y $d'o^2$, al orificio ó vértice; así que $s : s' :: do^2 : d'o^2$; ó $s : s' :: d^2 : d'^2$ representando d y d' dichas distancias. La luz que entra por el orificio es en ambos casos igual á la intensidad de un elemento superficial multiplicado por el número de ellos; es decir, que $L = is$, y $L = i's'$, de donde sale $i : i' :: s' : s$; y combinada esta proporcion con la de antes, resulta $i : i' :: d'^2 : d^2$, que demuestra el teorema enunciado.

355. **Ley de la inclinacion.** Los cuerpos luminosos envían siempre la misma cantidad de luz en todas las posiciones que se les dé respecto de los cuerpos alumbrados, con tal que no varíen las distancias, aunque la superficie radiante sea mayor en unos ca-

esos que en otros. Por consiguiente en la luz como en el calor (231), *la intensidad de los rayos luminosos es proporcional al coseno del ángulo que forman con la normal á la superficie emisiva; y la luz que una superficie oblicua recibe, es proporcional al coseno del ángulo que forma su normal con los rayos incidentes.*

Esta propiedad nos enseña, por qué un semicilindro, un semicono, una semiesfera, parecen tan brillantes por la superficie convexa como por la plana, y por qué los cuerpos esféricos mirados á lo lejos aparecen bajo la figura de círculos máximos; como sucede con los discos de la luna y del sol y de todas las estrellas.

336. **Fotómetros.** *Los fotómetros son aparatos destinados á medir y comparar la intensidad de las luces.* El de *Bouguer* consiste en un carton con dos aberturas cubiertas con papel dado de aceite, ó con vidrios despulimentados; detrás de él, se ponen dos luces separadas por una pantalla vertical ennegrecida, para evitar toda suerte de reflexion. Alejando ó acercando una de las luces hasta conseguir que las aberturas estén igualmente alumbradas, *la relacion de sus intensidades es la de los cuadrados de las distancias á que se coloquen.*

El de *Rumford* difiere del anterior en buscar la intensidad de las luces por la igualdad entre las sombras que producen. Para ello, se ponen simultáneamente los dos cuerpos luminosos delante de una esfera opaca, separados por una pantalla ennegrecida, y se reciben sobre un carton blanco las dos sombras que proyectan; y fundándose en el principio de *que las luces son tanto mas intensas cuanto mas oscuras aparecen las sombras correspondientes*, y variando la distancia de una de ellas, hasta que las sombras se presenten de igual tinta en el punto de tangencia, *la relacion de sus intensidades será la de los cuadrados de las distancias.* Es mas fáeil distinguir la diferencia entre dos sombras que entre dos luces, y por eso este fotómetro es mas exacto que el otro; pero con ninguno de ellos se halla la intensidad entre luces de tinta diferente, siendo en estos casos menester compararlas con una tercera luz para deducir su relacion mútua.

El termómetro diferencial de *Lesly* puede emplearse como fotómetro, con tal que una de sus bolas sea de vidrio negro, y admita-

mos al propio tiempo, que *la intensidad de la luz es proporcional á la del calor que le acompaña*. Las indicaciones son poco exactas y nunca rigorosamente comparables, sabiendo como sabemos, que el calor trasmitado por cada sustancia depende de la naturaleza y temperatura del origen; sin embargo, no hay inconveniente en emplearlo para luces de una misma índole, dos bujías ó dos velas por ejemplo, y mejor aun para los surtidores de gas.

337. Fotómetro de Wheatstone. Este fotómetro se compone, de una esfera A de acero, muy pulimentada, puesta sobre un piñon que tiene dos movimientos, uno alrededor de su eje, y otro engranando con los dientes de la rueda circular B (fig. 198). Un manubrio C es el que trasmite el movimiento. Para hallar la intensidad de dos luces se coloca entre ellas, y teniéndole con una mano, la otra produce el movimiento, y los dos puntos alumbrados presentan á nuestra vista dos sistemas de líneas M y N mas ó menos brillantes; separando una de las luces hasta que la curva que engendra sea tan clara ú oscura como la otra, las *intensidades de las dos luces serán proporcionales á los cuadrados de sus distancias á los puntos alumbrados*.

Los resultados fotométricos enseñan que la luz de un cuerpo alumbrado y hasta los mismos cuerpos luminosos, dejan de verse en presencia de otra luz 64 veces mas intensa. Las estrellas y los planetas no se distinguen por el dia á causa de que la luz de la atmósfera es 64 veces mayor que la suya. Por eso tampoco vemos nada en las habitaciones cuando de la claridad pasamos á la oscuridad, y por el contrario, vemos bien al pasar de lo oscuro á lo claro.

LECCION LXV.

Reflexion.—*Demostracion experimental de sus leyes; difusion luminosa.*—*Qué son espejos.*—*Determinar la imagen de un punto ó de una linea en los espejos planos.*—*Medicion de alturas.*—*Espejos inclinados y número de imágenes visibles.*—*Aplicacion á los espejos de mercurio.*

338. Catóptrica ó reflexion de la luz. La *reflexion* de la luz es el alto en que los cuerpos la rechazan hácia el medio de donde viene. Las leyes de la reflexion son las ya mencionadas antes

de ahora, á saber: 1.^a *Que el ángulo de reflexion es igual al de incidencia.* 2.^a *Que los rayos incidente y reflejado están en un mismo plano normal á la superficie reflectante.*

Demuéstranse estas leyes haciendo entrar, con el auxilio del portaluz, un manojo de rayos solares por un pequeño orificio en un aposento oscuro; en su direccion se pone un círculo vertical (fig. 199), que tiene en el centro el espejo *ab*, sobre el cual llega la luz despues de pasar por la abertura *m* de la pantalla *p*; con una segunda pantalla *q*, se recibe la imágen de la luz reflejada, y como esta direccion hace el mismo ángulo que la primera, es decir, como los rayos reflejados forman con la normal el mismo ángulo que los incidentes, la primera ley es evidente. La segunda tambien resulta serlo por la mera inspeccion del círculo vertical, en donde están las dos direcciones incidente y emergente. Las leyes de la reflexion son las mismas en las superficies cóncavas y convexas que en las planas, en el aire que en el vacío, para la luz del sol que para el de una bujía, y para la luz directa como para aquella que haya experimentado estas ó las otras modificaciones, esceptuadas las de polarizacion. La reflexion de la luz es casi nula en la direccion normal; crece con su inclinacion, pero de una manera diferente segun los cuerpos, con la tersura, pulimento y densidad de las superficies. Los metales blancos bien bruñidos, llegan á reflejar las 0,9 de la luz incidente, en tanto que el poder reflectante del negro de humo puede tenerse por nulo. Los cuerpos de color oscuro son los que reflejan muy poca luz.

339. **Difusion luminosa.** A mas de la luz reflejada *regular ó especularmente*, hay la *difusion luminosa, ó reflexion irregular*, semejante en un todo á la calorífica (258); con la diferencia que aquí entra por los ojos lo que allí no era dable conocer sino con los instrumentos; *la luz difusa es pues aquella que parte de los cuerpos opacos en todas direcciones, y en virtud de lo cual los vemos*; si no fuera por ella, solo distinguiríamos los cuerpos luminosos, ya directamente, ó ya por medio de sus imágenes reflejadas por los espejos. La luz de nuestras habitaciones y la de todos los sitios en sombra, no es otra cosa que la luz difusa. La difusion de la luz nos permite aplicar á los cuerpos alumbrados todo lo manifestado para los luminosos.

340. **Espejos.** Empleándose con bastante frecuencia la palabra espejo, conviene conocer su significacion; diremos para ello, *que entendemos por espejo toda superficie que refleje la luz de manera que forme imágenes perceptibles.* Los cuerpos que reunen estas condiciones son los susceptibles de buen pulimento.

341. **Espejos planos.** *Las imágenes reflejadas por los espejos planos se presentan detrás y á la misma distancia que de ellos están los objetos.* Sea L un punto luminoso (fig. 200), y AB un espejo plano. El haz de rayos luminosos que tenga la direccion LM, será reflejado en la MO, y el observador que está en este punto, verificando su vision en línea recta, percibirá la imagen en L' en que dicha direccion MO corta la perpendicular del punto L. De aquí la formacion de dos triángulos iguales LAM y MAL', por ser rectángulos en A, por ser LMA=AML' como complementos de los ángulos de incidencia y de reflexion, y por tener el lado comun MA; de donde sale AL=AL', que demuestra la proposicion.

Si en lugar de un punto tuviéramos dos, ó una línea que es lo mismo, la dificultad no sería mayor por eso. Con efecto, desde los estremos del objeto PQ (fig. 201), tiraremos al espejo dos perpendiculares indefinidas, y tomando en ellas las magnitudes MP' y M'Q' respectivamente iguales á las MP, y QM', la imagen pedida será la P'Q'. Conviene observar, que la imagen se inclina al lado opuesto del espejo que el objeto, si bien de una manera simétrica, pues el ángulo que forman entre sí está dividido en dos partes iguales por la superficie reflectante. Si suponemos un objeto PQ (fig. 202), en el plano horizontal, y un espejo AB inclinado de 45°, formando la imagen P'Q', otro ángulo de 45°, será vertical. Esta propiedad es hábilmente aplicada para la representacion de vistas de edificios y paisajes que, dibujados en cartones, reflejados por un espejo inclinado á 45°, y mirados con lentes ó con vidrios de aumento, como vulgarmente los llaman, aparecen en la posicion vertical y con sus dimensiones naturales, causándonos una ilusion completa.

Con los espejos se mide la altura de un árbol ó de una torre. Si se busca el punto e (fig. 203), desde donde se vea, el punto a se forman los triángulos semejantes abc y cde que dan $dc : db :: de : ab$ altura buscada.



342. Imágenes en dos espejos. Cuando en lugar de un espejo se ponen dos, formando ángulo, las imágenes de cada uno se convierten en objetos para el otro, multiplicándose de esta suerte de una manera muy rápida. El número de las imágenes puede representarse por la ecuacion $n = \frac{c}{a} - 1$; llamando c la circunferencia, a el ángulo de los espejos, y n el número de imágenes visibles, cuando el ángulo es una parte alícuota de la circunferencia.

Si $a = 180^\circ$, $n = 1$, las dos superficies reflectantes se disponen bajo un mismo plano, no forman mas que un solo espejo, y claro está, la imagen es única. Si $a = 90^\circ$, $n = 3$, los espejos son perpendiculares y producen tres imágenes, de suerte que veremos el objeto cuatro veces, una directamente y tres por reflexión; y si $a = 0$, $n = \infty$; es decir, que en los *espejos paralelos el número de imágenes es infinito*. Una habitacion cuyas paredes estuvieran cubiertas de grandes lunas, apareceria ante nuestros ojos como una galería inmensa, sin mas limite que el marcado por la pérdida de luz en tantas y tan repetidas reflexiones; pérdida que favorece la ilusion, porque siendo mayor para las imágenes mas lejanas, hace creer que la falta de luz es por razon de sus distancias. Para distinguir las imágenes de cada espejo se pintan con dos colores los objetos por las caras opuestas.

343. Hasta ahora nos hemos desentendido de las muchas imágenes que de un cuerpo luminoso se ven en los espejos planos de vidrio, cuando se miran muy oblicuamente. Sábese en efecto, que se presenta en primer lugar una imagen débil, luego una bastante brillante, que es la principal, y despues otras varias mas y mas pálidas, hasta que por fin se pierden de vista. Para explicar el fenómeno sea AB (fig. 204) el espejo, y mn la direccion de los rayos incidentes; aunque el vidrio es trasparente, no deja de reflejar algo de luz y dá la primera imagen muy poco alumbrada en n' ; la luz restante llega á la superficie inferior cubierta con una amalgama de estaño donde se refleja en totalidad y viene al punto m' : la mayor parte sale del espejo y produce la imagen principal en n'' ; la restante se refleja de nuevo sobre el mercurio, y de aquí sobre el vidrio; para dividirse en el punto m'' en dos partes, una que sale del espejo y dá una imagen de escasa luz y la restante que queda sujeta á las mismas

condiciones que antes. Las imágenes distan unas de otras, por su orden, el doble del grueso del vidrio, y su número está sin embargo limitado por la falta de la luz.

LECCION LXVI.

Espejos esféricos; ejes y focos.—Relacion que hay entre la posicion de los focos reales y la del cuerpo luminoso en los espejos cóncavos.—Focos virtuales.—Explicar lo mismo en los espejos convexos.—Determinacion experimental de los focos en las dos clases de espejos.—Posicion, brillantez y magnitud de las imágenes en todos los casos.

344. **Reflexion en los espejos esféricos.** Demostrado ya que las leyes de la reflexion son independientes de la forma de las superficies, vamos á examinar las principales aplicaciones á que dá lugar en los espejos esféricos, ya sean cóncavos ó convexos.

Tanto en unos como en otros (fig. 205 y 206), su punto medio *A* se llama *vértice*; eje principal la línea *CA* que pasa por el centro *C* de la esfera y por el vértice *A* del espejo, y eje secundario la línea tirada por el centro de la esfera á cualquiera parte del espejo. Llámense *focos* los puntos por donde pasan los rayos de luz reflejados, ó sus prolongaciones.

345. **Espejos cóncavos.** Si sobre el espejo *MAN* (fig. 205), recibimos un manojó de rayos paralelos al eje principal, al llegar al punto *m* experimentarán la reflexion, formando con la normal de este punto, que es el radio *Cm*, el ángulo *CmF* igual al de incidencia *LmC*. La luz reflejada corta al eje en el punto *F*, por donde pasan todos los rayos de la propia direccion, produciendo un gran aumento de *luz y calor*, de cuya circunstancia toma el nombre de *foco real principal*, ó *de rayos paralelos*. Esponiendo al sol un espejo y recibiendo su imagen sobre una pantalla, tiene tanto brillo que no se puede mirar, y el calor enciende la madera y funde hasta el zinc.

Si la direccion de la luz *L'm*, no es paralela, por estar el punto *L'* de donde parte á una distancia finita, el ángulo de incidencia *L'mC* y su igual el de reflexion *CmF'* valen ahora menos que antes, y por consiguiente el rayo reflejado *mF'* se acerca mas al radio y corta al

eje en el punto F' , que es el foco del punto L' . Acercando mas y mas el punto luminoso al centro C , el foco se acerca tambien, y al llegar á este punto los rayos incidentes son normales, y los reflejados se confunden con los directos. Si el cuerpo continúa su marcha hácia el espejo, necesariamente ha de pasar por todos los puntos donde ha estado el foco, y este por todos los correspondientes del cuerpo luminoso, invirtiéndose el órden sin mas diferencia, que los ángulos de reflexion se cambian en ángulos de incidencia, y los ángulos de incidencia en ángulos de reflexion; son pues, *recíprocas las posiciones del cuerpo luminoso y las de su foco*. En el caso de salir la luz del foco principal F , el espejo la refleja paralelamente á su eje, y como todos los rayos van unidos, pierden muy poco de su intensidad con las distancias, lo que no sucede si son divergentes ó toma cada uno de ellos una direccion diferente.

346. **Focos virtuales.** Cuando ya el foco luminoso pasa del foco principal, los rayos incidentes $L''m$, forman con el rádio un ángulo tan grande que, despues de la reflexion, salen divergentes con el eje, y no encontrándole en su direccion no puede haber foco real; pero si imaginamos su prolongacion, el punto F'' en donde lo corta llámase *foco virtual*. En los *focos virtuales ni hay cruzamiento efectivo de los rayos reflejados, ni aumento de luz y calor, ni son demostrables con una pantalla de papel como los focos reales*.

En resumen, los espejos cóncavos dán dos clases de focos; *focos reales y focos virtuales*. *Los primeros se pintan al mismo lado del espejo que el cuerpo luminoso, y los hay siempre que este dista mas del vértice que el foco principal. Encuéntranse entre el centro de la esfera y el foco de rayos paralelos, si el cuerpo está entre el centro de la esfera y el infinito; ó entre el infinito y el centro, si el cuerpo está entre el centro y el foco principal. Los focos virtuales corresponden al lado opuesto del espejo que el cuerpo luminoso, y para cuando este dista menos del vértice que el foco de rayos paralelos.*

347. **Espejos convexos.** Principiaremos el estudio de la reflexion sobre los espejos convexos por donde los espejos cóncavos; esto es, por suponer en primer lugar los rayos incidentes Lm paralelos al eje del espejo (fig. 206). Tirada la normal $Cm C'$, fórmanse en virtud de la reflexion, los ángulos iguales $Lm C'$ y $C'm D$; la luz sa-

le en la dirección divergente mD , y solo la prolongación geométrica de sus rayos, corta al eje en el punto F , que se llama por ello *foco virtual principal*. Si el cuerpo se aproxima al vértice del espejo, el foco se aproxima también, y el del punto L' es F' . *Los espejos convexos no dan mas que focos virtuales.*

Los reflectores cóncavos, tanto esféricos, como parabólicos, ó hiperbólicos, son de uso frecuente, bien sea para concentrar la luz y el calor en un sitio dado, ó para dirigirla en una dirección conveniente. Prefiérense los parabólicos en los faros, con el fin de proyectar desde la costa á grandes distancias hácia el mar, la luz que sale de sus focos, y los tereeros para la construcción de las pantallas de nuestros quinqués.

348. **Determinación gráfica y experimental de los focos.** *El foco principal ó de rayos paralelos en los espejos esféricos cóncavos está en el eje principal casi á la mitad del radio.* El triángulo CmF (fig. 205) es isósceles, porque $LmC=CmF$ por la primera ley de la reflexión, $LmC=mCF$ por alternos internos, de donde sale que $mCF=CmF$, y por consiguiente $CF=Fm$. Ahora bien, para el caso en que el punto m diste muy poco del vértice A del espejo, podemos considerar á $Fm=FA$, y en este supuesto $FA=FC$. Luego conocido el radio del espejo, y tomando su mitad en el eje principal, fijaremos el foco de rayos paralelos. Por la inversa, si suponemos el espejo en dirección de los rayos del sol, ó de otro cuerpo luminoso bastante lejano para que sus rayos sean sensiblemente paralelos al eje, el punto donde se pinte la imagen menor y con mas brillantez será el foco principal; y duplicando su distancia al vértice tendremos el radio. Con ayuda del sol el foco se ve pronto, y mejor si se sacude un paño con polvo; con una vela en sitio oscuro sucede lo propio.

349. **Imágenes.** La reflexión de la luz no sigue estrictamente las construcciones geométricas de que hemos hecho mención en los números precedentes; en lugar de reflejarse todos los rayos paralelos, por ejemplo, en el foco principal, solo pasan por este punto aquellos que se encuentran en la superficie del mismo cono, ó del mismo cilindro si se quiere; los que están en otra superficie, mas interior ó mas exterior, son sí reflejados cerca de los primeros, pero

en puntos diferentes; y de aquí el que se forme en vez de un punto brillante, una *estension alumbrada* que es la imágen del cuerpo.

Para conocer la forma y posición de estas imágenes, haremos aplicación de todo lo espuesto al tratar de los focos. Sea por ejemplo PQ (fig. 207), el cuerpo cuya imágen se desea construir; tirados los ejes secundarios correspondientes PC y QC, nos encontramos que pintándose el punto L' en F', los P y Q se pintarán en P' y Q'; por la sencilla razón que siendo la esfera simétrica, como lo es, respecto de todos sus diámetros, lo dicho para el eje principal es justamente aplicable á los demás; por consiguiente, la imágen es Q'P'. Por la inversa, la imágen del cuerpo luminoso P'Q' será PQ. *Luego los espejos cóncavos dán imágenes reales, invertidas, menores que el objeto y dispuestas entre el centro y el foco principal, si los cuerpos están entre el centro y el infinito; y mayores, aunque invertidas también, y colocadas entre el centro y el infinito, si los cuerpos están entre el centro y el foco principal*

Cuando el objeto dista menos del vértice del espejo que el foco principal, el punto L'' (fig. 208), aparece en F'', y los P y Q en P' y Q'; de forma que *la imágen es virtual, directa y mayor que el objeto*. Supuesto el objeto en P'Q', tenemos la cuestión referida á los espejos *convexos*, su imágen será PQ, *virtual, directa y menor que el objeto*.

Las imágenes *reales* de los cuerpos *luminosos* son visibles sin interposición de pantalla, de donde toman la denominación de *áereas* con que generalmente se conocen; las de los cuerpos simplemente *alumbrados* es preciso ponerse en la dirección de los rayos reflejados para distinguirlos; unas y otras son demostrables con pantallas de papel blanco ó de vidrio sin pulimento. Las imágenes *virtuales* nunca se pintan sobre las pantallas, y solo son visibles mirando los espejos en la dirección de los rayos reflejados.

350. **Anamórfosis.** Llámase de esta manera á dibujos contruidos con ciertas reglas para que vistos directamente no representan nada, pero reflejados por espejos cilíndricos ó cónicos aparezcan objetos perfectos. En los cilíndricos, las figuras tienen sus dimensiones á lo largo ó segun las generatrices, y están acortadas ó amplificadas en el plano perpendicular, ó de la circunferencia de la base

segun que sean *cóncavos* ó *convexos*. En los cónicos, conservan sus dimensiones segun los lados, y se acortan en el otro sentido tanto mas cuanto mas cerca es del vértice.

LECCION LXVII.

Refraccion.—Casos en que tiene lugar.—Sentido en que se verifica.—Demostrar las leyes de Descartes, y análisis de la ecuacion á que conducen.—Refraccion atmosférica y terrestre.—Refraccion en el agua.

351. **Dióptrica ó refraccion de la luz.** Cuando la luz sale del vacío y entra oblicuamente en el aire, en el agua ó en el vidrio; cuando de uno de estos cuerpos pasa á otro, ó cuando en general *varia de medio, experimenta en la superficie de separacion un quebranto, una desviacion en su marcha rectilínea, conocida con el nombre de refraccion.* Un baston introducido en el agua parece torcido en el punto de inmersion, por recto que sea, cuyo fenómeno depende de que la luz reflejada por las dos porciones contiguas á la superficie de nivel no sigue idéntica marcha; la que viene del agua al aire eleva la parte sumergida y determina en el órgano de la vista igual ilusion que si el baston estuviera en aquel sitio un poco encorvado.

352. **Sentido de la refraccion.** *La desviacion de la luz es aproximándose ó alejándose de la normal segun que el medio donde entra es mas ó menos refringente que aquel de donde sale.* Si un manojo de rayos luminosos LM (fig. 209), pasa del aire al agua ó del medio X al medio Z, en el punto M deja su marcha rectilínea y se acerca á la normal NN'. Por el contrario, suponiendo ser RM la direccion incidente, la luz refractada ML se aparta de la normal si el medio X es menos refringente que el Z.

353. **Leyes de la refraccion.** Las leyes de la refraccion de la luz, formuladas por Descartes, son dos: 1.^a *El seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refraccion dá un cociente constante.* 2.^a *Los rayos incidente y refractado están en un mismo plano normal á la superficie de separacion de los medios. El ángulo de incidencia está formado por la direccion de*

los rayos incidentes y por la normal, y el ángulo de refraccion por la normal y los rayos refractados.

Sabido esto, para demostrar las leyes de la refraccion, se hace uso del aparato (fig. 199), empleado en las de reflexion (338); y se practica todo lo mismo, con la única diferencia que en lugar de las superficies reflectantes, se pone ahora una cubita rectangular con un liquido trasparente, el agua por ejemplo. En seguida se busca la direccion de la luz refractada, recibiendo la imágen sobre una pantalla: se miden los ángulos de incidencia y de refraccion, se divide el seno del primero por el del segundo, y se anota su valor. Hecho esto, se varia de mil maneras el ángulo de incidencia, y se divide siempre su seno por el correspondiente del ángulo de refraccion. La division así practicada dá constantemente el propio cociente. De

suerte que podemos escribir la fórmula $\frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r} = n$. El cociente n , del

seno del ángulo de incidencia por el seno del de refraccion se llama *índice de refraccion*, y es independiente de la inclinacion de la luz ó del ángulo de incidencia, y de aquí la verdad de la primera ley. La disposicion del aparato demuestra geométricamente la segunda.

Del análisis de la ecuacion $\frac{\text{sen. } i}{\text{sen. } r} = n$, salen algunas propiedades

de la refraccion que es conveniente conocer. Con efecto, si $\text{sen. } i = 0$, $n = 0$; luego cuando los rayos son normales á la superficie de los medios la luz no se refracta; si el ángulo de incidencia es de 90° ,

$\text{sen. } i = 1$, y $n = \frac{1}{\text{sen. } r}$, ó $\text{sen. } r = \frac{1}{n}$. Es decir que cuando la luz

cambia de medio hay un limite dentro del cual se ha de verificar necesariamente la refraccion. Este *ángulo limite*, que así se llama, depende del índice de refraccion: si n es mayor que la unidad, lo cual sucede siempre que la luz pasa de un medio menos á otro mas refringente, el ángulo de refraccion es menor que 90° ; y si n es menor que la unidad, que es cuando la luz pasa de un medio mas á otro menos refringente, sale para el ángulo limite de refraccion un valor mayor que 90° , y como no puede haber este ángulo aparece otro fenómeno importante que es la *reflexion total*.

En virtud de lo que acabamos de esponer, un vaso de agua (fig. 209) alumbrado por todo el cuadrante NMB, dejará en sombra el espacio AME, que esté fuera del ángulo límite EMN'.

En el caso contrario, el ángulo de refraccion BMC' (fig. 210), de la luz que pasa de un medio mas denso á otro menos denso, es mayor que el de la incidencia CMN', y cuando este llega á tener el valor representado por EMN', aquel es ya igual á BMN' ó á 90°; pasado el ángulo límite EMN', y para la posicion FM, el rayo luminoso no puede refractarse dentro del mismo espacio que antes, pero en cambio se *refleja* formando el ángulo de reflexion F'MN' igual al de incidencia FMN'. Llámase *reflexion total*, el acto por el que la luz se refleja al pasar de un medio mas á otro menos denso. El nombre sale de la mucha luz que se refleja, llegando á producir en los líquidos una brillantez tan grande como si fuera sobre las superficies metálicas mejor pulimentadas.

354. Refraccion atmosférica. Dase el nombre de *refraccion atmosférica* á la que experimenta la luz de los astros para llegar á la tierra. Esta refraccion es una causa permanente que impide ver los astros en sus posiciones verdaderas; la desviacion crece desde la vertical ó cenit donde es nula, hasta el horizonte que llega á su máximum. En esta posicion una estrella aparece elevada de 30 minutos, y como la luna y el sol tienen un diámetro poco mas ó menos de esta magnitud, nosotros los vemos por completo cuando están totalmente bajo el horizonte. La figura deprimida que notamos en estos astros cuando se hallan muy bajos, depende de la misma causa: la luz que parte del borde inferior, siendo mas oblicua, atraviesa mayor número de capas atmosféricas y experimenta mayor refraccion que la que parte del borde superior, de donde resulta mas elevado el primer borde que el segundo y la figura aplastada del disco.

La marcha de la luz en todos estos casos se representa por una linea curva (fig. 211), cuya convexidad se dirige hácia el cielo; y viendo nosotros los astros en la direccion de la tangente OS' al último elemento de la curva, aparecen mas cerca del cenit de lo que están. Si el objeto se halla sobre la tierra y en un punto elevado, aparece mas elevado de lo que está. Las torres y las montañas las

creemos mas altas de lo que son. En las observaciones astronómicas y geodésicas hay que corregir la refraccion de las visuales para tener resultados exactos.

355. **Refraccion en el agua.** La refraccion en el agua engendra fenómenos análogos á los que acabamos de estudiar en el aire. Sea PQ (fig. 212), el objeto visible; los rayos normales PN y QM á la superficie de nivel AB no se refractan, pero los PX y QY se alejan de las perpendiculares correspondientes, y verificándose la vision en la prolongacion de estas rectas, el objeto se presenta como si estuviera en P' Q', mas próximo de la superficie. Si el medio fuera menos denso, aparecería mas lejano y pintado en P'' Q''. Aqui encontramos la razon de por qué son vanos los esfuerzos de cazadores poco esperimentados al intentar herir los animales que están bajo del agua, pues apuntando á un sitio donde no se encuentra el objeto de sus asechanzas, se ven tanto mas burlados cuanto mejor hacen la punteria.

LECCION LXVIII.

Refraccion en los medios de caras planas y paralelas.—Qué se entiende por prisma en fisica, denominaciones especiales, marcha que sigue en ellos la luz, y desviacion mínimú.—Aplicacion á determinar el indice de refraccion de los sólidos; goniómetro.—Idem al de los líquidos.—Idem al de los gases.—Potencia refractiva; aplicaciones.

356. **Refraccion en los medios de caras planas.** La refraccion á través de superficies *planas paralelas*, presenta los objetos en la posicion que ocupan, por *ser los rayos incidentes paralelos á los emergentes*. La inspeccion de la (fig. 213), nos hace conocer que los rayos esperimentan en M una primera refraccion aproximándose á la normal de este punto, pero al llegar al M' de la cara opuesta, se refractan de nuevo en sentido opuesto, esto es, alejándose de la normal; y como el alejamiento de ahora es igual á la aproximacion de antes, hay compensacion y los emergentes conservan su paralelismo con los incidentes. El ojo del observador situado en O verá la imágen del punto L en L', un poco separada lateralmente del lugar que ocupa, pero en los medios de poco espesor esta

separacion es insignificante. El paralelismo de los rayos antes y despues de la refraccion se conserva inalterable aun en el supuesto de atravesar varias láminas paralelas.

557. **Refraccion en los prismas.** *Llábase prisma en óptica todo cuerpo trasparente terminado por superficies planas; estas superficies no necesitan cortarse inmediatamente, basta que lo hagan sus prolongaciones (fig. 214). El ángulo A, formado por dos cualesquiera de las caras que la luz atraviesa, se llama ángulo refringente del prisma; arista ó vértice su interseccion; base la cara opuesta BC, y seccion principal toda cara BAC perpendicular á la arista.*

Sea ABC la seccion principal de un prisma (fig. 214), y LM la marcha de la luz incidente; en el punto M sufre la refraccion acercándose á la normal, por ser el vidrio mas denso que el aire; en la cara opuesta AC vuelve á la atmósfera alejándose de la normal correspondiente. Recibiendo la imágen sobre una pantalla se pinta en O, mas próxima de la base del prisma que el objeto; pero si la miramos por su intermedio, la veremos en L' mas elevada ó mas cerca del vértice.

558. **Desviacion minimum.** La desviacion de la luz en los prismas depende: de su inclinacion, del ángulo refringente y del índice de refraccion de la sustancia. Interponiendo un prisma entre la marcha de la luz y una pantalla, sobre la cual recibamos la imágen refractada, y haciéndole girar despues alrededor de su eje, la imágen se mueve entre ciertos limites, alejándose ó acercándose á su posicion directa, segun la que toma el prisma con relacion á la luz. De esta manera se reconoce que hay una *desviacion minimum para el caso en que el ángulo de incidencia en la primera cara es igual al de emergencia en la segunda*; desviacion minimum que se mide por el ángulo en D, formado por las direcciones ó prolongaciones de los rayos luminosos á la entrada y salida del prisma. Esta desviacion D, el ángulo refringente del prisma A, y el índice n de su refraccion, tienen ciertas relaciones importantes que podemos representar por la ecuacion:

$$n = \frac{\text{sen. } 1/2 (A+D)}{\text{sen. } 1/2 A}$$

Fórmula de la cual sale el índice de refracción de los cuerpos transparentes, sustituyendo en ella el valor del ángulo refringente y el de la desviación *mínimum*.

359. **Índice de refracción de los sólidos.** Entre los medios conocidos para medir el índice de refracción, uno de ellos se funda en la desviación *mínimum*, y á nuestro entender es el mas sencillo y el mas general á la vez, por cuyas razones le damos la preferencia. Con este pensamiento escribimos la fórmula de antes, y con ella resolveremos la cuestión siempre que encontremos el medio de conocer los valores A y D. El ángulo refringente A del prisma se mide con los *goniómetros*. El de aplicación por ejemplo, consiste (fig. 215), en dos láminas de acero cruzadas, una fija con un semicírculo en uno de sus extremos, y la otra que gira recorriendo sus divisiones; puesta una cara del prisma sobre la lámina fija de modo que ajusten bien, se aproxima la móvil hasta que haga lo propio con la otra, en cuyo caso, el *ángulo diedro de los planos ó caras del prisma, es igual, por opuesto al vértice, al señalado por las láminas en el semicírculo*. Para medir la desviación *mínimum*, tómese un anteojo (fig. 216), móvil alrededor del centro de un círculo graduado, y dispóngase de manera que la visual dirigida á un objeto muy lejano L, coincida con el cero de la escala; en seguida mírese el mismo objeto al través del prisma P, cuyo índice de refracción se busca; hágase girar el prisma sobre su eje; sígase con el anteojo la imagen refractada, y llegaremos al cabo de poco tiempo á conocer la desviación *mínimum* por el ángulo mas pequeño que en dichas posiciones marque el anteojo. Sustituido este valor y el de antes en la fórmula, el cociente de las divisiones indicadas será el índice de refracción pedido.

360. **Índice de refracción de los líquidos.** Lo primero que tenemos que practicar en los líquidos es encerrarlos en un prisma hueco del tenor siguiente. En un prisma de vidrio se hace un agujero circular (fig. 217), que atraviesa las dos caras del ángulo refringente, cerrándole despues por ambos lados con láminas de cristal de caras bien paralelas ajustadas y sostenidas con tornillos de presión; desde la cara N del prisma parte otro agujero menor á encontrarse con el primero, destinado á dar entrada y salida

á los líquidos sobre los cuales se opera. Haciendo al rayo luminoso atravesar la masa flúida, y midiendo su desviación minimum, encontraremos, como en los sólidos, el índice de refracción buscado.

El índice de refracción aumenta casi siempre con la *densidad* del cuerpo; por eso crece con la compresión y disminuye con el calor; la regla presenta bastantes escepciones; cuando los sólidos pasan á líquidos el índice de refracción aumenta en unos y disminuye en otros.

561. **Índice de refracción de los gases.** El aparato (fig. 218), destinado á este objeto, está compuesto de un tubo cilindrico AB cortado por sus bases con planos inclinados al eje, para que prolongados formen entre sí un ángulo de 144° . Semejante disposición hace mayor la desviación de la luz, siempre débil en los gases. Comunica este tubo con otro CD, donde hay un barómetro truncado para medir la presión del gas; con la máquina neumática para hacer el vacío, y con un recipiente que contiene el gas que se ha de someter á la experiencia. Medida la desviación minimum que experimenta la luz al pasar del vacío al prisma de gas, y su ángulo refringente, solo resta practicar las operaciones de costumbre. Sin embargo, no es este el método estrictamente puesto en práctica, pues en lugar de medir la desviación que sufre la luz del vacío á los gases, se mide por el contrario la que sufre de los gases al vacío que es operación mucho más fácil, y que conduce á los mismos resultados, modificando algun tanto la fórmula en este sentido.

562. **Potencia refractiva.** Llámase *potencia refractiva de un cuerpo al cuadrado de su índice de refracción disminuido de la unidad, es decir, á $n^2 - 1$* ; y *poder refringente á la relación entre la potencia refractiva y la densidad del cuerpo ($n^2 - 1$): d* . La denominación de potencia refractiva se dió para representar el efecto que causa el medio refringente sobre la velocidad de la luz. El poder refringente se ha mirado como constante sin serlo y hoy á nada conduce. El nombre de poder refringente le usan muchos autores para señalar el índice absoluto de refracción.

Las potencias refractivas pueden servir para determinar los índices de refracción en los gases; pues según los señores Arago y Biot son *proporcionales á sus densidades ó á sus fuerzas elásticas.*

Luego no habrá mas que aumentar ó disminuir la presión de los gases hasta tanto que todos adquieran igual fuerza elástica, y una vez conseguida esta circunstancia, *las potencias refractivas serán inversamente proporcionales á las presiones á que haya sido necesario someter cada uno de ellos*. Añadiendo una unidad á la potencia refractiva, la raíz cuadrada de su suma será el índice de refracción. Este principio es verdadero para cuando los gases se mezclan; porque siempre la potencia refractiva de una mezcla es igual á la suma de las potencias refractivas de sus elementos; pero no sucede lo mismo cuando los gases se combinan, cuya potencia refractiva es mayor ó menor que la suma de la de los componentes, sirviendo esta propiedad para reconocer y distinguir las mezclas de las combinaciones en las sustancias gaseosas.

Hay analogías bastante perceptibles entre el poder refringente de un cuerpo y su combustibilidad, analogías que manifiestan que los cuerpos mas refringentes son los mas combustibles tambien. El hidrógeno, el fósforo y el azufre hacen patente nuestra asercion, y en ella se fundó el gran Newton para decir que el diamante debia ser una sustancia muy combustible, mucho antes que se soñara en pensar que tan apetecido cuerpo fuese carbono puro, segun el análisis químico lo ha demostrado despues.

LECCION LXIX.

Lentes, su división, focos y ejes.—Relacion entre los focos reales y los cuerpos luminosos en las convergentes.—Focos virtuales en las mismas.—Idem en las divergentes.—Posicion, magnitud y claridad de las imágenes en todos los casos.—Hallar experimentalmente los focos de las lentes.

363. **Lentes.** Damos el nombre de lente á todo cuerpo transparente limitado por superficies esféricas, cóncavas ó convexas, ó por cualquiera de ellas con superficies planas. El género de curvatura puede ser otro, y hay lentes cónicas ó cilíndricas, pero de escasas aplicaciones.

Divídense las lentes, en *convergentes* las que refractan los rayos de luz aproximándolos ó reuniéndolos, y en *divergentes* las que los

desunen ó separan. Las convergentes (fig. 219), pueden ser: *biconvexas* M, si están formadas por dos segmentos esféricos cuya convexidad se dirige hácia afuera; *cavo convexas*, ó *meniscos convergentes* N, si se componen de dos curvaturas vueltas en el mismo sentido, siendo el rádio de la parte interior mayor que el de la exterior; y *plano convexas* O, si constan de un segmento y de una superficie plana. Las divergentes son (fig. 220): *bicóncavas* M, si las concavidades están hácia los objetos; *cavo cóncavas*, ó *meniscos divergentes* N, si el rádio de la superficie interior es menor que el de la exterior; y *plano cóncavas* O, si hay en ellas una superficie plana y otra cóncava. Las convergentes son mas gruesas por el centro que por los bordes, y las divergentes al revés, mas gruesas por los bordes que por el centro.

364. **Ejes y focos.** El punto medio de cada una de las caras curvas de las lentes se llama *vértice*; *eje principal* la línea que pasa por el centro ó centros de curvatura y por los vértices, y *eje secundario* la que parte de un punto cualquiera del cuerpo luminoso al centro óptico de las lentes. Los puntos donde los rayos refractados de luz y calor, ó donde sus prolongaciones cortan los ejes, ó si se quiere donde estos rayos y prolongaciones se cruzan, toman el nombre de *focos*; los cuales pueden ser *reales y virtuales*. Son *focos reales aquellos puntos donde hay concentracion real y efectiva de luz y calor*; y *focos virtuales aquellos por donde solo pasan las prolongaciones geométricas de dichos rayos*; sin aumentar en su consecuencia la intensidad de ninguno de los dos flúidos. En la marcha de la luz al través de las lentes, muy poco ó nada nuevo hay que añadir, porque dándonos la ecuacion del rádio de curvatura el ángulo de incidencia y el índice de refraccion de la sustancia, marcáremos fácilmente la direccion del rayo refractado, construyendo al otro lado de la normal un ángulo cuyo valor se deduce de la expresion $r = \text{sen. } i : n$. Sin perder de vista estas consideraciones generales entremos en la práctica de ellas.

365. **Focos en las lentes convergentes.** Supongamos que Lm (fig. 221), representa la direccion de la luz incidente sobre la primera superficie convexa; al atravesarla se aproxima á la normal C'm y llega al punto m' de la cara opuesta; en este sitio vol-

viendo la luz de la lente al aire, la refraccion es alejándose de la normal Cm' , y el rayo refractado corta el eje principal en el punto F , llamado *foco real principal ó de rayos paralelos*. Todos los rayos incidentes bajo la misma direccion se cruzan sensiblemente en el propio punto, adquiriendo en su virtud mucha brillantéz y una gran elevacion de temperatura. Por la inversa, si el cuerpo luminoso estuviera en el foco principal, los rayos luminosos despues de la refraccion saldrian paralelamente al eje. A medida que el cuerpo luminoso se acerca á la lente, el foco se aleja de ella, y cuando el primero está en L' el segundo pasa á F' ; de modo que al llegar el cuerpo luminoso á la distancia focal principal, los rayos refractados, ya lo hemos dicho, salen paralelos al eje; ó lo que es lo mismo, el foco está en el infinito.

366. **Focos virtuales.** Cuando el cuerpo luminoso L (fig. 222), se acerca aun más al vértice que el foco principal, los rayos resultan *divergentes*; pero si imaginamos su prolongacion, cortan el eje al mismo lado que el cuerpo luminoso y mas lejos que él, dando ocasion á un foco virtual F . Todo lo espuesto en las lentes biconvexas es aplicable á los meniscos convergentes y á las plano-convexas.

367. **Lentes divergentes.** Suponiendo ahora interceptada la luz por una de las lentes divergentes, la bicóncava por ejemplo, (fig. 225), y practicadas las construcciones de siempre, encontramos: que los rayos refractados son divergentes; que sus focos son virtuales y están mas próximos y al mismo lado de la lente que el cuerpo luminoso, y que se aproximan al vértice al propio tiempo que este.

368. **Imágenes.** En todas las lentes de que hemos tratado hay un punto denominado *centro óptico*, que goza de la notable propiedad de hacer que los rayos luminosos que pasan por él no sufran ninguna desviacion angular; es decir, que los rayos emergentes son paralelos á los incidentes. En las lentes esféricas por ambos lados, ya sean biconvexas, bicóncavas, cavo convexas ó cavo cóncavas el centro óptico está en la interseccion de la línea que une las estremidades de dos rayos paralelos con el eje principal, y en las plano-cóncavas ó plano-convexas el vértice, ó el punto de interseccion de la curva con el eje. A esto conviene añadir que siendo ejes secundarios las li-

neas que pasan por el centro óptico y por los cuerpos luminosos, deben participar de todas las propiedades de los ejes principales, cuando los ángulos que forman con ellos son de un corto número de grados.

Entendido lo dicho, supongámos el objeto PQ en frente de la lente biconvexa (fig. 224); el foco del punto L' ya sabemos que está en F'; para determinar los de los puntos P y Q, tiraremos los ejes secundarios correspondientes, y en ellos hallaremos las imágenes apertecidas: en P' la del primero, y en Q' la del segundo; de manera que la imagen final será la P'Q', *invertida y menor que el objeto*. Por el contrario, si suponemos que el objeto es P'Q', su imagen estará en PQ, *invertida pero mayor que el objeto*. Cuando el objeto PQ (fig. 225), *dista menos que el foco principal, su imagen P'Q' es virtual, directa y amplificada*. La amplificación es tanto mayor cuanto el objeto PQ dista menos de la lente.

De todo lo que acabamos de esponer resulta, que las imágenes, como los focos, *son reales y virtuales: las imágenes reales, son siempre invertidas y menores que el objeto, si este se halla del vértice mas de dos veces la distancia focal principal; iguales para dos veces dicha distancia, y mayores para una distancia menor. Las virtuales, son siempre directas, mayores que el objeto y aumentan de estension á medida que este se aproxima á la lente*. Las imágenes reales son visibles con el auxilio de pantallas donde se pintan, mientras que las virtuales no gozan de semejante propiedad, á no suponer los ojos en la direccion de los rayos refractados.

Por último, si la lente es divergente (fig. 226), la imagen de PQ se pinta en P'Q'; es siempre *directa, virtual y menor que el objeto, y está entre este y el vértice de la lente*. La reduccion de magnitud es tanto mayor cuanto que el cuerpo dista menos del vértice.

Todo lo que acabamos de esponer de focos y de imágenes, se demuestra en las cátedras de física, haciendo entrar en ellas un haz de rayos solares despues de cerrar las ventanas. A falta de luz solar se emplea la de una bugía cualquiera, y acercándola ó alejándola de las lentes, y recibiendo la imagen mas ó menos lejos, con una pantalla de papel, nada queda que desear. Sacudiendo en el aire un paño con polvo se ve mejor la marcha de la luz y el cono que forma.

369. Hallar experimentalmente el foco principal de las lentes. Para hallar el foco principal de las lentes convergentes se esponen á la accion de los rayos del sol, y recibiendo la imagen sobre una pantalla, donde se pinte mas pequeña y mas brillante, es el punto buscado. En las lentes divergentes (fig. 227), se cubre una cara con papel que tiene dos aberturas m y n á igual distancia del eje, y la otra se esponen á los rayos solares; en seguida se reciben las imágenes de las aberturas sobre una pantalla que se acerca ó aleja hasta que la línea MN sea doble de la mn ; en cuyo caso la CD mide la distancia focal principal virtual.

LECCION LXX.

Descomposicion de la luz.—Orden de los colores del espectro.—Diferente refrangibilidad de los colores.—Composicion de la luz por medio de los prismas ó de un aparato con siete espejos.—Combinacion de los colores: diferencia entre los del espectro solar y los de las artes.—Rayas del espectro.—Propiedades físicas y químicas del espectro.—Color de los cuerpos.—Acromatismo; experimento fundamental.—Prismas y lentes acromáticos.

370. Descomposicion de la luz. La luz que pasa por los prismas, por las lentes, ó por un medio diáfano de superficies inclinadas, pierde su blancura, y aparece mas ó menos teñida de ciertos colores que están manifestando su *descomposicion* ó *dispersion*.

Para tener una prueba concluyente, y estudiar las particularidades de la descomposicion de la luz, basta hacer entrar en un aposento oscuro, por una pequeña abertura, un haz de rayos luminosos, poner un prisma en su direccion (fig. 228), y recibir la imagen refractada sobre una pantalla blanca distante 15 ó 20 piés. Hecho esto, se encuentra la imagen RV de la abertura, prolongada en la direccion perpendicular á la arista del prisma, de forma rectangular terminada por segmentos esféricos y compuesta de siete luces cada una de su color, ó de siete colores que por su orden son: *el rojo, el anaranjado, el amarillo, el verde, el azul, el añil y el violado*. A esta imagen con los siete colores es á lo que se llama *espectro solar*. El espectro solar está tanto mejor detallado cuanto que el haz de luz

es mas fino, el ángulo del prisma mas grande y la pantalla mas distante.

El número y disposicion de los colores siempre es el mismo, é independientes de la naturaleza del prisma y del origen de luz, si esta es blanca: el rojo es constantemente el color mas próximo del vértice, el violado el mas distante, y los colores intermedios están en el orden en que los hemos enumerado. Los siete colores no ocupan igual espacio en el espectro solar, ni están bien separados unos de otros por líneas de demarcacion; se observa mas bien en ellos una debilitacion progresiva semejante á la que estudiamos en la luz y la sombra; quiero decir, que se penetran recíprocamente en las partes contiguas, y que cada tinta concluye á espensas de una disolucion en las tintas vecinas.

371. **Diferente refrangibilidad de los colores.**

La descomposicion de la luz blanca es debida, á no dudarlo, á la desigual refrangibilidad de los rayos constituyentes del espectro, pues cuando andan el mismo camino, ó atraviesan cuerpos de caras paralelas, la luz no se descompone. Demuéstrase esto mismo haciendo pasar por un pequeño orificio de la pantalla, sobre la cual se pinta el espectro solar, todos los colores uno á uno; sometidos por su orden á la refraccion de otro prisma y recibiendo las imágenes correspondientes sobre una segunda pantalla, resulta de su disposicion que la refrangibilidad decrece desde el violado al rojo. Como las segundas imágenes conservan su color propio ó no sufren nueva descomposicion los colores del espectro son *simples ó elementales*. Además, ocupando todos los colores cierta parte del espectro, que varia con la naturaleza del prisma, se deja comprender que están ellos mismos compuestos de rayos diferentemente refrangibles; los rayos rojos, por ejemplo, mas cercanos del vértice del prisma, experimentan menor desviacion que los rayos rojos mas lejanos, y esto mismo sucede en todos los colores restantes; de suerte que la refrangibilidad no solo disminuye de un color á otro, sino tambien una tinta cualquiera está formada por una infinidad de rayos muy próximos, que hacen la ley del decrecimiento casi imperceptible. Para hacer la demostracion con los líquidos, se toma el prisma (fig. 229) de varias separaciones y se echan líquidos en ellas que no tengan color; ha-

viendo pasar una banda estrecha de luz por ellos, sus espectros hacen patente lo que llevamos dicho.

372. Descomposicion por absorcion. Los cuerpos transparentes colorados son aquellos que tienen la luz blanca que los atraviesa de su propio color; la coloracion depende de la naturaleza de la sustancia y sobre todo del espesor; para cerciorarse de ello se interponen dos ó mas láminas de un mismo cuerpo en la direccion de los rayos solares, y la imágen de la abertura se encuentra siempre de color. Si se hace uso de luz simple, por regla general los cuerpos de otro color no la dejan pasar si son bastante gruesos; es decir, que son *impermeables* para ella, ó mas claro, que son *opacos*; la luz amarilla es detenida por un cuerpo transparente rojo, y la luz roja por el cuerpo amarillo. Para esplicar este fenómeno se dice que los cuerpos absorben la luz que no es de su color, como los negros la absorben toda.

Descomposicion por reflexion. La luz se descompone por reflexion; en algunos cuerpos son suficientes pocas reflexiones de un mismo haz para tener la luz completamente simple; en otros solo se consigue cuando son en mayor número.

373. Recomposicion de la luz. El *análisis* que de la luz acabamos de hacer, recibe su comprobacion con la *síntesis*. Con efecto, reuniendo los siete colores del espectro, sea con las lentes convergentes ó con los espejos cóncavos, se presenta la imágen en sus focos con el color blanco del sol. Hay alrededor unas auréolas de varios colores que son la prueba de las cáusticas por refraccion y por reflexion. Un prisma igual al que produzca la descomposicion, dispuesto en sentido contrario del primero, recompone la luz blanca. En este caso los rayos se hacen paralelos, y todos andan en los prismas idéntico espesor; de donde tomó Newton la idea de que la luz debía estar compuesta de una multitud de pequeños haces paralelos, desigualmente refrangibles, y capaces de causar individualmente la sensacion de un color determinado; pero que dispersados por la accion de los cuerpos hacen visible su color propio.

Por último, con el aparato (fig. 230), compuesto de siete espejos móviles en todos sentidos, y en disposicion de acercarlos ó separarlos á voluntad, la recomposicion de la luz se hace muy fácilmente;

pues colocándole en el espectro de modo que cada espejo no refleje mas que la luz de un solo color sobre un punto dado, la reunion de los siete colores forma la luz blanca. Este experimento puede servir para estudiar las combinaciones de los colores de que hablaremos luego.

374. Combinacion de los colores. Reunidos los colores del espectro dos á dos, el primero con el tercero, el segundo con el cuarto etc. dan por resultado los colores intermedios; del rojo y del amarillo sale el anaranjado, de este y del verde el amarillo, y del verde y del violado sale el azul. De aquí el que haya creído Brewster que en el espectro solar no habia mas que *tres colores: el rojo, el amarillo y el azul*; que mezclados el rojo y el amarillo darían el anaranjado; el amarillo y azul el verde, y el azul y el rojo el violado. Estos colores se encontrarian en todo el espectro; es decir, que el espectro solar se compondria de *tres espectros* superpuestos; y donde cada uno predominase daría su color. La principal dificultad del sistema de Brewster es que no se puede demostrar la existencia de los tres colores en todos los puntos del espectro, ni formar el blanco puro con ellos.

375. Colores complementarios. Llámanse *colores complementarios* los que reunidos forman la luz blanca. Cada color simple tiene su complementario que puede ser simple ó compuesto. Están dispuestos en el espectro de tal modo que dejan dos en el medio; el del rojo es el verde, y el del amarillo el violado.

376. Rayas del espectro. Examinando con atencion el espectro solar á través de un prisma bien puro, se encuentran en él bastantes bandas *negras* muy estrechas, transversales y desigualmente repartidas entre los colores, llamadas *rayas del espectro*. Estas rayas guardan igual posicion y están en igual número en la luz de la atmósfera, en la del sol y en la de los planetas; en las estrellas fijas se observa, que si bien las rayas son negras, el número y disposicion difiere algun tanto de las del espectro solar: en la luz eléctrica y en las llamas hay rayas blancas en vez de las negras. Las llamas dan todas el mismo resultado, sin duda porque su luz procede de partículas incandescentes de carbon. Fraunhofer eligió entre estas rayas ocho que sirven de puntos de partida, cuyos índices de

refracción se calculan por la desviación *mínimum*.

Llegados á este punto solo nos resta añadir, que la *dispersión* de una sustancia es la diferencia $n' - n$ de los índices de refracción de los colores extremos, del violado y del rojo; llamándose *poder dispersivo* á la relación $(n' - n) : (m - 1)$ que existe entre la dispersión y el índice medio de refracción disminuido de la unidad.

377. Propiedades del espectro. Las multiplicadas experiencias hechas con el espectro solar han dado por resultado que los colores no tienen todos iguales propiedades. La parte *luminosa* está en su *mínimum* en los colores extremos, rojo y violado, sin que podamos asegurar otro tanto respecto del *máximum*, que suponen algunos en el *verde*, otros en el *amarillo*, y hay quien crea encontrarlo entre estos dos colores. El lugar del *máximum calorífico* ofrece las mismas dudas: reconcentrando los colores por su orden, en el foco de un espejo, ó de una lente, la temperatura señalada por un termómetro muy sensible es diferente en todos ellos; puestos los termómetros desde luego en los colores del espectro sucede lo propio; y aun fuera de la parte visible y un poco separado del rojo hay, en circunstancias dadas, mas calor que en todo el resto donde está la luz. Melloni, con la sagacidad que le distingue, ha demostrado que el *máximum calorífico* depende de la sustancia y espesor del prisma, y por eso no es de estrañar que en unas sustancias coincida con el *máximo luminoso* y en otras difiera de él. Con la sal gema, cuerpo diatérmico, el *máximo calorífico* parece estar fuera de la parte visible y á la distancia del rojo, poco mas ó menos, que separa este color del amarillo. Las acciones *químicas* tambien se inclinan en el sentido de estos ó de los otros colores; los rayos rojos alteran muy poco el cloruro de plata aun cuando se los reuna en un foco, mientras que los violados lo ennegrecen inmediatamente y descomponen otras sales de plata, de oro y de platino que abandonan parte del metal. La influencia es distinta en cada uno de los extremos del espectro, saliéndose un poco de la parte visible hácia los rayos violados, sin embargo que no es de una manera constante, al menos que sepamos. Los rayos que promueven las acciones químicas se llaman *escitadores*, y los que son al principio inactivos y la siguen despues que principia se llaman *continuadores*. La parte tan activa que toman

los colores en el desenvolvimiento de las plantas prueba esto mismo, porque un color dado, el violado por ejemplo, no produce idéntico resultado sobre todas las especies vegetales.

378. **Color de los cuerpos.** La reflexion de la luz no parte esclusivamente de la superficie matemática de los cuerpos, sino que, como la del calor, tiene lugar á cierta profundidad. Los colores que en ellos distinguimos no se esplican bien sin admitir que los rayos luminosos penetran en su masa, donde sufren la descomposicion, siendo absorbidos algunos y reflejados los restantes, que son justamente los que nos causan la sensacion del color correspondiente. Si todos los rayos son absorbidos, la luz se apaga, tenemos la oscuridad, y los cuerpos son negros; mientras que, reflejados en totalidad, la luz aparece blanca tal cual es. Por esta razon, lo negro y lo blanco no son colores; lo primero es la carencia de la luz, y lo segundo la reunion de todos los colores, la luz misma. Tan cierto es esto, que alumbrados los cuerpos con los colores simples, todos bajo este punto de vista son iguales; son rojos en el color rojo, amarillos en el amarillo y negros en la oscuridad. En su consecuencia diremos que los colores están en la luz y no en los cuerpos.

379. **Aeromatismo.** Dase el nombre de *aeromatismo* á la propiedad que tiene la luz de refractarse sin descomponerse. Algunos esperimentos inexactos habian hecho creer á Newton que la luz no podia refractarse sin experimentar la descomposicion; el óptico inglés Dollond llamó la atencion sobre la inexactitud de semejantes ideas demostrando lo contrario en 1757 del modo siguiente. Dispóngase al lado de un prisma de vidrio A (fig. 251), el llamado de *ángulo refringente variable* M, lleno de un líquido incoloro, de agua por ejemplo, y hagamos atravesar el sistema á un manojo de rayos luminosos que entre por una pequeña abertura en un aposento oscuro: recibida la imágen sobre una pantalla, naturalmente aparecerá teñida de algunos colores; pero alterando el ángulo refringente del prisma líquido, acercando ó separando las caras móviles *m* y *n*, encontraremos una posicion para la cual la coloracion desaparece, sin embargo de conservarse la refraccion. La demostracion se hace con el aparato M (fig. 252) compuesto de tres prismas de ángulo refringente muy pequeño. El prisma A dá una imágen colorada y desviada;

si se añade el B solo hay coloracion, y quitando el B, y aplicando el C hay desviacion sin coloracion.

380. **Prismas acromáticos.** Los prismas que desvian la luz sin descomponerla se llaman *acromáticos*. El experimento fundamental indica ya cual es el medio de construirlos, pues con dos de *naturaleza y ángulos refringentes distintos*, puestos en sentido contrario, acabamos de conseguirlo. Los vidrios mas generalizados son los de crown-glass y de flint-glass, sustancias diferentemente dispersivas. Conocido el índice de refraccion de las dos sustancias empleadas, y el ángulo refringente del primer prisma, es fácil calcular cual debe ser el del segundo para que el conjunto sea acromático. En rigor dos prismas que acromaticen el color rojo y el azul, no sirven para otros colores, á causa de su distinta refrangibilidad; así que, para conseguir acromatizar la luz en totalidad es indispensable formar un sistema de siete prismas; mas como sería incómodo al usarle por lo voluminoso, y poco útil por la gran pérdida de claridad que las imágenes sufrirían, préfiérese acromatizar dos ó tres colores, que son el anaranjado y el verde, ó el rojo, el verde y el amarillo; elegidos así porque reunen mayor intensidad luminosa que los colores estremos. Un prisma formado de dos acromatiza bastante la luz mas no por completo; las bandas irisadas son mas estrechas que en al espectro solar, y forman un espectro de *segundo orden*; tres prismas las reducen mas y el espectro es de *tercer orden*, y siete apagan los colores de las bandas, volviendo la luz blanca.

381. **Lentes acromáticas.** Para hacer lentes acromáticas se sigue el mismo camino que en los prismas, con la diferencia que la inversion de los ángulos refringentes se hace cambiando la magnitud del rádio y el sentido de las curvaturas. Una lente bicóncava unida á otra biconvexa acromatizan dos colores, y siete lentes acromatizarían el espectro solar. En la práctica se usa una lente biconvexa de crown, y un menisco divergente de flint que acromatizan los rayos azules y anaranjados.

LECCION LXXI.

Fenómenos meteorológicos dependientes de la luz.—Espejismo —Crepúsculo.—Aplicación á predecir el tiempo.—Arco iris; teoría de Descartes.—Arcos secundarios.—Halos y coronas, parhelios.

382. La refracción de la luz en la atmósfera dá lugar á ciertos fenómenos meteorológicos que conviene conocer.

383. **Espejismo.** Con lo que precede podemos darnos cuenta del *espejismo*, ó de aquellas *apariciones que consisten en imágenes pintadas ó suspendidas en la atmósfera, ó reproducidas en la tierra, de la propia manera que si fueran reflejadas por un espejo.*

A ciertas horas del día de mucho calor, y en terrenos secos y arenosos, las capas de aire que están en contacto del suelo toman una temperatura mas elevada y una densidad menor que las de cierta altura, y producen una corriente ascendente con bastante velocidad para mantener en la vista una sensación constante. En este momento, si suponemos representada por AB (fig. 233), la primera capa de aire menos denso, la luz del objeto PQ experimentará en ella la reflexión total, y el observador que esté en O verá en P' el punto P; la imagen QP' se pinta invertida como si fuera en un verdadero espejo.

El fenómeno ha sido observado por primera vez en Egipto, donde se presenta muy en grande. La fluctuación de las imágenes, el verlas mal terminadas y algun tanto confusas, su aparición y desaparición como si rizasen las aguas de los estanques ó de los lagos en cuyos bordes estuvieran los objetos correspondientes, dán al fenómeno un aspecto verdaderamente admirable; y reflexionando sobre la escasez de agua en estos países arenosos, y sobre la necesidad de apagar la viva é imperiosa sensación de la sed durante los calores abrasadores del estío, nada de extraño tiene que un viajero impulsado por ella recorra ansioso el radio de un círculo cuyo centro está bajo sus piés, para llegar á una circunferencia que no puede alcanzar nunca, y en donde se desvanecería la ilusión que le atormenta.

En el estrecho de Mesina y cerca de Nápoles se presenta un fenó-

meno bastante vistoso, llamado por los naturales *Fata Morgana*, y que se considera como un caso del espejismo. En los mares polares el espejismo es muy frecuente, y los buques se pintan en el aire con tal regularidad que permite conocer cuales son. En Inglaterra se vió en la atmósfera desfilan un regimiento de caballeria con los detalles mas insignificantes. Algunas veces el espejismo es *lateral*, y en otras solo consiste en una *suspension* de las imágenes en el aire.

384. Crepúsculos. Llámase *crepúsculo* á la luz que nos alumbra antes de salir y despues de ponerse el sol. El de la mañana se conoce con el nombre de *crepúsculo matutino* ó *aurora*, y con el de *crepúsculo vespertino* el de la tarde. Si no fuera por la atmósfera no recibiriamos luz ninguna hasta tanto que el sol no apareciera sobre el horizonte y nos quedariamos á oscuras en cuanto se ocultara; es decir, que pasariamos de repente del dia á la noche. La duracion del crepúsculo está muy ligada á la humedad de la atmósfera; cuando hay mucho vapor es mas largo que cuando hay poco; entre los trópicos donde el aire es muy seco y puro la noche viene tan pronto que escita la atencion de los viajeros. La aurora principia en nuestros climas cuando el sol se encuentra 18° debajo del horizonte, y el crepúsculo de la tarde acaba un poco despues, siendo la causa de la mayor duracion á esta hora el aumento de altura que toma la atmósfera bajo la influencia del calor diurno, y la ascension del vapor á regiones mas elevadas del suelo. Para esplicar los crepúsculos supondremos (fig. 211), que el sol lanza el rayo de luz MN, que por partir de un punto bajo el horizonte no es visible; pero encontrando la atmósfera lo refracta y *dobla su direccion*, por decirlo así, y lo conduce al punto O; mientras mas alta es recoge mas rayos perdidos de otra suerte, y aumenta con ellos su claridad hasta la superficie de la tierra. En la cima de altas cordilleras el cielo es mas oscuro, por la falta de claridad en la atmósfera.

385. Color de la atmósfera. El aire en grandes espesores *absorbe* la luz y la *descompone*; de lo primero tenemos un ejemplo en la falta de brillo del sol cuando se halla próximo del horizonte que se puede mirar directamente, y es por el mucho trayecto que los rayos andan en la atmósfera; mientras que cuando sube al cenit nos deslumbra con sus resplandores; de lo segundo la encon-

tramos en el color *azulado* del aire, debido á que los rayos mas refrangibles son mas reflejados; por eso la nieve de las montañas es de color de rosa ó naranja si la alumbra el sol, y azulada si solo recibe la luz difusa.

586. **Aplicacion á predecir el tiempo.** El color de los crepúsculos es indicio bastante probable del tiempo que ha de hacer. Si al ocultarse el sol aparece difuso y de un blanco brillante indica tempestad. Si despues de ocultado, el cielo en el occidente es de color amarillo blanquizco y se eleva á mucha altura, debe esperarse la lluvia por la noche ó al dia siguiente; nubes rojas con tintas grises la anuncian tambien. Si el cielo es de color de púrpura y el cenit azul anuncia buen tiempo; las nubes de este color despues de la lluvia confirman el pronóstico. Cuando el sol aparece en la aurora con color rojo indica lluvia durante el dia, y si el cielo toma una tinta de rosa ó gris, anuncia buen tiempo.

587. **Arco iris.** Es bastante frecuente ver en la atmósfera poco tiempo despues de la lluvia y en las grandes cascadas de agua, un arco luminoso, formado de siete bandas concéntricas, teñidas de los colores del espectro solar, conocido con el nombre de *arco iris*. La esplicacion del fenómeno se debe á Descartes.

Supongamos, para seguirle, esféricas las gotas de agua que caen de una nube al resolverse en lluvia, de un saltador ó de una cascada, y por Lm (fig. 212) la direccion incidente de los rayos del sol. En este punto m , la luz se divide en dos partes: una que se refleja sobre la superficie de la gota, y otra que se refracta aproximándose al radio Om ; la parte refractada al llegar al punto A vuelve á dividirse, en la porcion que sale á la atmósfera segun la linea AD , y en la que por reflexion viene al punto B , donde está sometida á las mismas leyes que en A . Ahora bien, el arco iris no puede ser formado por la luz reflejada en m , porque no habiendo sufrido la descomposicion no escita las sensaciones de los colores. La que despues de una refraccion sale segun la linea AD , aunque descompuesta, carece de buenas condiciones, pues para verla es menester ponerse de cara al sol, y el extraordinario brillo de la luz del astro la eclipsa, por estar debilitada con las dos reflexiones y una refraccion que ha experimentado. Los rayos que despues de una reflexion inte-

rior salen de la gota en la direccion BE, están en aptitud de producir el fenómeno; por una parte, para recibir su luz se vuelven las espaldas al sol, que es circunstancia indispensable para ver el arco, y por la otra, hallándose descompuesta tiene separados sus siete colores. Estos rayos suelen dividirse en rayos *divergentes*, que esparciéndose por la atmósfera se debilitan hasta el punto de no causar suficiente impresion en la vista, y en *rayos eficaces*, que son aquellos que saliendo paralelos no pierden su intensidad á pesar de las distancias, y escitan en cualquiera punto de su carrera la percepcion del fenómeno.

Entendido lo espuesto hasta aquí, falta explicar la formacion de los arcos. Supongamos para ello el *eje de vision*, que es la línea OS (fig. 234), tirada desde el ojo del observador al centro del sol; el ángulo que forme con el horizonte dependerá de la hora del dia. Los rayos del sol que alumbran la gota, hacen toda clase de ángulos de incidencia, y en su consecuencia siempre habrá uno, para el cual los rayos refractados pasen por el punto O; pero siendo todos los colores diferentemente refrangibles, el observador que esté en este punto no verá mas que un solo color, el rojo por ejemplo: los restantes llevarán marchas distintas. Además de la gota *m*, hay en idénticas circunstancias muchas otras, que son todas aquellas que están en la circunferencia de la base del cono engendrado por el movimiento del primer rayo alrededor del eje de la vision, de suerte que veremos en vez de un punto una faja circular de color rojo. Otra gota *m'*, enviará al punto O los rayos violados, y lo propio acontecerá con todas las que están sobre la superficie convexa del cono correspondiente, engendrando así un arco concéntrico al primero de color violado; iguales reflexiones conducen á la explicacion de las siete fajas concéntricas, formando todas ellas una sola con los siete colores del espectro solar. El color rojo, como menos refrangible, ocupa la parte convexa, el violado, por la inversa, la cóncava, y los colores restantes en su orden natural. El arco descrito es el llamado *arco interior*.

Continuando con la marcha de la luz en la gota de agua (fig. 235), se echará de ver, que la que sufre dos reflexiones consecutivas cruza en K la direccion de incidencia, y forman otro arco de

mayor diámetro, *llamado exterior*, concéntrico con el primero y con los colores invertidos; el rojo en la parte interior y el violado en la exterior. Tres reflexiones esplican la formación de tres arcos, mas lo regular es ver uno, algunas veces dos, y no está bien justificado que se hayan visto tres. Los arcos van perdiendo mucha parte de su brillo y claridad á medida que aumentan las reflexiones dentro de las gotas de agua, siendo esta la causa principal de que no sean visibles en tanto número como la teoría demuestra.

El diámetro aparente del arco iris es siempre el mismo, pero la parte visible es tanto mayor cuanto que el sol está mas cerca del horizonte, el observador mas elevado, en la cima de una montaña por ejemplo, y la nube que se resuelve en lluvia mas próxima; y tales pueden ser estas circunstancias que se presente un círculo completo. Por el contrario, si la altura del sol es grande, ó el ángulo SOH escede de 42° , como el rOa es constante, el rayo rO cae debajo del horizonte HH y el arco se oculta á nuestros ojos; por esta razon el fenómeno es bastante comun por las tardes y nunca visible en el medio del dia.

El arco iris puede formarse con la luz de la luna en las mismas condiciones que el sol, pero hay tan poco brillo que es extraño distinguir ni los colores del interior.

388. **Arcos secundarios.** Pueden verse en ciertas ocasiones arcos iris que varían por el número y disposición de los colores, y á los cuales se les ha dado el nombre de arcos *supernumerarios*, *secundarios* ó *suplementarios*. La esplicación de estos arcos ha sido dada en la hipótesis de que las gotas de agua tenían diferentes rádios, ó no eran perfectamente esféricas, pero parece mas probable creer que sea un fenómeno de interferencia ó de difracción.

389. **Halos y parhelios.** Se ven en el cielo otros arcos de luz descompuesta cuyo origen nada tiene de comun con el arco iris; por regla general son debidos á pequeños cristales de hielo que flotan en la atmósfera. Los *halos* son dos círculos verticales concéntricos del sol, de rojo pálido dentro, y blancos ó azulados por fuera. El diámetro es constante; en el *pequeño halo* ó *halo interior* es de 22 á 23° y en el *halo grande* ó *halo exterior* de 46° . La *parhelios* ó *falsos soles* son imágenes difusas del sol pintadas á los extremos del diá-

metro *horizontal* del pequeño halo, y algunas veces en el halo exterior. El *circulo parhéllico* es uno de color blanco, horizontal y que pasa por el centro del sol cruzando los halos. El *antheio* es una imágen muy difusa del sol situada sobre el círculo parhéllico. Con la luna hay tambien semejantes apariencias, y se llaman *halos lunares*; son arcos de *diámetro variable*, pero á pesar de ello suelen confundirse con los halos interiores; se llaman sus imágenes *paraselenes* ó falsas lunas. Las *coronas* se ven con mas frecuencia en la luna que en el sol sobre todo cuando hay mucho vapor vesicular en la atmósfera. Hay además de los indicados otros fenómenos luminosos, pero nosotros no podemos enunciarlos siquiera.

LECCION LXXII.

Describir el órgano de la vision.—Marcha de la luz en el ojo; inversion de la imágen; hipótesis que la esplican.—Igual claridad de los objetos á pesar de las distancias; hipótesis.—Estimacion del tamaño; angulos óptico y visual.—Unidad de la vision.—Tiempo que dura la impresion en la vista.—Imágenes accidentales ó colores complementarios.—Accidentes de la vista, miopismo y presbitismo.—Daltomismo.

390. **Órgano de la vision.** Al ocuparnos del órgano de la vision en el hombre, no es nuestro ánimo insertar una minuciosa descripcion anatómica de todas sus partes, sino dar ligeras ideas de aquellas que desempeñan el principal papel físicamente consideradas.

Encuétrase el ojo en el tercio superior de la cara, metido en una cavidad huesosa de la cabeza, llamada *órbita*. La primera cubierta que le envuelve se compone de dos membranas casi esféricas; de la *córnea opaca* ó *esclerótica* DCB (fig. 214), que es la parte blanca del ojo, y de la *córnea trasparente* DAB, que es la porcion mas anterior. Debajo de la esclerótica está la membrana *coróides*, cubierta de un licor negro destinado á absorber la luz difusa y evitar su reflexion; entre las dos córneas se ve un tabique vertical DB llamado el *iris*, de un color mas ó menos oscuro del que toman nombre los ojos: en el centro del iris hay una abertura circular E dicha *pupila*. Detrás del iris está un cuerpo diáfano y lenticular, llamado el *cris-talino*, compuesto de materia sólida, y con mayor curvatura y poder

refringente en el centro que en los bordes; y finalmente tapiza el interior del ojo una membrana blanquecina, muy trasparente y escesi- vamente sensible á la accion de la luz, donde se pintan las imáge- nes, denominada *retina*, y que no es otra cosa que la expansion del nervio óptico. El iris divide el ojo en dos cámaras: la *cámara ante- rior*, es el espacio que hay entre él y la córnea trasparente, y la *cá- mara posterior*, comprende lo que resta hasta el cristalino.

Ambas cámaras están llenas de un líquido sin color muy parecido al agua, llamado *humor acuoso*, y desde el cristalino hasta el fondo del ojo lo ocupa *el humor vítreo*, que está envuelto en una membra- na que por su diafanidad se llama *hialoides*. El humor vítreo, es mas refringente que el acuoso. Los *párpados* tienen por objeto es- tender sobre las córneas el humor segregado por las glándulas, ha- cer mas fáciles sus movimientos, y reemplazar con igualdad la parte que se evapora. Este humor es el que envuelve y sostiene los cuer- pos estraños que se introducen en el ojo, debilitando su rozamiento y el daño que en otro caso nos harian. Las *pestañas* forman una es- pecie de celaje para impedir la entrada del polvo, y las *cejas* detie- nen el sudor de nuestra frente.

391. **Mecanismo de la vision.** La marcha de la luz en el ojo está conforme con las leyes físicas ya esplicadas: el haz de rayos incidentes que atraviesa la córnea trasparente, experimenta una primera refraccion en el humor acuoso aproximándose á la nor- mal: los rayos menos convergentes encuentran el iris y son refleja- dos, en tanto que los centrales entrando por la pupila llegan sobre el cristalino, que es una lente biconvexa, sufren una segunda refrac- cion y despues de su cruzamiento van á pintar en el foco correspon- diente *una imágen real, invertida y menor que el objeto* (368). Demuéstrase la *inversion* de la imágen, adelgazando por detrás la córnea opaca de un ojo de buey ó de carnero, recientemente estrai- do, y poniendo delante de él la luz de una bujía, se ve su imágen invertida en este sitio. Los ojos de los animales albinos son mas á propósito para este experimento porque su esclerótica es algo tras- parente, y la coroides carece del licor negro que hemos dicho existia en los otros casos; por cuyas circunstancias la imágen de la luz es desde luego visible. Estando bien demostrada la inversion de las

imágenes, falta explicar por qué la vision es directa. Matemáticamente hablando podemos decir, que la imágen pintada en la retina es la proyeccion del objeto sobre una superficie de esta ó de la otra forma; mas refiriendo nosotros á los cuerpos las impresiones que ellos nos causan, y verificándose la vision en línea recta, vuelve á proyectarse la imágen sobre el cuerpo proyectante; es decir, que así como la imágen es la proyeccion del objeto, este á su vez es proyeccion de la imágen, y con este doble cambio se hece directa. Hay quien supone que pintándose todos los objetos invertidos, sin esceptuar ninguno, nosotros carecemos de un punto fijo con el cual comparar la inversion, y de aqui que los objetos nos parezcan en su postura natural. Otros hacen depender esto de la constitucion orgánica, ó de un cruzamiento que hay en los filetes del nervio óptico al transmitir la impresion de la luz al cerebro.

392. Claridad de la vision con las distancias.

Una de las cosas que mas llaman la atencion, es la circunstancia de ver los objetos casi en igual claridad á distancias diferentes, no obs-ten que al parecer las lentes ordinarias pintarian las imágenes acercando ó separando los objetos, entre limites mas estensos que las dimensiones del ojo. Muchas hipótesis han sido imaginadas para explicar el hecho, admitiendo que la córnea se aplasta con la separacion del objeto, que el globo del ojo cambia por la misma causa, que el cristalino altera su curvatura, que la pupila aumenta ó reduce la estension de su abertura, ó ya en fin que todo depende del defecto de paralelismo entre los ejes de curvatura del cristalino y de la córnea. Desgraciadamente ninguna de ellas satisface. Sábese si, que la estructura del ojo dá una imágen *acromatizada*, ó con irisaciones casi imperceptibles, y que *la claridad de la vision* es la misma para un objeto próximo como para otro separado de algunas varas; pero consiste en que *el ojo se dispone de cierta manera especial* para conseguirlo; esta propiedad reconoce sus limites, y solo es aplicable con aquellos cuerpos que compensan con la magnitud de su estension el aumento de la distancia: contemplando por algun tiempo un objeto lejano A, al mirar de repente otro mas cerca B, aparece como som- brío; manteniendo los ojos en este, la sombra desaparece y se le ve claro, pero al dirigirlos sobre aquel, la sombra aparece de nuevo.

393. **Campo de la vision.** Entiéndese por *campo de la vision* el espacio angular donde podemos ver los objetos; es de unos 120° en el sentido vertical, y de 150° en el horizontal. Suele llamarse *vision clara* la de detalles, y *vision distinta* la del conjunto. El campo de la vision clara no pasa de 4° . Los objetos pequeños como los caracteres de imprenta tienen en cada individuo una distancia á la que se ven mejor, es á la que nos colocamos para leer, y se denomina *distancia de la division distinta*.

394. **Estimacion del tamaño.** La *estimacion del tamaño y de las distancias de los cuerpos* dependen del hábito, y son resultado del juicio formado con la esperiencia. Todos sabemos que antes de graduar la magnitud de un objeto comparamos su distancia y la claridad de sus contornos con otro objeto que nos sea mejor conocido, resultando el juicio tanto mas verdadero cuanto mejor apreciemos los términos de su relacion; quiere decir, que la vision será mas perfecta á medida que haya mas costumbre de hacer esta clase de raciocinios. Para conseguirlo se tienen muy en cuenta los ángulos *óptico y visual*; forman el primero las líneas que van desde un punto del objeto al centro de las pupilas y de los cristalinos; y el segundo las que desde estos puntos se tiren á los extremos del objeto; este ángulo se llama tambien *diámetro aparente*; estos ángulos disminuyen cuando las distancias aumentan, de donde resulta que los objetos parecen mas pequeños si las distancias son grandes, y mas distantes si los objetos son pequeños. La union aparente del cielo con la tierra, en las llanuras y en el mar, la convergencia que presentan á su final dos hileras paralelas de árboles, la inclinacion de una torre que miramos desde su pié etc. son errores en que caemos todos bastante frecuentemente, no obstante estar convencidos de lo contrario. El sentido de la vista es muy susceptible de educacion y acostumbrados á mirar determinados objetos, se consiguen de ellos ideas mas conformes con la verdad.

395. **Vision bicocular.** La vision es una, aunque los órganos son dos, en cuanto no haya diferencia en las sensaciones á ellos debidas; pero si uno fuera distinto del otro las imágenes se duplicarian. Comprímase ligeramente un ojo con el dedo y en vez de un objeto veremos dos en diferentes posiciones, y con diferente claridad.

Compruébase la vision biocular mirando un objeto lejano directamente y con un antejo, porque las imágenes ya no coinciden, la del ojo libre difiere de la del que tiene el antejo. Una cosa parecida sucede algunas veces naturalmente, y se ven con los dos ojos, ó con uno solo, dos imágenes y hasta tres, designándose el fenómeno con los nombres de *diplopia* y *triplopia*. La esplicacion en el primer caso es el hecho mismo, es decir, la falta de homogeneidad en las imágenes; en los otros puede provenir de la interposicion de alguna sustancia opaca que divida el haz incidente en dos ó tres partes.

396. **Duracion de la impresion.** La sensacion producida por la luz en la retina no es instantánea; su duracion varia con la intensidad de la luz, por término medio llega á 0,13 de segundo. Haciendo girar un carbon encendido con cierta rapidez, vemos una banda circular luminosa á pesar de que la luz solo parte de un sitio dado; prueba que la sensacion se conserva todo el tiempo que el áscua emplea en hacer una revolucion; si tarda en dar la vuelta mas de trece centésimas de segundo, la circunferencia nos es completamente visible. El espejismo y el arco iris no han menester que las capas de aire, ni las gotas de agua, permanezcan fijas mientras dura el fenómeno, lo que sería imposible; basta que su renovacion tenga lugar de 0,13 en 0,13 de segundo, que es el tiempo que conservamos la sensacion. Fundados en lo dicho, y en que la velocidad de la luz es 57 mil leguas por segundo, pudiéramos suponerla compuesta de moléculas luminosas distantes de muchos miles de leguas sin que por eso percibiéramos discontinuidad en ellas.

397. **Circulo de Newton.** En la persistencia de la impresion en el ojo se fundan bastantes aparatos de óptica. El de la (fig. 236) se compone de un círculo pintado con los siete colores del espectro y en iguales proporciones y se le hace girar con una cuerda sin fin. Si el movimiento es rápido los colores se reunen en el ojo y el disco aparece blanco.

398. **Colores accidentales.** Cuando fijamos la vista mucho tiempo en un objeto bastante alumbrado, y cerramos de improviso los ojos, la imagen persiste, y si los dirigimos sobre una pantalla blanca la imagen que continuamos viendo es del color com-

plementario del objeto. Estas imágenes se llaman *accidentales*. Esto depende que los colores no obran de la propia manera sobre la retina, la que una vez conmovida no vuelve sino con lentitud al estado de reposo.

399. **Ojo artificial.** Hay en los gabinetes de física un aparato llamado *ojo artificial* (fig. 237), para hacer patentes los efectos de las lentes. Consiste en un globo que tiene en el fondo *m*, un vidrio despulimentado que se acerca ó separa por medio de un tubo de tirador. Despues que se coloca de tal suerte que la imagen de la lente *l* se pinte con claridad, se ponen por su órden la lente convergente *c*, y la divergente *d*; con la primera hay que aproximar y con la segunda alejar dicho vidrio para que la imagen vuelva aparecer.

400. **Accidentes de la vista.** Suele padecer la vista, aun en buen estado de salud, algunos accidentes que alteran su ejercicio natural; los principales son el *prebitismo* y el *miopismo*. Encuéntrase el primero en los viejos y en las personas de vista cansada, ocasionado por un *aplanamiento* de la córnea trasparente y la pérdida de espesor del cristalino, pues dando á los rayos de luz poca convergencia, la imagen corresponde á un sitio mas atrás que la retina, de donde resulta que no la ven bien á no ser que se separen mucho. El miopismo depende de *un exceso de convexidad* en dicha membrana y en el cristalino, y se encuentra en todas las edades, pero mas comunmente en los jóvenes; los miopes no ven claro, á no ser que acerquen mucho los objetos, porque imprimiendo mucha convergencia á los rayos luminosos, si estos vienen de cuerpos un poco separados, las imágenes están antes de la retina. Remédiese el presbitismo con lentes convergentes que concentren la luz y acerquen el foco, y el miopismo con lentes divergentes que la separen y alejen el foco. En el dia los vidrios preferidos son los meniscos *convergentes* y *divergentes*, denominados *periscópicos*, los cuales tienen la ventaja de que los *anteojos* ó *antiparras* hechos con ellos, dán imágenes mas claras de los objetos oblicuos que con las lentes biconvexas y bicóncavas.

Hay un fenómeno denominado *Daltonismo* ó *hemiopsia*, que consiste en no ver mas que la mitad de los objetos, ya sea la de la derecha ó de la izquierda; se supone que procede de una parálisis de

os filetes nerviosos. Existe tambien la *acromatopsia*, que se reduce á ver solamente determinados colores, siendo los demás para ellos enteramente iguales. Con este motivo hácese citas de dibujantes que pintaban con el mismo color objetos rojos, ó verdes, quedando muy satisfechos de la igualdad y entonacion de sus tintas.

LECCION LXXIII.

Aparatos de óptica.—Portaluz.—Cámara oscura.—Daguerrotipo; operaciones que han de hacerse con las placas para obtener los retratos; aplicaciones.—Cámara lúcida; modificacion de Amici.—Microscopio simple.—Idem compuesto.—Anteojos astronómico y terrestre.—Anteojos de Galileo.

401. **Portaluz.** El aparato mas necesario para las esperiencias de óptica es el *portaluz*, destinado á introducir un haz de rayos luminosos en un aposento oscuro. Hállase formado del espejo plano MN (fig. 238), que gira en los planos horizontal y vertical, á fin de que podamos darle la posicion conveniente para que refleje la luz de sol paralelamente al eje del cañon AB, cualquiera que sea la altura del astro. Con semejante objeto, se atornilla á la hoja de una ventana pasando el cañon AB por un agujero circular practicado en ella; cerrándola despues, el espejo queda fuera de la habitacion, pero con los tornillos EF y HG, que están por dentro, y que mueven el espejo, se le dá la posicion oportuna para reflejar la luz como hemos dicho. El movimiento del sol impide que sirva para mucho tiempo en una posicion, pues cambiando el ángulo de incidencia la luz reflejada no sigue el eje del tubo á no arreglarlo de nuevo; esto puede obligar á suspender los trabajos, y por eso son mejores los *heliostatos*, cuyo espejo sigue el movimiento del sol con un aparato de relojería arreglado con este fin.

402. **Cámara oscura.** La cámara oscura (fig. 239), es una caja rectangular de madera ó carton, que lleva en una de sus cabeceras una lente convergente, para pintar en su foco las imágenes de los objetos que tiene delante. La posicion de estas imágenes cambia con la de los objetos, y á fin de que siempre sean reales, se sitúa el aparato á mayor distancia que la focal principal, arreglando

luego las dimensiones de las vistas ó de los retratos por medio de un tubo de tirador en donde está la lente, y que las acerca ó separa según conviene. Las imágenes son menores, invertidas y pintadas en el plano vertical; mas poniendo como es costumbre el espejo AB, inclinado á 45° en el foco de la lente, las refleja sobre un vidrio despulimentado BC, dispuesto horizontalmente en la parte superior de la caja. Tanto en un caso como en el otro podemos copiar las imágenes, aplicando sobre el vidrio una hoja de papel vegetal. Algunas veces tiene la caja la posición vertical, pintándose entonces las imágenes en el fondo (fig. 240). La luz puede ser reflejada por un espejo á 45° , ó por medio del prisma ME, tallado de manera que la luz concentrada por la cara convexa, sufre la reflexión total en la plana, y sale por la cóncava con la misma inclinación que si hubiera atravesado un menisco convergente.

Aun cuando la cámara oscura no dá con la misma claridad las imágenes de los objetos que se encuentran á distancias diferentes, facultad tan solo conocida en los aparatos naturales, las vistas ó paisajes tomados con ella, son tan notables por los detalles y buena proporción de sus partes, por la claridad de los contornos, y con tan buena graduación en las tintas, que habian oscitado vivos deseos de buscar algún medio de retenerlas, de transformarlas de fugaces y transitorias en fijas y permanentes. A Niepce y á Daguerre debemos la solución de tan importantísimo problema.

403. **Fotografía.** La *fotografía* tiene por objeto fijar sobre una pantalla las imágenes que se forman en la cámara oscura. Puede decirse que se compone de cuatro partes: la de placa, la de colodion, la de albúmina y la de papel.

En casi todas hay iguales ó parecidas manipulaciones que hacer, y precauciones que tomar. Lo primero es hacer la mayor parte de ellas en la oscuridad ó con luz roja ó amarilla que no tienen acción química, y buscar con anticipación el foco de la imagen; en los retratos el foco se hace coincidir con la línea de los ojos y de la nariz que es la parte principal; en las vistas se toma un término medio ó se fija en aquel objeto mas preferente y mas característico, y otro tanto se hace en la copia de edificios ó de monumentos. La cámara oscura ó el *daguerrotipo* lleva los enseres necesarios á todas las

operaciones que sería largo describir. El resultado de la luz es de tal naturaleza que donde el objeto está mas claro su imágen se pinta mas oscura y al revés; es decir, que aparecen las tintas cambiadas y por eso se llama *prueba negativa*; luego despues esta imágen haciendo de objeto para otra, las tintas se vuelven á invertir, y aparecen las *pruebas positivas*, ó con las tintas en la disposicion que los objetos.

Fotografia sobre placa. Las placas que han de recibir las imágenes son de cobre cubiertas por una cara con una finísima capa de plata; el espesor de todo no debe exceder del de un naipe.

Limpieza. La placa debe limpiarse muy bien con algodón cardado y rojo de Inglaterra; despues se lava en una disolucion estendida de ácido nítrico.

Sensibilizacion. Se espone la placa en la oscuridad á los vapores de iodo para que se forme el ioduro de plata y cuando tome el color amarillo de oro se lleva, sin que le dé la luz, á la cámara oscura.

Exposicion á la luz. Cuando ya la placa está en disposicion de recibir la imágen, se coloca en un *cuadro de bastidor* que entra en el sitio que tiene preparado en la cámara y tirando de la pantalla queda espuesta á la accion de la luz. El ioduro de plata necesita de 5 á 20 minutos de exposicion, tiempo insignificante para tomar una vista, pero muy grande para retratos. A fin de acabar mas pronto se usan los *licores aceleratrices*. El bromo es uno de ellos; despues de quitar la placa de los vapores de iodo, se espone á los que se desprenden espontáneamente del bromuro de cal hasta que presente el color de rosa, y en seguida vuelve otra vez á los de iodo hasta que tome una tinta violada. Con esto algunos segundos son suficientes.

Desenvolvimiento de la imágen. Al quitar la placa de la luz nada hay en ella al parecer, la imágen está *latente*; para hacerla *visible* se espone bajo el ángulo de 45° á los vapores que se desprenden de una capsulita de mercurio calentada con una lámpara de alcohol hasta los 60° ; cuando se ve que está completa se retira.

Fijacion de la imágen. El ioduro de plata que está fuera de la imágen se descompondria al sacar la placa á la luz y todo se confundiria; para evifarlo se disuelve en un baño de hipo sulfito de sosa, y despues de bien lavado la operacion queda concluida. Si se quiere

que no tenga tanto brillo, se deposita sobre la placa una finísima capa de oro siguiendo el método de M. *Fizeau*. Los retratos al daguerrotipo son al claro oscuro y con tanto brillo que solo se ven en ciertas posiciones.

Fotografía sobre colodion. El *colodion* es un liquido mucilaginoso que vertido sobre los cuerpos deja en ellos una capa muy delgada. Se hace con *algodon pólvora*, ó *piroxilina*, que es algodón bien limpio y cardado y metido en una disolucion de 3 volúmenes de ácido nítrico monohidratado y 5 de ácido sulfúrico; ó 4 parte en peso de nitrato de potasa por 2 de ácido sulfúrico. Despues de bien lavado y secado se disuelve 1 gramo de piroxilina en una mezcla de 90 de éter y 60 de alcohol; las proporciones varian con el destino del colodion. Este colodion llamado normal, se convierte en *fotográfico* añadiéndole el ioduro de *potasio*, de *cadmio*, etc., y se hace mas sensible bajo la accion de todos los colores con la presencia de los bromuros; el de potasio, cadmio, etc.

Limpieza y aplicacion del colodion. El colodion así preparado se vierte sobre una lámina de vidrio muy limpia y bien plana, cuidando que la bañe con uniformidad y se recoge el sobrante en un frasco.

Sensibilizacion. Para *sensibilizarla* se introduce en un baño de 1 gramo de nitrato de plata y 15 de agua destilada, hasta que adquiere el colodion una tinta lechosa ó anacarada.

Esposicion á la luz. Se saca la lámina ya sensibilizada, y metida en una cajita con toda precaucion se lleva á la cámara oscura; y despues de esponerla á la accion de la luz se retira con el mismo cuidado al cabo de algunos segundos.

Desenvolvimiento de la imágen. Volviendo la placa á la oscuridad, ó donde no haya mas luz que la amarilla nada se nota en ella; para hacerla visible se baña la placa con una disolucion de ácido gálico ó pirogálico, y de ácido cítrico. El ácido acético reemplaza al cítrico dando un desenvolvimiento mas pronto. Si la imágen es poco intensa se baña con una disolucion de nitrato de plata y con el ácido pirogálico para que la refuerce.

Fijacion de la imágen. Despues de todo se lava bien con hiposfito de sosa y con agua destilada, en cuyo caso se puede mirar la operacion como terminada. Suele cubrirse el colodion con una capa

de barniz para que sirva mas tiempo en el tirado de positivas.

Imágenes positivas. Para sacar las positivas se ponen hojas de papel grueso y de pasta muy fina en una disolucion de cloruro de sodio, sal comun, bien por una sola cara ó por las dos, y cuando ya están secas, se colocan sobre un baño de nitrato de plata de 15 por 100 solo por donde lo haya estado con la sal; ó con la cara mas fina si lo hubieran estado las dos. A seguida de secarlo de nuevo en la oscuridad se coloca detrás del cristal donde esté la prueba, que se pone sobre otro muy grueso para resistir la presion con que se sujetan, de donde toma este aparato el nombre de *prensa*. Espuesto á los rayos solares la luz pasa por el cristal de la prensa y luego por el de la placa, pero donde están los claros de la imágen pasa mas luz que por los oscuros, de modo que ennegrece el papel sensible de un modo inverso á como está en el colodion, y por eso la imágen se vuelve *positiva*. Cuando se calcula que hay buena entonacion entre los claros y los oscuros se retira el papel y se deja por algun tiempo en una disolucion de hipo-súlfito de sosa, lavándolo mas tarde con agua destilada, y satinándolo y dándole cierta pomada que aumenta su brillantez despues que se ha enjugado bien. El colodion húmedo es bastante incómodo para los viajes por el mucho equipage que requiere; por eso se ha procurado reemplazarlo con el *colodion seco*, ó combinado con la albúmina, que ofrece mas facilidad.

Fotografia sobre papel. El papel habia sido empleado por Talbot antes que la placa, pero se encontraba proporcionalmente mas atrasado. Hoy ya se maneja mejor, y las manipulaciones vienen á ser del mismo orden que las de colodion. Se *sensibiliza* bajo iguales principios; se *espone á la luz* y se *desenvuelve* la imágen *negativa latente*; se *fija*, se lava y se seca para destinarla á sacar las *positivas*. El papel presenta la superficie desigual por las fibras de que se compone y dá peor vista á la copia, pero se remedian parte de estos inconvenientes *encerándolo* ó *dándole con gelatina*.

Fotografia sobre albúmina. Niepee de S. Victor, nieto del primer descubridor de la fotografia, ideó valerse de la *albúmina*. El liquido albuminoso se forma batiendo y filtrando claras de huevo con 25 por 100 de agua y 1 de ioduro de potasio. Se vierte despues sobre una lámina de vidrio de la misma manera que el colodion, de-

jándola secar bien horizontal para conseguir una película uniforme; se *sensibiliza* y *espone* á la acción de la luz, se *desenvuelve* la imagen invisible, se *fija* y se destina á sacar *positivas*.

La bondad comparativa entre estos métodos es difícil decidirla, pues depende en gran parte de la habilidad ó destreza de los operadores. Para el retrato se dá generalmente la preferencia al colodion húmedo; tiene la ventaja de ser el mas fácil de manejar. En copia de vistas y paisajes que no requieren mucha finura en los detalles debe emplearse el papel. El que busque finura y las señales mas imperceptibles para examinarlas con el microscopio debe emplear la albúmina ó el colodion seco. La placa se halla actualmente casi abandonada.

404. **Cámara lúcida.** La cámara clara, ó cámara lúcida debida á Wollaston, puede servir para la copia de pequeñas vistas. Compónese de un prisma cuadrangular de vidrio (fig. 241), tallado de manera que el ángulo A sea recto, de 155° el C, é iguales entre sí los otros dos. Los rayos de luz que entran por la cara AB, vuelta hácia los objetos que han de copiarse, no experimentan la refracción, por ser perpendiculares, pero sobre la cara CB sufren la reflexión total y de aquí van á la CD donde se verifica lo mismo, saliendo por fin del prisma perpendicularmente á la cara DA. Si el ojo se halla en esta dirección percibirá la imagen del punto L en L', donde hay un papel para dibujarla; mas para conseguirlo es menester dividir la pupila en dos partes, si hemos de ver al propio tiempo la luz que viene del objeto y la punta del lapiz con que señalamos sus contornos; la posición que semejante operación requiere es sobradamente molesta, pues el menor cambio de cabeza es bastante para que dejemos de ver el paisaje, el lapicero ó las dos cosas á la vez. Remédianse algunas de estas incomodidades, añadiendo una lente en el paraje donde se pone el ojo, para que imprima el mismo grado de divergencia á los rayos que parten del lapicero y de los objetos. M. Amici ha mejorado la cámara lúcida de la manera siguiente (fig. 242). El prisma de vidrio ABC, es triangular y casi recto en B, siendo los otros ángulos iguales; la cara BC se vuelve hácia los objetos y la AB se apoya perpendicularmente sobre la lámina EF de caras paralelas. Desde E á B se cierra con una lámina de co-

bre que detiene todos los rayos divergentes, dejando solo visible aquellos que entran por su abertura. La luz que entra perpendicularmente á la primera cara llega sin refractarse sobre la segunda, donde sufre la reflexion total, de aqui pasa á la tercera y por fin á la lámina EF que la vuelve á reflejar; mirando en la direccion OK se pinta la imágen de L en L'. Hay además en estas cámaras vidrios de color, de quita y pon, para disminuir la mucha luz y evitar las incomodidades consiguientes.

405. **Microscopios.** Llámanse *microscopios los aparatos destinados á ver cosas pequeñas*, y pueden ser *simples ó compuestos*, segun que la amplificacion sea dada por una ó por mas lentes convergentes.

Microscopio simple. Este aparato (fig. 243) está reducido á una lente muy convexa cerca de la cual se pone el objeto que ha de verse; su imágen es como sabemos (368), *amplificada, directa y virtual*; pero colocado el ojo en una posicion conveniente, puede examinar sus menores detalles. En lugar de una lente se ponen dos, tres ó mas unidas; formando un *doblete* por el método de Wollaston, ó de Chevalier, si la amplificacion de una sola no es bastante. Los objetos son alumbrados con la luz de la atmósfera ó del sol, reflejada por espejos cuando son transparentes, ó por lentes si son opacos. Reunidos todos estos recursos en el aparato mismo constituyen el *microscopio solar*.

406. **Microscopio compuesto.** Dos lentes convergentes de tal manera dispuestas que la imágen real de la primera haga de objeto para la segunda, constituyen un microscopio compuesto. La lente MN (fig. 244) dirigida hácia el objeto, denominada *objetiva*, debe ser de foco corto, y la M'N' cerca de la cual se pone el ojo, llamada *ocular*, de foco mas largo.

La imágen del cuerpo PQ se pinta en P'Q', *amplificada, real é invertida*; y distando esta de la segunda lente menos que su foco principal, dá una segnda imágen en P''Q'' mucho mayor que la primera. El aumento de estension que la imágen final experimenta, es el resultado de multiplicar el que separadamente producen las dos lentes; en nuestra mano está, pues, el hacer que dicha amplificacion se acomode á la clase de trabajos que vayamos á emprender.

Hay que cuidar en estos aparatos de que los objetos disten de la primera lente un poco mas que su foco principal, á fin de que las imágenes sean reales. El modo de disponer estas lentes, de alumbrar los objetos, ya sean opacos ó transparentes, sólidos ó líquidos, y en una palabra, de manejar los aparatos, son cosas muy fáciles de aprender con ellos á la vista, pero no de otra suerte. El objeto aparece claro para un aumento de 500, veces, y confuso si llega á 4000.

407. **Anteojos y telescopios.** Los aparatos destinados á ver los cuerpos muy distantes dividen en *lentes* ó *anteojos*, y en *telescopios*. Los anteojos pueden ser astronómicos ó terrestres.

Anteojo astronómico (fig. 245). Se compone de dos lentes convergentes; la objetiva es de foco muy largo, ó poco convergente, y la ocular de foco muy corto ó muy convergente. Ahora bien, estando los cuerpos, PQ, que se miran con los anteojos á la distancia de los astros, corresponden sus imágenes, P' Q', al foco principal de la objetiva, y en su consecuencia aparecen *reales, invertidas y muy pequeñas*; pero hallándose en este sitio mas próximas á la lente ocular que su foco principal, dán en P'' Q'' imágenes *virtuales, directas, y tanto más amplificadas cuanto que dicha ocular sea mas convergente*. Las lentes están á los extremos de tubos de tirador que entran ludiendo unos en otros, y permiten acercarlas ó separarlas segun que los cuerpos disten mas ó menos, con el fin de hacer que siempre la imagen de la primera esté mas cerca de la segunda que su foco principal. Estos aparatos llenan perfectamente su destino, pues aun cuando las imágenes són invertidas, la inversion en los cuerpos celestes no nos impide examinar ni sus movimientos, ni sus formas, ni otras propiedades físicas.

Anteojo terrestre. Para ver los objetos directos se interponen entre las dos lentes, objetiva y ocular, otras dos unidas invariablemente entre sí, para que la una tenga el foco donde se cruzan los rayos luminosos de la otra. Por medio de los tubos de tirador se hace para cada objeto, que *el foco de la primera lente coincida con el de la segunda, y la imagen de la primera diste menos de la cuarta que su foco principal*. Las lentes intermedias sirven para volver las imágenes directas, pero se pierde mucha luz y la claridad es menor que en las astronómicas.

408. **Anteojos de Galileo.** Estos anteojos se llaman tambien de *espectáculos* ó *gemelos*. Compónense de dos lentes (fig. 246), una biconvexa y otra bicóncava. La primera MN, pinta la imágen del objeto PQ en P'Q', *real, invertida y menor que el objeto*; interpuesta la segunda MN', entre la convergente y su imágen, los rayos de luz que concurrían en el punto P', son refractados por ella alejándolos de la normal y enviados al punto P''; otro tanto sucede con los del punto Q' que van al Q'', resultando por último la imágen en P''Q'' *amplificada y directa*. La longitud de estos aparatos no escede mucho de la diferencia entre las distancias focales de las dos lentes, circunstancia que unida á la poca luz que se pierde en ellas, las hace muy á propósito por los usos que hemos dicho.

409. **Telescopios.** Los telescopios son aparatos destinados á estudiar los astros. Un gran espejo metálico cóncavo donde se refleja el astro, y un segundo espejo mas pequeño, ó una lente, que amplifiquen la imágen real, invertida, y menor que aquel produce, son los fundamentos de los telescopios.

410. **Telescopio de Gregory.** En la (fig. 247), MN representa un gran espejo cóncavo, puesto en el fondo de un tubo cilindrico ennegrecido por dentro, atravesado de una abertura circular en su vértice: *mn* es otro espejo mas pequeño, y *k* es una lente convergente. Todo el aparato gira con facilidad sostenido por su pié. Los rayos de luz que de los astros llegan al primer espejo, dán en su foco principal, despues de la reflexion, una imágen PQ, *real, invertida y menor que el objeto*. Esta imágen viene á pintarse entre el foco del segunda espejo y su centro de curvatura, de suerte que, despues de la segunda reflexion, producen *otra imágen P'Q', real, invertida tambien, y por consiguiente directa respecto del objeto, pero mayor que la primera*. Si aun queremos una amplifiacion mas fuerte, se dispone el aparato de modo que esta imágen diste de la lente *k* menos que su foco principal, y entonces tendremos una tercera imágen P''Q'', *virtual y de grandísimas dimensiones*.

Comprendido el mecanismo del telescopio de Gregory, fácil es darse cuenta de los de Newton, Herschell y otros medernos, no menos célebres por sus colosales dimensiones.

Los telescopios estaban algo abandonados, usándose en su lugar

los anteojos, pero hoy día parecen resucitar de nuevo sin el mucho peso y costo que les daban los espejos metálicos. Los espejos son ahora de *crystal* y se cubren con una *capa de plata* que se pulimenta despues, y conducen al mismo resultado que si fueran de este metal.

LECCION LXXIV.

Doble refraccion: imágenes ordinaria y extraordinaria; eje óptico y modo de conocerlo; seccion principal.—Marcha del rayo extraordinario cuando se halla en la seccion principal ó en el plano perpendicular; método de Malus para otras posiciones.—Cristales positivos y negativos — Cristales de dos ejes.—Doble refraccion del vidrio comprimido.

411. **Doble refraccion.** Ya sabemos que la luz se refracta siempre que va de un medio á otro de mayor ó menor densidad y cuáles son sus leyes; réstanos añadir ahora, que si el cuerpo donde penetra está *crystalizado*, y su forma no se deriva del *cubo*, del *octaedro regular*, ni del *dodecaedro romboidal*, en una palabra, que no pertenezca al primer *tipo cristalino*, en vez de un rayo emergente hay dos, las imágenes aparecen *duplicadas* y el fenómeno se llama de la *doble refraccion*. Para demostrarla, se mira una raya negra en un papel blanco al través de un romboedro de espato de Islandia, y se ve duplicada; ó se hace pasar por el mismo cristal el haz de rayos luminosos que entra en un aposento oscuro por una pequeña abertura y poniendo á cierta distancia una pantalla se pintarán sobre ella dos imágenes. Si en este estado se hace girar el cristal alrededor del haz de luz, una de las imágenes no cambia de lugar, mientras que la otra se aleja ó acerca de la primera con su movimiento. La que es debida á la luz que tiene igual velocidad, aunque el cristal varie de posicion, ó que sigue las leyes de la simple refraccion, se llama *imagen ordinaria*, y la que varia de lugar ó procede del rayo de luz cuya refraccion es mas complicada se llama *imagen extraordinaria*.

Cristales de un eje. En el experimento anterior se nota que en cierta posicion del cristal desaparece la imagen extraordinaria, prueba de que no hay doble refraccion. En este caso se dice que la luz sigue la direccion del *eje óptico* ó de *doble refraccion*. En

el espato de Islandia es la línea que une los ángulos diédros obtusos de las dos bases. Es fácil hallar el eje de doble refracción sabido en qué dirección la luz no se divide, porque de todas las líneas paralelas á ella, la simétrica con relación á las caras naturales del cristal es el eje. Llámase *sección principal de un cristal la producida por el plano que pasa por el eje perpendicularmente á una de sus caras, ya sea natural, tallada ó artificial*. Según esto, la sección principal puede girar alrededor del eje, sin que los rayos luminosos en ella comprendidos esperimenten la doble refracción. En efecto, cortando un cristal con un plano perpendicular al eje, la luz normal á esta cara nunca dá dos imágenes.

412. Leyes de refracción del rayo extraordinario. La marcha del rayo extraordinario no es constante mas que en dos casos, que sirven para medir su índice de refracción por el método de la desviación minimum. Estos casos son: 1.º Cuando la luz está en una *sección perpendicular al eje de doble refracción, sigue las leyes de Descartes*; es decir, que el seno del ángulo de la luz incidente y el seno del ángulo de refracción del rayo extraordinario conservan una relación constante, y los rayos incidente y refractado están en un mismo plano. 2.º Cuando la luz incidente está en la *sección principal del cristal ó es paralela al eje, la segunda ley no varia, y además los índices de refracción del rayo ordinario y extraordinario se hallan en razón inversa de las tangentes trigonométricas de sus ángulos de refracción*.

Para seguir el rayo extraordinario en otras posiciones empléese el método de Malus. Trácese con tinta bien negra sobre una placa de marfil un triángulo rectángulo ABC, (fig. 247), cuidando hacer á BC parte alicuota de AB. Puesto el cristal sobre el marfil, para cada posición del ojo, habrá un punto F donde la imagen extraordinaria de AC, que es A'C', corte á la hipotenusa; por consiguiente tomando $AF' = A'F$ el rayo extraordinario del punto F' y el ordinario del punto F se confunden á la salida del cristal. Marcada la dirección de la luz emergente, y viendo á qué números corresponde los puntos F y F', para cuyo objeto los lados AC y AB están divididos en crecido número de partes iguales, claro es que la luz que entra en el cristal en la misma dirección que ha salido aquella, dará

dos imágenes que corresponderán, la ordinaria al punto del cristal que coincide con F, y la extraordinaria al que lo haga con el F'.

413. Si con el cristal AB (fig. 248) de doble refracción hacemos pasar por debajo un naipe para interceptar los rayos luminosos, la imagen que primero desaparece es la del lado opuesto; es decir, que si el naipe sigue la dirección de la flecha, la primera imagen que desaparece no es la S' mas próxima sino la S'' que está mas distante. Este hecho prueba que los rayos ordinario y extraordinario se *cruzan dentro del cristal*, sirviendo esta circunstancia para explicar algunos fenómenos curiosos de los cuerpos doblemente refringentes.

414. **Cristales positivos y negativos.** Los índices de refracción de los rayos ordinario y extraordinario no guardan en todas las sustancias la misma relación de magnitud; el índice del primero es en unas mayor y en otras menor que el del segundo. Como en el sistema de la emisión se supone que la refracción es en virtud de una atracción de los cuerpos sobre las moléculas luminosas, llamaron cuerpos *atractivos* á los que atraían mas al rayo extraordinario que al ordinario, y *repulsivos* á los que lo atraían menos; en los primeros, el índice de refracción del rayo extraordinario es *mayor*, y en los segundos *menor*, que el del ordinario. En el sistema de las ondulaciones, el índice de refracción es la *relación directa* entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio donde penetra; y siendo la *velocidad* del rayo ordinario en los atractivos *mayor* que la del extraordinario y la diferencia *positiva*, y *menor* en los repulsivos y la diferencia *negativa*, Fresnel propuso llamar *positivos* á los primeros y *negativos* á los segundos. La velocidad del rayo ordinario es constante según queda dicho, y variable la del extraordinario, pero las variaciones tienen dos límites, pertenecientes á los rayos que están en los planos perpendicular y paralelo á la sección principal del cristal; pero todavía el máximo y el minimum dependen de la naturaleza de la sustancia. En los cristales positivos, la *mayor velocidad* del rayo extraordinario es en el sentido del eje, y la *menor* perpendicularmente á él; en los cristales negativos sucede todo lo contrario.

415. **Cristales de dos ejes.** Si en lugar de un cristal de espato de Islandia se interpone entre la luz y la pantalla otro de cuarzo y se le hace girar sobre si mismo, se encuentran dos direcciones

nes donde la luz no sufre la doble refraccion. *Las sustancias dotadas de esta propiedad se denominan de dos ejes.* En las sustancias de dos ejes ya no hay rayo ordinario; pues los dos en que se divide la luz incidente siguen leyes mas complicadas que las de la simple refraccion; y para señalar la posicion de las imágenes es indispensable recurrir á cálculos y consideraciones geométricas de un órden bastante elevado y no siempre constantes. Sin embargo, en dos casos uno de los rayos sigue las leyes de Descartes y son, cuando *la luz incidente es perpendicular á las líneas que bisecan los ángulos de los dos ejes.* La línea que divide en dos partes iguales el ángulo agudo se llama *línea media*, y *línea complementaria* la que biseca el obtuso. No se conocen sustancias de tres ejes.

416. **Doble refraccion del vidrio comprimido.** La doble refraccion que segun hechos dicho solo pertenece á las sustancias cristalinas no derivadas del sistema cúbico, puede comunicarse de una manera accidental á todos los demás sólidos transparentes. Para ellos, basta comprimirlos en una cierta direccion hasta comunicarles una elasticidad mayor que en las demás. El templado dá iguales resultados. Para demostrar lo que acabamos de decir, se toma un sistema de cuatro prismas de vidrio y se comprimen en el sentido de su longitud, y en este caso un objeto lejano visto por ellos se presenta duplicado. Los líquidos y los gases no adquieren la doble refraccion, pero tampoco se comprimen en un sentido mas que en otro.

LECCION LXXV.

Principales propiedades de la luz polarizada; hipótesis de Newton.—Ángulo de polarizacion.—Propiedades de la luz polarizada por refraccion.—Pilas polarizantes.—Polarizacion en las sustancias doblemente refringentes.—Polariscopo de turmalinas.—Prisma de Nicol.—Aplicaciones á la constitucion fisica del sol.—Colores de la luz polarizada.—Principio de las interferencias.—Aplicaciones.

417. **Polarizacion de la luz.** Un rayo de luz que ha sido reflejado por una superficie de vidrio bajo la incidencia de $54^{\circ} 35'$, recibido sobre una segunda superficie de la propia sustancia y con igual inclinacion, *no se refleja si el plano de incidencia de la*

segunda superficie es perpendicular al de la reflexion de la primera, y experimenta, por el contrario, una reflexion máxima, si estos dos planos son paralelos ó coinciden el uno con el otro. Por otra parte, si la luz así reflejada pasa perpendicularmente por un romboedro de espato de Islandia, solo produce una imágen si la seccion principal es paralela ó perpendicular al plano de reflexion; la imágen que pasa es la ordinaria en el caso de paralelismo, y la extraordinaria en el de perpendicularidad.

La luz que tiene estas propiedades singulares, y otras que citaremos despues, se llama *luz polarizada*, y *polarizacion* el acto en que *las adquiere*. Semejante nomenclatura es una consecuencia de la hipótesis de la emision de Newton, que miraba la luz como formada por la reunion de pequenísimas partículas de sustancia luminosa, dotadas de dos centros opuestos de accion ó de dos polos, cuyos ejes, que son las líneas que los unen, estarían dispuestos de cualquier manera en la luz natural; por consiguiente, al sufrir la reflexion ó la refraccion en circunstancias convenientes, estos ejes se vuelven paralelos, haciendo que los polos de igual naturaleza miren todos en la misma direccion, de donde sale naturalmente el nombre de *polarizacion* y el de luz *polarizada*.

418. Angulo de polarizacion. *La cantidad de luz polarizada depende de su inclinacion y de la naturaleza de las sustancias* El mármol y la obsidiana polarizan todo el haz incidente, mientras que el vidrio y el diamante no polarizan mas que parte. En todas ellas hay una direccion donde se polariza mas luz que en las restantes; *el ángulo que forma entonces con la normal* es el que se llama *ángulo de polarizacion*. Para determinarle basta saber cuando *el rayo refractado es perpendicular al reflejado*, porque la luz incidente hace el ángulo de polarizacion con la normal. Brewster anuncia la ley diciendo, que *la tangente trigonométrica del ángulo de polarizacion es igual al índice de refraccion de la sustancia*. El plano que pasa por la normal y por la luz incidente y contiene la luz polarizada, denominase *plano de polarizacion*. El plano de polarizacion puede ser por *reflexion* ó por *refraccion*, segun que la luz se polarice por el primer medio ó por el segundo, estos dos planos son siempre perpendiculares. Para conocer el *plano de polarizacion*

se recibe la luz sobre una lámina de turmalina, y si se apaga es *paralelo*, y si tiene un máximo perpendicular al eje de la placa.

419. **Polarizacion por refraccion.** La luz que pasa al través de una sustancia cristalina, tambien *se polariza*, aunque en sentido contrario al de la reflexion. Con efecto, un rayo de luz refractado por una lámina de vidrio bajo el ángulo $54^{\circ}, 55'$, experimenta sobre otra igual, no variando de inclinacion, una *reflexion máximo y mínimo*, segun que el plano de refraccion de la primera sea perpendicular ó paralelo al de incidencia en la segunda. Si pasa por un romboedro de espato de Islandia no dá tampoco mas que una *imágen*, cuando el plano de refraccion es perpendicular ó paralelo á la seccion principal, y la *imágen pertenece al rayo ordinario en el primer caso, y al extraordinario en el segundo*. En todas las demás posiciones hay *dos imágenes desigualmente alumbradas*, escepto cuando la seccion principal hace un ángulo de 45° con el plano de polarizacion, en tanto que la luz natural las produce iguales. Estas propiedades conducen á mirar la luz natural como compuesta de dos partes polarizadas en *ángulo recto*.

420. **Pilas polarizantes.** Para polarizar la luz por refraccion conviene dirigirla de modo que forme en cada sustancia el ángulo de polarizacion; pero como todavia no se polariza completamente en estas condiciones, ha sido preciso aumentar el número de las refracciones por medio de las *pilas polarizantes*, que están formadas por varias láminas paralelas de un cuerpo cristalino, la mica por ejemplo. La luz que ha pasado por la primera se compone de luz polarizada y de luz natural; esta se refleja en parte sobre la segunda, y en parte se polariza por refraccion, y lo mismo sucede en la tercera, hasta que por fin la luz que atraviesa la pila está totalmente polarizada. El número de las placas depende, para la misma inclinacion de la luz, de la facultad polarizante de la sustancia. La luz polarizada que llega sobre estas pilas se apaga por completo ó pasa con toda su brillantez, segun que el plano de incidencia sea paralelo ó perpendicular al plano de polarizacion.

421. **Polarizacion por doble refraccion.** La luz que sale despues de experimentar la doble refraccion *está totalmente polarizada*, con la circunstancia que los rayos *ordinario y extraor-*

dinario se hallan en planos perpendiculares. El rayo ordinario está polarizado por reflexion, en el plano de emergencia, ó como se dice tambien en la seccion principal; y el extraordinario está polarizado perpendicularmente, ó en el plano perpendicular á la seccion principal. La propiedad que tienen las sustancias doblemente refringentes de polarizar toda la luz, esplica el diferente número de imágenes que se ven de un objeto á través de dos romboedros de espato de Islandia. Si las secciones principales son paralelas ó perpendiculares, no hay mas que dos imágenes, y cuatro diversamente iluminadas en las restantes, á menos que las secciones hagan entre sí un ángulo de 45°, en cuyo caso, cada rayo emergente del primer romboedro se divide en dos exactamente iguales al pasar por el segundo.

422. **Polariscopos.** Llámanse *polariscopos ó analizadores los aparatos que sirven para reconocer la polarizacion de la luz.*

423. **Polariscopos de turmalinas.** La turmalina á pesar de estar dotada de la doble refraccion, tallada paralelamente al eje y con espesores suficientes, no dá paso mas que á la imagen extraordinaria, conduciéndose con la luz polarizada en un plano paralelo á su eje como un cuerpo opaco. La luz natural que la atraviesa, presenta el mismo brillo cualquiera que sea su posicion respecto del eje del cristal; si está totalmente polarizada y el plano de polarizacion es perpendicular al eje, la imagen todavia se presenta con toda su intensidad, mientras que desaparece enteramente si el plano y el eje son paralelos; en el caso que la luz no esté mas que en parte polarizada, hay un máximum de brillo en la primera posicion y un mínimum en la segunda. Ahora bien, para saber si esta ó la otra luz están polarizadas, basta recibirlas al través de una placa de turmelina con las condiciones dichas, y si haciéndola girar su brillo es el mismo, la luz es natural; y si hay una posicion para la cual la luz desaparece, es que está totalmente polarizada; y si hay un máximum y un mínimum, es que su polarizacion es parcial. El plano de polarizacion pasa en el caso del mínimum por el eje del cristal y por el rayo trasmitido.

424. **Prisma de Nicol.** El prisma de Nicol es un polariscopos ó analizador muy sencillo y de grande utilidad, fundado en la misma propiedad que el de la turmalina. Cortado un romboedro de

espato de Islandia con un plano perpendicular que pase por los ángulos obtusos, y unidas como estaban estas dos partes con bálsamo de Canadá, el nuevo prisma goza de la propiedad de no transmitir mas que el rayo extraordinario. La razon de esto es, que el índice de refraccion del bálsamo de Canadá es mayor que el del rayo extraordinario y menor que el del ordinario, por lo cual este último sufre la reflexion total en la soldadura de los dos prismas.

425. **Aplicaciones.** Analizando la luz que despiden varios cuerpos, bien sea con los aparatos anteriores, ó con otros que por ser mas complicados no describimos, se llega al resultado importantísimo que la que despiden los sólidos y los líquidos inflamados está parcialmente polarizada, pero la que viene de los gases en las mismas condiciones se encuentra siempre en el estado natural; y como la luz del sol no está polarizada, dedujo Arago con mucha oportunidad, que no proviene de una sustancia sólida ni líquida, sino de una atmósfera gaseosa. Así es como los adelantos de las ciencias permiten al hombre penetrar hasta el centro de los astros á sorprender el secreto de su constitucion física, sin que para estas gigantescas concepciones se necesite mas que un pequeño cristal doblemente refringente.

426. **Coloracion de la luz polarizada.** Los colores que presenta la luz polarizada, cuando pasa por cuerpos dotados de la doble refraccion, y por láminas muy delgadas, es un carácter bastante marcado para distinguirla de la luz natural. Para estudiar dichos colores úsanse polariscopos dispuestos con este objeto; el de *pinzas de turmalinas* (fig. 249), es uno de los mas sencillos. Se compone de dos placas de turmalina que giran sobre sí mismas alrededor de los anillos *a* y *b*, en que termina un resorte *c* en forma de pinza, sujetando dos trocitos de corcho donde están implantados los cristales. Interponiendo entre dos láminas de turmalina un cristal de espato de Islandia, tallado perpendicularmente á su eje, y mirando con ellas la luz de la atmósfera, se ve una serie de anillos concéntricos con colores complementarios, atravesados por una cruz *blanca*, si los ejes de las turmalinas son paralelos, y por una cruz *negra* si son perpendiculares.

427. **Principio de las interferencias.** Al ocuparnos

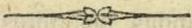
del movimiento del sonido por el aire, hemos hecho ver (200), que si dos ondas de igual longitud se encontraran en su traslacion, de tal modo que la parte condensada ó dilatada de la una, coincidiera con la condensada ó dilatada de la otra, los sonidos serian reforzados; pero que si la parte condensada correspondiese á la dilatada, y la dilatada á la condensada siendo la condensacion y la dilatacion iguales, el aire volveria á su estado natural, y en su consecuencia el sonido dejaria de existir. Pues bien, si en lugar de las ondas sonoras en el aire, imaginamos ondas en el éter de condiciones convenientes, estas ondas se reforzarán, ó darán mayor luz en un caso, y se destruirán, ó apagarán la luz en el otro; es decir, *que luz añadida á luz dará mayor luz, ó luz añadida á luz producirá la oscuridad.* Este principio llamado de las *interferencias luminosas*, se enuncia diciendo, que si dos rayos homogéneos de luz se encuentran bajo una pequeña inclinacion y con una diferencia en los caminos recorridos de un número par de semi-ondulaciones se *refuerzan*, ó dan mayor luz; ó se *destruyen*, ó dan la *oscuridad* si la diferencia es de un número impar de semi-ondulaciones. Se demuestra experimentalmente del modo siguiente. Háganse entrar en un aposento oscuro dos haces de luz simple, por dos pequeñas aberturas circulares no muy distantes la una de la otra, y recibanse los conos luminosos que producen separada y simultáneamente sobre una pantalla blanca un poco mas lejos que su punto de encuentro; en el primer caso, se ven dos círculos alumbrados, pero en el segundo, la parte comun á los dos conos está sembrada de franjas muy oscuras y del color de la luz simple. Las partes oscuras son producidas por la interferencia de los rayos que se encuentran oblicuamente. El experimento se reproduce aun mejor con los espejos de Fresnel (fig. 250). Dos espejos planos AB y BC están unidos formando un ángulo muy obtuso, sobre los cuales llega un haz de luz simple que entra por una abertura circular y concentra una lente semicilíndrica de foco muy corto; recibidas las ondas reflejadas, despues de encontrarse bajo un ángulo muy agudo, sobre una pantalla blanca colocada á cierta distancia, se presentan alternativamente bandas brillantes y oscuras, paralelas á la comun interseccion de los espejos, y en un orden simétrico con el plano que, pasando por dicha línea, biseca el ángulo de las ondas re-

flejadas. Interceptando la luz de uno de los espejos, las franjas negras desaparecen y las brillantes no tienen tanta intensidad.

428. **Aplicaciones de las interferencias.** Demostrado el principio de las interferencias luminosas, nada mas fácil que explicar la escintilacion de las estrellas, los fenómenos de difraccion, los anillos de Newton, los colores de las láminas delgadas, y en una palabra, todos los fenómenos de la óptica.

La *escintilacion* ó *centelleo* de las estrellas consiste en que se encuentran bastante separadas de la tierra para que dos rayos de luz de sus bordes sufran, antes de llegar á nosotros, un retraso, ó una aceleracion de un número par ó impar de semi-ondulaciones y se interfieran. Los planetas como están mas cerca no presentan igual fenómeno, y sirve esta circunstancia para diferenciar las dos clases de astros.

429. **Difraccion.** La luz que entra por hendiduras estrechas, por aberturas pequeñas, ó que pasa por cerca de los bordes de los cuerpos, sobre todo si son muy delgados, no sigue estrictamente una marcha rectilínea; es decir, que ni la parte alumbrada, ni la sombra están limitadas geoméricamente (331). Nótanse por el contrario partes oscuras dentro de la luz, y partes claras en la oscuridad, y consiste tanto en un caso como en otro en que la luz experimenta un principio de interferencia. Otro tanto sucede con los *anillos coloreados* de Newton que se reproducen comprimiendo un vidrio un poco convexo sobre otro plano, y con los colores que presentan las burbujas de jabon, las alas de muchos insectos, la superficie de los metales oxidados, y las de multitud de cuerpos que ofrecen irisaciones ó cambios de color solo por el tránsito de la luz por capas ó espesores pequeños. Es decir, que con el sistema de las ondulaciones se resuelven todas las cuestiones mas difíciles de la óptica, y de aquí la justificada preferencia que hoy se le dá sobre el de la emision ó de las emanaciones.



MAGNETISMO.



LECCION LXXVI.

Qué es piedra iman; del agente que la anima y demostrar las atracciones con el péndulo magnético; imanes y cuerpos simplemente magnéticos.— Polos y línea neutra.— Disposición y naturaleza del magnetismo.— Atracciones y repulsiones—Hipótesis sobre el magnetismo.

450. **Magnetismo, imanes naturales.** Sábese desde muy antiguo que hay en la naturaleza algunas *piedras con la notable propiedad de atraer el hierro y la mayor parte de sus compuestos*. Estas piedras fueron llamadas *imanes naturales, piedras de Lydia, ó de Heraclea* por haberlas encontrado primero cerca de la ciudad de *Magnesia* en Lydia, y de la de Heraclea. Se componen de la *combinación del protóxido con el resquióxido de hierro*; en mineralogía se designan con el nombre de *hierro magnético ó oxidulo de hierro*, y son comunes en las minas de este metal.

De la palabra *iman* salió la de *flúido magnético* para la causa de las atracciones; y la de *magnetismo* para el mismo flúido ó para el estudio de todas sus propiedades.

El hierro no es el único cuerpo simple que *atrae y es atraído* por los imanes; hay también *el níquel, el cobalto, el cromo*, y según algunos *el manganeso*, que participan de igual propiedad, si bien en escala mucho menor, especialmente los dos últimos. Estos y todos los cuerpos que gozan de la propia virtud, se llaman *cuerpos magnéticos*. Los cuerpos magnéticos, y en particular el hierro, ó mejor, el acero templado, adquieren y conservan, por los medios que esplicaremos mas adelante, una fuerza magnética tan grande ó ma-

yor que la de los imanes naturales mas vigorosos; de cuya propiedad se saca partido para hacer *imanes artificiales*.

431. Atracciones. Péndulo magnético. *El péndulo magnético* (fig. 251), es una esferita de hierro pendiente de un hilo. Acercando los imanes la desvian de la vertical; y hasta la levantan en sentido opuesto á la accion de la gravedad, lo que prueba la *atraccion*. La atraccion tiene lugar lo mismo en el *vacío* que á *través de todos los cuerpos*, siempre que sus espesores estén en armonía con la fuerza de los imanes; de lo que nos convencemos interponiendo un papel, panes de oro, una lámina de vidrio un pergamino, etc., entre el péndulo y los imanes. *La fuerza atractiva de los imanes no es proporcional á su masa, ni con ellos está ligada la virtud magnética como la gravedad á la materia*: imanes hay, hasta de la misma localidad, que bajo igual peso tienen intensidades muy distintas, y no es extraño encontrar pequeños fragmentos con mas flúido libre que otros tres ó cuatro veces mayores: elevados á cierta temperatura el magnetismo desaparece, sin que por ello haya ningun otro cambio fisico.

432. Polos y línea neutra de los imanes. Si en vez de hacer uso del péndulo magnético acercamos ó envolvemos el iman en limaduras de hierro, se precipitan sobre su masa, no solo al contacto, sino tambien á cierta distancia y al través de los cuerpos no magnéticos. Ofrece el esperimento una circunstancia curiosa, y es, que las limaduras su agrupan en abundancia y con marcada preferencia á los extremos A y B del iman (fig. 252), hasta el punto de formar en ellos dos penachos metálicos, en tanto que decreciendo hácia el centro hay una línea CD perfectamente limpia. La distribucion del magnetismo no es pues uniforme: hállase en su máximum en las estremidades A y B, que toman el nombre de *polos del iman*, y decrece hasta la línea CD, llamada *neutra*. Los polos verdaderamente tales, son los puntos de aplicacion de las resultantes de todas las fuerzas elementales debidas al magnetismo de cada lado de la línea neutra. Estos puntos distan poco de los extremos de los imanes; algunos milímetros á lo mas; pero la separacion aumenta y disminuye con sus dimensiones; la línea neutra vienien á estar en el medio. Los polos se llaman el uno *boreal* y el otro *austral*.

433. **Distribucion y naturaleza del fluido magnético.** Pudiera creerse que el fluido magnético solo residia en los polos, pero no es así, porque cortando un iman, sea ó no por la línea neutra, en lugar de dos trozos, que solo tuvieran magnetismo en uno de los extremos, nos encontramos con que ambos tienen sus polos y su línea neutra como el iman de que provienen. Semejante propiedad no ofrece escepcion ni limite alguno; por grande que sea el número de partes en que se divida el iman siempre se encuentran los dos polos y la línea neutra, así en las casi imperceptibles particulitas como en el fragmento mas voluminoso; *es por consiguiente imposible*, al menos por este medio, *aistar los polos de los imanes*. El fluido magnético no es una *sustancia pesada*; los imanes y las barras de hierro pesan lo mismo con el magnetismo que sin el magnetismo.

La *cantidad de fluido boreal* que encierra cada cuerpo, es exactamente igual á la *de fluido austral*, y por otra parte, guardan esta relacion hasta en las últimas porciones que de los cuerpos magnéticos y de los imanes se pueden tomar. Con efecto, si al polo de un iman que sostiene un trozo de hierro se acerca el polo contrario de otro iman, lo deja caer al momento. De manera que el magnetismo del uno neutraliza el del otro y los dos reunidos se dice que forman *el fluido neutro ó natural*. Debemos advertir que el trozo de hierro adquiere con el contacto del polo del iman iguales propiedades; es decir, atrae las limaduras de hierro y comunica á un segundo trozo la misma virtud que él recibió del iman. Sin embargo el fluido no pasa de un cuerpo á otro; pues en el caso que así sucediera, no deberíamos encontrar en estos imanes artificiales mas que un solo fluido, el del polo en cuyo contacto los habíamos puesto; mas no sucede así, porque en todos hay dos polos y una línea neutra; luego en los imanes artificiales hay los dos fluidos y con las propiedades físicas que tienen en el iman natural. Por consiguiente, el magnetismo radica en todos estos cuerpos, pero con la diferencia que en los imanes se halla en estado de libertad, ó descompuesto en los dos fluidos elementales, y en los simplemente magnéticos en el estado natural, de combinacion, ó formado el fluido neutro; mas la fuerza con que estén retenidos los dos fluidos contrarios, y la facilidad que encuentren para volver á reunirse, despues de haber sido separa-

dos, depende á no dudarlo, de la naturaleza y del estado de agregacion de los cuerpos mismos. En el hierro dulce se verifica la descomposicion del flúido natural en el instante mismo que se acerca á un iman, mientras que en el acero necesita de algun tiempo; pero en cambio, el primero pierde tambien su virtud magnética en el momento que se separa del iman, y el segundo la conserva de un modo permanente. La causa que se opone á la descomposicion y recomposicion de los flúidos magnéticos se llama *fuerza coercitiva*.

454. **Atracciones y repulsiones.** Habiendo visto que los imanes y los cuerpos magnéticos obran siempre por atraccion, réstanos examinar si los imanes se conducen unos con otros de la propia suerte. Si con este objeto suspendemos una aguja imantada (fig. 253), de su centro de gravedad, y aproximamos con la mano el polo de otro iman, encontraremos que tan pronto es atraida como repelida; es decir, que por uno de sus polos hay atraccion y por el otro repulsion: haciendo igual operacion con una segunda aguja (fig. 254) se llega á los mismos resultados; ahora bien, si acercamos los polos de estos imanes que son atraídos ó repelidos por aquel, hay siempre repulsion, mientras que si acercamos uno de los polos atraídos á otro de los polos repelidos hay atraccion. De aqui se deduce que teniendo los dos polos de un iman propiedades diferentes, los flúidos que en ellos están de asiento deberán serlo tambien. En este supuesto, llamaremos *flúidos ó polos del mismo nombre, á aquellos que sean atraídos ó repelidos por el polo de un tercer iman, y polos de nombre contrario si uno es atraído y el otro repelido*; pero los polos atraídos ó repelidos, se repelen reciprocamente, y al contrario, dos polos uno atraído y otro repelido se atraen. *Luego flúidos ó polos del mismo nombre se repelen, y flúidos ó polos de nombre contrario se atraen.* Las atracciones y repulsiones nos prestan el medio de diferenciar los *cuerpos simplemente magnéticos de los imanes, pues mientras los primeros obran por atraccion sobre los dos polos de un iman, los segundos atraen el uno y repelen el otro.*

455. **Hipótesis del magnetismo.** En lo espuesto en los números que preceden se funda la opinion de que *el flúido magnético se compone de otros dos dotados de propiedades diferentes, en el estado natural ó de combinacion en los cuerpos magnéticos, y*

libres en los imanes. La sustancia magnética puede mirarse constituida por la reunion de una multitud de pequeños elementos magnéticos, dotados de dos polos y de una línea neutra, y cuyos ejes, que son las líneas que unen los polos, son paralelos en los imanes, y están vueltos en todas direcciones en los cuerpos magnéticos. Cuando por una fuerza exterior, la de un iman por ejemplo, se los orienta, se los vuelve en el mismo sentido, ó en una palabra, se los polariza, los cuerpos simplemente magnéticos se convierten en verdaderos imanes. En esta hipótesis se comprende bien la existencia de una seccion neutra equidistante de los polos, y la circunstancia de que puede considerarse cada mitad de un iman como no conteniendo mas que un solo fluido.

LECCION LXXVII.

Demostrar que la tierra obra como un iman; flúidos boreal y austral.— Accion directriz de la tierra: par de fuerzas.—Agujas imantadas: brújulas.—Declinacion; meridiano magnético y líneas sin declinacion.—Inclinacion; ecuador magnético.—Hallar el eje magnético de una aguja imantada.—Variaciones de la aguja y su clasificacion; ejemplos mas notables de unas y otras.

436. **Magnetismo terrestre.** Suspendidos los imanes por sus centros de gravedad, sea de un estilete vertical ó de un hilo sin torsion (fig. 254), de modo que puedan girar con toda libertad, la posicion de equilibrio no les es diferente; agitados por una fuerza oculta, muévense en este ó en el otro sentido, hasta tomar la direccion norte-sur que conservan despues de una manera permanente; separados de ella vuelven á adquirirla de nuevo, sin escepcion alguna, lo mismo en las minas, que en los mares y que en las altas regiones de la atmósfera. Los polos de los imanes desempeñan en estos fenómenos un papel de primer orden; *todos los del mismo nombre miran hácia la propia region de la tierra, sin que sea posible cambiarlos.* Privando á los imanes de su magnetismo, los movimientos de que hablamos concluyen, el equilibrio no parece ya electivo sino que es indiferente en cuanto á los puntos cardinales del globo.

Estos fenómenos nos conducen á considerar la tierra como un poderoso iman, cuya potencia magnética se deja sentir en toda su re-

donde, pero que se encuentra en su máximum hácia las regiones polares. Los polos magnéticos no coinciden con los geográficos, pero toman de ellos sus denominaciones de polos *boreal* y *austral*; de aquí tambien el llamar *flúido boreal* al *análogo* al que se *supone* hay en este hemisferio, y *flúido austral* al correspondiente del hemisferio opuesto. Mas como flúidos del mismo nombre se repelen, y los de nombre contrario se atraen, los polos de los imanes que miran al norte tienen flúido austral, y los que miran al sur flúido boreal.

457. *La potencia magnética del globo no es atractiva ni repulsiva, es directiva*; puede representarse por un *par de fuerzas*, pero nunca por una fuerza única. El par de fuerzas viene de que los polos de la tierra obran sobre las pequeñas dimensiones de los imanes como fuerzas paralelas; la repulsion del polo norte de la tierra con la atraccion del polo sur sobre el polo boreal del iman dan un resultante, y la atraccion y la repulsion de los mismos polos sobre el austral del iman dan la otra, y las dos forman el *par* con un brazo de palanca igual á la distancia de los polos del iman, y en cuya virtud lo llevan en la direccion norte-sur. Si hubiera una sola resultante haria que los imanes pesaran mas ó menos que la sustancia material de que se componen, cosa que nunca sucede; y si la fuerza fuera atractiva, una aguja bien imantada, sostenida por un corcho en un vaso de agua, se moveria en la direccion norte-sur, lo que es contrario á la esperiencia.

458. **Agujas imantadas.** Hemos empleado algunas veces la denominacion de *aguja imantada* sin que las hubiéramos definido cual corresponde. Diremos pues, que entendemos por tales unos *rombos prolongados, de poco espesor, de acero bien templado, muy imantados y suspendidos de sus centros de gravedad, para que se muevan con toda facilidad.* Si las acompañan círculos verticales y horizontales para medir sus desviaciones, toman mas especialmente el nombre de *brújulas*. Las *brújulas* son de *declinacion* si se mueven en el plano horizontal (fig. 255), y de *inclinacion* si lo hacen en el vertical (fig. 256). Suele llamarse *polo boreal* ó *polo norte* de la aguja á su polo austral, porque es el que mira hácia el norte de la tierra, y *polo austral* ó *polo sur* al polo boreal, que es el que se vuelve en aquel sentido.

459. **Declinacion.** La posicion estable de una brújula, si bien es en el sentido de norte-sur, no coincide por punto general con el meridiano geográfico de su punto de apoyo; esta falta de coincidencia se llama *declinacion*. El plano vertical que pasa por el eje de la aguja, y por consiguiente por los polos magnéticos del globo, se llama *meridiano magnético*. El ángulo que forma este meridiano con el geográfico es el que mide la declinacion. *La declinacion es igual tambien al ángulo formado por la direccion de la aguja con el meridiano terrestre*; la declinacion es oriental ú occidental, segun que el polo boreal de la aguja se dirija al oriente ó al occidente. En Europa y en Africa la declinacion es occidental, y en Asia y en toda la América oriental. La declinacion difiere de un meridiano á otro. Llámense *líneas sin declinacion* aquellas en las cuales la direccion de la aguja coincide con el meridiano geográfico; y *líneas isogónicas* á las de igual declinacion.

Para medir la declinacion con la brújula (fig. 255), se hace coincidir la línea nor-sur con la meridiana, y el ángulo marcado por la aguja será el valor apetecido. Por el contrario, conocida la declinacion nada mas fácil que marcar la *meridiana*, tirando una línea por el oriente ó por el occidente, que forme con la aguja un ángulo igual á su valor. Este es el medio empleado para orientar las cartas y los planos topográficos.

440. **Inclinacion.** Entiéndese por *inclinacion* el ángulo menor que forma la direccion de la aguja con el plano horizontal que pasa por el punto de apoyo (fig. 256). La aguja necesita estar en el meridiano magnético. La inclinacion se dice *norte ó sur*, segun que el polo de la aguja que se inclina es el boreal ó el austral. La inclinacion cambia de sentido pasando del uno al otro hemisferio, pero entre los dos hay una gran *línea irregular que dá la vuelta al globo, donde la inclinacion es nula, llamada ecuador magnético*. El ecuador magnético no coincide con el geográfico; se cortan estos dos ecuadores en dos puntos que varian con el tiempo de oriente hácia occidente. Las líneas de igual inclinacion se llaman *isoclínicas*.

Hemos supuesto tácitamente hasta aqui, que el eje de figura de las agujas imantadas era el mismo que su eje magnético, y sin embargo esto sucede las menos veces; de manera, que tomando nos-

otros por direccion de la fuerza magnética de la tierra la señalada por las agujas, nos esponemos á equivocaciones que conviene evitar. Para ello sea la línea AB (fig. 257), la meridiana que pasa por el punto de suspension; AC el eje magnético, y AD el eje de la aguja; si invertimos la aguja y ponemos la cara de arriba hácia abajo, la desviacion AD' será igual á la anterior aunque en sentido contrario, de suerte que los ángulos DAC y D'AC, que forma la aguja con el eje magnético, son iguales. Adoptando las notaciones de la figura para mayor brevedad, podemos escribir las ecuaciones $x=a+d$ y $x=b-d$; sumadas las dos, $2x=a+b$, y $x=1/2(a+b)$. Luego tomando en el método de la inversion, la semisuma de los ángulos que forma el eje geométrico de la aguja con el meridiano, encontraremos la verdadera declinacion.

441. Variaciones de las agujas imantadas. La direccion y la intensidad de la fuerza magnética de la tierra experimenta en un mismo lugar cambios que ocasionan en las agujas *variaciones y perturbaciones*. Las variaciones son *seculares, anuales y diurnas*.

Variaciones de declinacion. La aguja de declinacion no deja de moverse nunca.

Tenemos ejemplo de las *variaciones seculares* en que en Paris, el año de 1580, la declinacion era $11^{\circ} 50'$ oriental; en 1663 no habia declinacion; en 1814 habia llegado al máximo de la declinacion occidental, á $22^{\circ} 54'$, y desde esta época vuelve hácia el oriente; en 1854 era de $20^{\circ} 25'$, y hoy disminuye $10'$ por año. Estas variaciones *seculares* son las que hacen cambiar las líneas sin inclinacion y las *isogónicas*. Las *anuales* consisten en que desde el equinocio de primavera al solisticio de estío *retrograda* hácia el este la estremidad norte de la aguja, y durante los meses restantes hácia el oeste; el movimiento no pasa de unos $15'$.

442. Variaciones diurnas. Todos los dias de 8 á 9 de la *mañana* deja la aguja, en nuestros climas, el meridiano magnético, como si huyera del sol, volviendo al occidente su polo boreal; llega á eso de la 1 ó de las 2 al máximo de desviacion, y retrocede para el oriente hasta las 9 ó 10 de la *noche*, que se conserva casi sin oscilar hasta el dia siguiente. *La amplitud de las oscilaciones cam-*

bia de un dia á otro, con las estaciones y con la latitud; es mayor en la primavera y en el verano que en el otoño y en el invierno; de unos 14 á 16' en el primer caso, y de 8 á 10' en el segundo. De los polos al ecuador mengua la amplitud, encontrándose cerca de este una línea sin *variaciones diurnas*.

443. **Variaciones de inclinacion.** *La inclinacion de las agujas tambien se muda con el tiempo y con la latitud.* Desde el ecuador magnético donde es nula, crece mas rápidamente que la latitud, encontrándose puntos que tienen una inclinacion de 90°. *Estos puntos que hacen vertical la direccion de la aguja, son los que llamamos polos magnéticos de la tierra.* Encuéntrase el boreal al norte de la América, á los 70° 10' Lat. N., y á los 100° 40' Long. O., del meridiano de Paris, y el austral al sur de la nueva Holanda, á los 75° Lat. S. y á los 156° de Long. E. Hay además algunos datos para creer que los polos son cuatro, dos en cada hemisferio. En el año de 1670, valia la inclinacion en Paris 75°, desde cuya época decrece de unos 3' por año; así que en 1851, ya era de 66° 55'. Esto prueba la variacion secular. Las *variaciones anuales* dan por resultado que la inclinacion es de unos 15' mas grande por el verano que por el invierno.

Las *variaciones diurnas* de inclinacion, guardan bastante analogía con las de declinacion, pero es mas difícil medirlas, porque para ello habria que proyectar sobre una superficie horizontal las curvas descritas por el extremo del eje magnético de la aguja, y tomar las longitudes de los rádios tangentes.

444. **Perturbaciones.** Las agujas imantadas muévense algunas veces, oscilan tan irregularmente y entre límites tan estensos, que desde luego podemos asegurar que alguna cosa nueva y pasajera obra sobre ellas; entre estas causas merecen particular mención la *aurora boreal*, cuya influencia llega á nosotros desde las regiones polares donde se presenta; la electricidad, el relámpago, los temblores de tierra y las erupciones volcánicas.

LECCION LXXVIII.

Imantar por influencia de la tierra, fuerza coercitiva; manojos magnéticos.—Imantacion por doble contacto.—Idem por simple friccion.—Idem por doble toque; método de Knight; modificacion de Duhamel.—Procedimiento de Mitchell; mejora de Aepinus.—Imanes saturados: armaduras.

445. **Medios de imantacion.** De tres maneras se desenvuelve el magnetismo en los cuerpos magnéticos: por *influencia*, por *contacto* y por *friccion*, ya sea *simple* ó *doble*. Este último es susceptible de algunas modificaciones que constituyen otros tantos métodos.

446. **Imantacion por influencia.** La potencia magnética de la tierra no se reduce á la atraccion y repulsion de los polos de las agujas imantadas, de que hemos hablado (436); puede ser tambien utilizada para hacer imanes artificiales. Puesta una barra de hierro dulce de un metro de longitud, en direccion del meridiano magnético, queda inmediatamente imantada; la mitad inferior contiene en nuestro hemisferio flúido austral, y la superior flúido boreal. La imantacion tiene lugar en un tiempo indivisible, porque volviendo la barra, por rápidamente que sea, la seccion inferior atrae al polo boreal de la aguja, y el superior al austral. Cuando la longitud de la barra es muy pequeña, ó se coloca perpendicularmente al meridiano magnético, la imantacion no tiene lugar. El magnetismo desenvuelto por este medio se récompone separando la barra de la posicion que hemos dicho. Evítase esto dando al hierro alguna fuerza coercitiva. La percusion, la accion de la lima, el templeado, la torsion, y en general cualquier cambio en la agregacion molecular, bastan para engendrar la fuerza coercitiva. Un pequeño golpe con un martillo ó una ligera torsion, son medios muy á propósito para mantener separados los flúidos descompuestos por la influencia de la tierra. Así es como se hacen los *manojos magnéticos*, que son muchos alambres reunidos y torcidos despues de su imantacion por la influencia del globo. La fuerza de los manojos no es proporcional al número de alambres, pero aumenta con ellos y con el grado de tor-

sion. Todo lo que hemos dicho de la tierra es aplicable á los imanes: puesta una pieza de hierro dulce cerca del polo de un iman, este obra por influencia, atrae el fluido de nombre contrario hácia el extremo próximo y repele el del mismo nombre. Si el iman es poderoso y la pieza muy chica, puede quedar imantada; en otros casos, á cierta distancia del primer polo, hay otro de nombre contrario, y lo restante conserva su estado natural.

447. **Por contacto.** Aplicando la barra que quiere imantarse al polo de un iman, al cabo de algun tiempo adquiere una línea neutra y dos polos, correspondiendo al extremo del contacto un polo contrario al del iman. Cuando la barra es muy larga, la imantacion no pasa de cierto punto, y si el contacto es por otra parte cualquiera de su longitud, el punto de contacto es un polo de nombre contrario, y además hay á cierta distancia otros dos del mismo nombre que el del iman; tenemos pues tres polos, y aun pudiéramos conseguir mayor número de ellos. *Los polos que hay entre los dos ordinarios, ó de los extremos, llámanse puntos consecuentes;* dividen la barra en partes alicuotas y tienen para cada dos una línea neutra.

448. **Por simple friccion.** En este método se hace deslizar el polo de un iman del uno al otro extremo de la barra que se quiere imantar, cuidando de pasar el mismo número de veces por todas sus partes, lo cual se consigue concluyendo por el extremo opuesto de aquel por donde se principió. En este movimiento, el iman hace adquirir á todos los puntos por donde pasa un polo de nombre contrario al suyo, y aun cuando lo hecho una vez lo deshace á la siguiente, y el desenvolvimiento del magnetismo es en corta cantidad y desigualmente distribuido, aun es preferible en agujas pequeñas al del contacto.

449. **Por doble friccion con separacion.** *Knight* ha dado un método que consiste en tomar dos imanes, ponerlos con los polos contrarios sobre la barra que se ha de imantar, y llevarlos verticalmente hasta los extremos donde se levantan, para traerlos al sitio de que partieron. Repitiendo las fricciones por algun tiempo la barra queda imantada.

Duhamel perfeccionó este método haciendo descansar (fig. 258)

la barra sobre los polos de dos poderosos imanes, y dando cierta inclinacion á los manojos magnéticos usados en la imantacion. Los polos de los manojos y los correspondientes de las barras sobre que insiste el cuerpo que se quiere imantar, son del mismo nombre, y en su consecuencia coadyuvan á determinar en el punto de contacto un polo de contraria denominacion á la suya. La inclinacion de las barras tiene por objeto hacer mas oblicua su potencia motriz para que la componente horizontal, que es la fuerza de imantacion, sea mayor; mas no conviene aumentarla indefinidamente, pues alejándose los polos con ella, hay por esta razon una pérdida que bien pudiera esceder á las ventajas de antes.

450. **Por doble friccion sin separacion.** *Mitchell* dispone las cosas de otro modo. La barra que ha de imantarse, está como en el método de *Knight*, pero en lugar de hacer que los manojos magnéticos vayan ludiendo cada uno por su lado hasta los extremos, para traerlos de nuevo al punto medio lo hacen unidos por una pieza de madera que los mantiene á una distancia invariable. Hay que tener el cuidado de hacer pasar los imanes el mismo número de veces por todos los puntos de la barra, lo que se consigue concluyendo las fricciones por el extremo opuesto á aquel por el cual se ha principiado.

Epinus ha perfeccionado este método de imantacion, haciendo descansar las barras de acero sobre los polos de dos fuertes imanes (fig. 259), y dando á los manojos magnéticos una inclinación de 15 á 20°, con el fin de conseguir el mismo resultado que *Duhamel*.

Los métodos comunmente empleados son: el de *Duhamel* para agujas finas y de poca longitud, como las de las brújulas; y el de *Epinus* para barras de grandes magnitudes.

451. **Imanes á saturacion, armaduras.** Hemos dicho mas de una vez que la imantacion es mas ó menos completa segun el método y la potencia de los imanes empleados, y ahora conviene saber de qué modo conoceremos si una barra puede recibir mas fluido libre que el que tiene. Con este objeto diremos que se llama *magnetismo á saturacion* el que hay en un iman artificial cuando no es susceptible de conservar mayor cantidad que la adquirida. Luego admitiremos que un iman está *saturado*, si sometido á nueva iman-

tacion con medios mas poderosos, no conserva por mucho tiempo, aun cuando la reciba por el pronto, nueva cantidad de fluido libre; por el contrario, deteniéndola diremos que el magnetismo ó los imanes no están saturados.

Todos los imanes, ya sean de una pieza ó de muchas reunidas, en cuyo caso las del centro deberán exceder en longitud á las superficiales, para que su magnetismo no se perjudique, llevan cerca de los polos piezas de hierro dulce, *dichas armaduras*. Imantadas por influencia, su potencia magnética, que aumenta con el tiempo, se une á la fuerza coercitiva de los imanes, para mantener separados los fluidos de los polos que tienden á reunirse para formar el fluido natural.

LECCION LXXIX.

Medir la fuerza magnética.—1.º *Por el peso que sostienen.*—2.º *Por el método de las oscilaciones.*—*Intensidad de la tierra; fórmula general de los imanes.*—*Magnetismo en movimiento; experimento de Arago.*—*Generalidad del fluido magnético.*—*Diamagnetismo*

452. **Medida de las intensidades magnéticas.** Al recordar, por ligeramente que sea, el estudio que hemos hecho del magnetismo, encontramos que no es dable formar idea de la potencia de los imanes por sus pesos ni por sus volúmenes. La medida y la comparacion de las fuerzas magnéticas requieren operaciones especiales que son el objeto de lo que vamos á decir. De tres maneras se mide la fuerza de los imanes: *por los pesos que sostienen, por el método de las oscilaciones, y por el de la torsion.*

453. **Por el peso que sostienen.** El medio mas natural, y que ocurre á todo el mundo, de graduar la potencia de los imanes, es por los pesos que sostienen. Puesta una pieza de hierro dulce en contacto de los polos, y cargándola sucesivamente de pesos hasta que se desprenda, el peso total mide la fuerza del iman. Semejante método es sobradamente inexacto, porque los pesos sostenidos varian con la imantacion del puentecillo de hierro dulce, y esta difiere de una vez á otra por causas que seria largo enumerar.

454. **Método de las oscilaciones.** *Este método está fundado en que dejando oscilar una aguja imantada bajo la in-*

fluencia de los imanes, su movimiento es comparable con el del péndulo par la accion de la gravedad. La exactitud de las operaciones requiere, en primer lugar, que la imantacion de la aguja no cambie mientras aquellas se verifican, y que la distribucion del magnetismo sea completamente regular.

455. Intensidad de la tierra. Si una aguja de estas condiciones y suspendida de su centro de gravedad, la separamos del meridiano magnético, hará para volver á él, en virtud de la fuerza magnética constante de la tierra, cierto número de oscilaciones *isócronas* que servirán para medir su intensidad; es decir, que la aguja imantada es á la fuerza magnética de la tierra lo que el péndulo á la gravedad. Luego representando por F y F' las intensidades magnéticas de dos puntos de la tierra, ó de un mismo punto en dos épocas diferentes, y por n, n' los números de oscilaciones que haga la aguja imantada en igual tiempo separada de 3 á 4° del meridiano magnético, tendremos la proporcion: $F : F' :: n^2 : n'^2$.

456. Intensidad de los imanes. Cuando no es fácil suspender los imanes de sus centros de gravedad, se miden sus fuerzas del modo siguiente. Póngase el iman en el meridiano magnético con los polos vueltos de tal modo que coadyuven con los del globo para hacer oscilar la aguja: cuéntense las oscilaciones n y n' que esta hace bajo la sola accion de la tierra F , y bajo las acciones reunidas F' , de esta y la del iman, y la relacion de sus intensidades será como antes: $F' : F :: n'^2 : n^2$.

Repitiendo la operacion con otro iman, dispuesto de la propia manera, hallariamos para él la proporcion $F'' : F :: n''^2 : n^2$. De estas proporciones salen las equivalentes:

$$\left. \begin{array}{l} F' - F : F :: n'^2 - n^2 : n^2 \\ F'' - F : F :: n''^2 - n^2 : n^2 \end{array} \right\} F' - F : F'' - F :: n'^2 - n^2 : n''^2 - n^2$$

Y como $F' - F$ representa la potencia del primer iman, y $F'' - F$ la del segundo, la relacion de sus intensidades magnéticas, f y f' , viene representada por la espresion:

$f : f' :: n'^2 - n^2 : n''^2 - n^2$, ó $f : f' :: m^2 : m'^2$; representando por m y m' las oscilaciones que hace la aguja por la fuerza de dichos imanes.

457. **Ley de las atracciones y repulsiones.** Dejando oscilar una aguja á diferentes distancias de un iman, ya con los polos vueltos en el propio ó contrario sentido, resulta que *las atracciones y repulsiones magnéticas están en razon inversa de las distancias.*

458. **Accion reciproca entre los imanes y los demás cuerpos.** Hasta el año de 1812, época de los trabajos de Coulomb, estaba reducido el número de los cuerpos magnéticos á los que hemos citado mas de una vez, y á parte de los compuestos en que ellos entraban; desde entonces á hoy la ciencia ha hecho muchas conquistas, y bien podemos asegurar que todos los cuerpos, cual mas, cual menos, son magnéticos.

Tómense agujas de cobre, de plomo, de oro, de plata, etc., y suspéndanse de un hilo sin torsion por su centro de gravedad; acérquense los polos contrarios de dos imanes vigorosos, háganse oscilar las agujas bajo su influencia y encontraremos que lo hacen de diferente manera que si estan solas. *Luego los imanes obran sobre los cuerpos en movimiento.*

Lebaillif, y despues Becquerel, comprobaron esta conclusion, y la reciproca, *que todos los cuerpos obran sobre los imanes*, de la manera siguiente. Una aguja de coser fuertemente imantada está metida en una pajita, y un contrapeso la mantiene horizontal cuando se suspende por un hilo de su centro de gravedad: una campana de vidrio ó una caja de cristal cierran todo esto para evitar la agitacion del aire, y no queda libre mas que una abertura lateral. Acercando por ella los cuerpos á los polos de la aguja unos obran por atraccion y otros por repulsion. *Los cuerpos que repelen ó son repelidos por los imanes, se llaman diamagnéticos.*

459. **Diamagnetismo.** El hecho de la repulsion de algunos cuerpos por los imanes, dió márgen para considerarlo como una propiedad diferente del magnetismo, y por eso se le designó con el nombre de *diamagnetismo*. Hoy parece prevalecer la idea de que todos los cuerpos son atraidos por los imanes, y si algunos son *repelidos* es porque son *menos magnéticos que el medio que los rodea*. Sucederia con los cuerpos magnéticos lo que con la caida de los graves que en el aire y en el agua se elevan. Cuando los cuerpos se



dirigen segun la línea que une los polos, toman la dirección *axial*, y la *ecuatorial* si es la perpendicular. Los cuerpos *magnéticos* ó *paramagnéticos* toman la primera, y los *diamagnéticos* la segunda. Las sustancias diamagnéticas son mas numerosas; el bismuto, el plomo, el zinc, el cobre...., y en general las sustancias orgánicas, la resina, el azúcar, la madera...., y el agua, el alcohol, el éter.... En los gases solo se puede saber si son mas ó menos magnéticos ó diamagnéticos que el aire. El oxígeno es magnético, y el hidrógeno ligeramente diamagnético.

460. **Magnetismo en movimiento.** M. Arago en 1812, reconoció que una aguja imantada no oscilaba de la propia manera en el aire que cerca de superficies sólidas ó líquidas. Una placa de metal, cobre por ejemplo, disminuye notablemente la amplitud de las oscilaciones, y reduce á 3 ó 4; igual número de cientos de ellas. *Luego todos los cuerpos en reposo obran sobre los imanes en movimiento.*

Supongamos ahora (fig. 260), que una aguja bien imantada, suspendida como siempre, está cubierta con una campana de vidrio, y que todo descansa sobre una membrana de cuero. Debajo y muy cerca de ella se ponen discos circulares *mn*, que giran horizontalmente con la rapidez necesaria, dando vueltas con la mano al manubrio de un sistema de engranajes; ya conocemos que el aire no puede mover la aguja. Pues bien, en el momento que se establece el movimiento, la aguja se separa del meridiano y forma con él un ángulo que depende de la velocidad, distancia y naturaleza de la placa; acelerando el movimiento la aguja, por fin, sigue al disco y lo acompaña en su revolucion con bastante velocidad. Cambiando el movimiento, llega un caso en que la aguja se deliene, para girar á seguida en sentido contrario. Haciendo muchas hendiduras en las placas en la dirección de los rádios, la atracción disminuye bastante, pero vuelven á recobrarla soldándolas con metales. Si las llenamos de polvo metálico, de agua ó de ácidos, casi no conseguimos efecto alguno. Ciertos cuerpos, sin embargo, no dán resultados sensibles, como son el vidrio, la madera, etc.; no obstante esta escepcion podemos decir, *que los cuerpos en movimiento obran sobre los imanes en reposo.*

ELECTRICIDAD.



LECCION LXXX.

Primeras experiencias sobre la electricidad: fluido eléctrico; cuerpos idioeléctricos y aneléctricos; conductibilidad, cuerpos aislados y depósito comun.—Electricidad por la fricción; péndulo eléctrico.—De las dos especies de electricidad, vitrea y resinosa, y cambio de estas denominaciones por las de positiva y negativa.—Las electricidades desenvuellos por la fricción son iguales en cantidad y contrarias en signos.—Hipótesis de la electricidad.

461. **Electricidad.** *Primeras experiencias.* Parece que ya Thales, 600 años antes de la era cristiana, había notado que frotando el *sucino ó ámbar* amarillo con una tela de lana, adquiría la curiosa propiedad de atraer los cuerpos ligeros; barbas de pluma, trocitos de papel, médula de sahuco, etc. Como estas atracciones se verifican sosteniendo el peso de los cuerpos, y sin alterar en lo mas mínimo la naturaleza de la sustancia frotada, ni su constitucion física, ha sido indispensable admitir que dichos fenómenos son manifestaciones de un fluido ó de un agente invisible, que en circunstancias dadas produce los mismos efectos que las fuerzas, toda vez que como ellas, es causa de movimiento. Y llamando los griegos *electrum* al ámbar amarillo, naturalmente se derivó de él el nombre de *fluido eléctrico* dado al agente ó motor de los fenómenos que habian despertado su atencion. Frotando del mismo modo varios cuerpos, encuéntranse unos que adquieren pronto la propia virtud que el ámbar, como son el vidrio, la goma laca, las resinas, el lacre, etc., y otros que no dán señales de semejante propiedad, entre los que podemos citar los metales. De aqui el llamar *idíoelectricos* á los pri-

meros, que quiere decir cuerpos con electricidad, y aneléctricos á los segundos, ó cuerpos sin electricidad. Sin embargo, esta division no es exacta, porque puestos los cuerpos en buenas condiciones, todos se electrizan; la diferencia consiste en la *conductibilidad*.

462. **Conductibilidad eléctrica.** Llámase *conductibilidad* á la propiedad que tienen algunos cuerpos de dejar paso á la electricidad. Los cuerpos se dividen en *buenos conductores* si el flúido eléctrico circula por ellos con facilidad, y en *malos conductores* si lo detienen; los cuerpos malos conductores se llaman tambien *aisladores*

La division de los cuerpos en buenos y malos conductores no es absoluta, porque no hay sustancia alguna que deje pasar por su superficie toda la electricidad libre que se la comunique, ni que la detenga completamente. El vidrio, las resinas, las grasas, las tierras secas, los gases, la seda, la lana y el algodón, están en la categoría de los malos conductores; y los metales, el cuerpo humano, el agua acidulada, las plantas en el estado de vegetacion, los ácidos, los gases húmedos y el globo, en la de buenos conductores. Los malos conductores se electrizan con facilidad porque retienen el flúido eléctrico, y los buenos conductores no se electrizan lo mismo porque lo dejan escapar hácia otros cuerpos en el estado natural.

Cuando los cuerpos son buenos conductores y se hallan sostenidos ó separados unos de otros por los malos conductores, se dice que están *aislados*; circunstancia indispensable para conservar en ellos la electricidad; pues si comunican con la tierra, sea directamente ó por medio de otros buenos conductores, la electricidad se estiende por su inmensa superficie dejándolos en su estado natural. Esta consideracion hace dar á la tierra el nombre de *recipiente ó depósito comun del flúido eléctrico*.

463. **Desenvolvimiento de la electricidad por la friccion.** La electricidad se desenvuelve en todos los cuerpos por la friccion. Para probarlo se hace uso de los *electróscopos* ó de los aparatos destinados á conocer si los cuerpos están electrizados; el *péndulo eléctrico* es uno de ellos; se compone de una varilla con su pié de la que penden de un hilo de seda dos bolitas de médula de sahuco (fig. 261). Frotados los cuerpos malos conductores con

una tela de lana ó con pieles, y acercándolos á las esferitas del péndulo eléctrico, las atracciones no dejan ninguna duda de que se han electrizado. En cuanto á los buenos conductores, es menester aislarlos de la mano del operador, en razon á que siendo nuestro cuerpo buen conductor, la electricidad libre pasa por él al depósito comun, y por consiguiente es imposible toda señal de atraccion. Poniendo mangos de vidrio á las barras metálicas á fin de conservar el fluido eléctrico que se desenvuelva, las atracciones demuestran bien claramente su estado eléctrico. Las atracciones se verifican al través de todos los cuerpos, y á mas ó menos distancia segun la cantidad de fluido descompuesto; pero cualquiera que sea su tension, el peso de los cuerpos no cambia por ello, lo que prueba la *imponderabilidad* del fluido eléctrico.

El rozamiento de los *líquidos* con los sólidos á que no *mojen*, y de los *gases*, es tambien un manantial de electricidad: agitando el mercurio de un barómetro contra el vidrio del tubo, la cámara barométrica aparece fosforescente en la oscuridad, luz que veremos mas adelante es producida por la recomposicion del fluido eléctrico; soplando como un fuelle una torta resinosa ó un disco de vidrio, no tardan tampoco mucho tiempo en adquirir la electricidad, si el aire contiene vapor ó polvo seco; en cuanto al *frotamiento de los gases y de los líquidos unos con otros*, no se tienen pruebas tan concluyentes, pero admítase por analogía que tambien son causas de electricidad, si bien mas débiles.

464. **De las dos electricidades.** Hemos podido observar que las esferitas del péndulo eléctrico atraidas por los cilindros de vidrio ó de resina electrizados, eran al poco tiempo repelidas, y aun en ellas se alejaban la una de la otra despues del contacto. Acercando de nuevo un cilindro antes que las esferitas pierdan la electricidad que este les habia comunicado, se reproduce la repulsion; por consiguiente, *el fluido eléctrico que hay en un cuerpo electrizado se repele á sí mismo*. Lo notable del caso es que los péndulos electrizados por el vidrio y repelidos por él, son atraidos con mas fuerza por la resina; y vice versa, los electrizados por la resina son atraidos por el vidrio; mas aun, acercando los péndulos electrizados por el vidrio á los electrizados por la resina, se atraen

recíprocamente. De todo esto se desprende que los cuerpos electrizados obran de una manera bien diferente sobre los cuerpos ligeros en el estado natural, de cuando contienen electricidad libre. En el primer caso hay *constantemente atracción*, y en el segundo *atracción ó repulsión*, según que su electricidad es de los mismos ó diferentes cuerpos; es decir, que al parecer *hay dos especies de electricidad*; una natural del vidrio, llamada *vítrea*, y la otra de la resina, dicha *resinosa*. Luego *electricidades ó flúidos del mismo nombre se repelen, y electricidades ó flúidos de nombre contrario se atraen*.

Las denominaciones de electricidad vítrea y de electricidad resinosa, dadas en la mala inteligencia de que ni en el vidrio ni en la resina hay mas que una especie de electricidad, no son admisibles en el día, que se sabe perfectamente que tanto el vidrio como la resina, y en general todos los cuerpos, toman por la fricción las dos electricidades; cambiando el grado de pulimento, la temperatura, el color, el sentido de la fricción y la naturaleza del cuerpo frotante, la especie de electricidad del cuerpo frotado cambia también. De aquí el sustituir dichas denominaciones por las de *electricidad positiva y negativa*. En este sentido *llámase electricidad positiva la que toma el vidrio frotado con telas de lana, y negativa la que toma la resina frotada con lana ó con pieles*. Y un cuerpo estará electrizado positiva ó negativamente, según que su electricidad sea análoga á la que hay en aquellos cuerpos frotados como hemos dicho. El vidrio adquiere la electricidad negativa frotándolo con pieles de gato ó de nutria, y la resina la positiva con la aleación metálica de los caracteres de imprenta.

465. *La fricción desenvuelve siempre las dos electricidades, iguales en cantidad y contrarias en signo; uno de los cuerpos toma la positiva y el otro la negativa*. Para demostrarlo, se frotan dos discos metálicos con mango de vidrio (fig. 262); si se aproximan despues al péndulo eléctrico, primero uno y luego otro, ambos obran por atracción; pero puestos los dos á la vez y á la misma distancia, el péndulo permanece vertical, porque sus atracciones, siendo encontradas é iguales, se neutralizan. Dejando los discos unidos por algun tiempo, concluida la fricción, ó uniéndolos despues, las señales eléctricas desaparecen, lo que prueba que las dos electricidades se

conducen como las cantidades positivas y negativas.

Fundados en la producción de las dos electricidades, podemos hacer un experimento curioso, cual es, que dos personas puestas sobre banquillos aisladores, de piés de vidrio, se froten con una piel de gato; con esto se constituyen en un estado eléctrico que las vuelve fosforescentes en la oscuridad, y si otra persona acerca los nudillos de los dedos, sacará de ellas chispas que serán relámpagos, rayos y centellas en miniatura.

466. **Hipótesis de la electricidad.** Dos hipótesis hay para explicar los fenómenos eléctricos; la de un solo fluido debida á Franklin, y la de dos, ó de Simer.

En la opinion del primero los fenómenos eléctricos serian debidos á un *fluido inerte*, estremadamente móvil y elástico, esparcido por la masa de todos los cuerpos, con cierto grado de condensacion del cual dependeria su equilibrio, y cuyo estado estaria bien representado por cero. Si por un medio cualquiera de los de electrizacion, se aumentase ó disminuyese la cantidad de fluido libre, se electrizarian los cuerpos positiva ó negativamente, y *fluidos condensados con fluidos condensados, ó dilatados con dilatados*, ó en una palabra, fluidos del mismo nombre se *repelerian*, y *fluidos condensados con dilatados, ó fluidos de opuesta denominacion, se atraerian para volver á su estado natural*. Las atracciones y repulsiones no se explican bien bajo esta hipótesis, razon muy poderosa, y acaso la mas influyente, para ser desechada como lo es generalmente. En la hipótesis de Simer admítase que el *fluido eléctrico natural, ó fluido neutro*, está compuesto de otros dos fluidos de iguales propiedades, si bien de signo contrario, y por eso reunidos forman el fluido natural, de la propia manera que los siete colores componen la luz blanca; de modo que el fluido neutro no representa mas que las condiciones de equilibrio de los dos fluidos elementales. Perturbado el equilibrio por un medio cualquiera, el frotamiento por ejemplo, los fluidos se separan como los colores cuando la luz atraviesa un prisma, y cada uno de ellos *atrae los cuerpos ligeros, repele sus propias moleculas*, y se distribuye sobre los cuerpos frotante y frotado segun su naturaleza, pulimento, temperatura y demás circunstancias ya mencionadas. En la teoría de Simer venimos á tener una cosa

muy parecida al magnetismo, si bien con la diferencia que este fluido está reducido á los elementos magnéticos sin poder salir de ellos, mientras que la electricidad no solamente puede salir de los espacios intermoleculares y dirigirse á la superficie de los cuerpos, sino que pasa de unos á otros, condensándose en ellos mas ó menos segun las condiciones á que está sometido.

LECCION LXXXI.

Leyes de las atracciones y repulsiones; balanza de Coulomb.—Método de las oscilaciones.—Comunicacion de la electricidad al contacto y á distancia; chispa eléctrica.—Distribucion de la electricidad en los cuerpos buenos conductores segun el método de Coulomb.—Influencia de la forma de los cuerpos, tension eléctrica.—Reaccion debida á la salida; molinete eléctrico.

467. **Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.** La electricidad deja sentir su influencia bajo las mismas leyes que los otros fluidos; *obra proporcionalmente á las cantidades de fluido libre, y en razon inversa de los cuadrados de las distancias.*

Dos métodos igualmente espeditos hay para demostrar por la experiencia estas leyes, que son: el de las *oscilaciones* y el de *torsion*. Habiendo visto ya el primero en el magnetismo (454); vamos á ocuparnos con mas estension del segundo, y de este modo hacemos el estudio completo sin estendernos demasiado.

Balanza de Coulomb. La (fig. 263) representa la *balanza de torsion*: MN es un cilindro de vidrio puesto sobre una mesita de madera que le sirve de pié; en la superficie convexa hay una banda de papel con la division de la circunferencia en 360° : un platillo CD sirve de cubierta á este cilindro, y á su vez sostiene el *mn*, de menores dimensiones, con una pieza circular fija y otra movable *cd*, que tiene su circunferencia dividida en partes iguales y forman las dos el *micrómetro* del aparato. El platillo CD gira en todas direcciones, y tiene una abertura por donde se introduce el *plano de prueba* A; que es una *esfera metálica s, aislada por un mango de vidrio*. Por el centro del cilindro menor, que tambien gira alrededor

de su eje, pasa un alambre fino de plata, unido al torno *r* que lo arrolla ó desarrolla á voluntad, del que pende la *aguja eléctrica st*, sostenida por unas pinzas de su centro de gravedad; *la aguja eléctrica es un plano de prueba muy delicado*. Se prepara el aparato haciendo que la direccion de la aguja y los ceros de las dos circunferencias, el inferior y el superior, estén en un plano-vertical, y que el plano de prueba toque á la aguja por la estremidad metálica, que es la que mira al cero.

Al usar esta balanza es indispensable advertir que para separar la aguja de su posicion, hay que aplicar una fuerza igual á la resistencia del hilo á dejarse torcer, y que los *ángulos son proporcionales á las fuerzas de torsion*. Pues ahora bien; el plano de prueba se electriza y se lleva á su sitio y al tocar la aguja le cede un poco de su electricidad y la repele; el ángulo que ella marque indicará la fuerza de repulsion; quitando al plano de prueba la mitad, la tercera ó cuarta parte de su electricidad, la desviacion de la aguja es la mitad, tercera, cuarta parte que antes; luego las *repulsiones son proporcionales á las cantidades de fluido libre que hay en los cuerpos*. Para demostrar las leyes de las atracciones se dan á la aguja y al plano de prueba electricidades de nombre contrario, se ponen á cierta distancia y se mide la atraccion recíproca que ejercen entre sí; despues se quita al plano de prueba la mitad, tercera, cuarta parte, etc. de su electricidad y midiendo la fuerza con que se atraen en estos casos resulta que *decrece con la misma relacion*. Si cuando la aguja está repelida por el plano de prueba, volvemos el *micrómetro* que tuerce el alambre, hasta conseguir que su distancia sea la mitad, tercera ó cuarta parte, sumando los grados del micrómetro con los de la aguja, encontramos que son cuatro, nueve, diez y seis veces mayores; luego las *repulsiones están en razon inversa de los cuadrados de las distancias*. Dando á la aguja y al plano electricidades de opuesta denominacion, y desviando la aguja de antemano, se miden las fuerzas de atraccion por el ángulo de torsion que marque el micrómetro para sostener la aguja á una distancia como uno, un medio, un tercio, ó un cuarto; las atracciones tambien están en razon inversa de los cuadrados de las distancias.

En estas operaciones hay que tomar muchas precauciones para

evitar la pérdida de la electricidad; tales son aislar las agujas y los planos de prueba, desecar cuanto se pueda el aire de la balanza con ácido sulfúrico concentrado, y el de la habitacion con hornillos encendidos; enjugar los aparatos frotándolos con paños de lana templados, y dar á los cuerpos aislantes resistencias proporcionales á los cuadrados de las cantidades de electricidad libre.

468. **Método de las oscilaciones.** También es practicable el método de las oscilaciones en el fluido eléctrico, como en el magnético y en la fuerza de la gravedad. Está reducido á dejar oscilar una aguja eléctrica muy pequeña cerca de los cuerpos electrizados, y contar el número de oscilaciones que hace bajo la influencia de cada uno de ellos ó bajo la influencia de uno mismo en diversos estados eléctricos, ó á diversas distancias, y sus cuadrados estarían en la relacion de las fuerzas que tratábamos de conocer. La aguja debe ser de poca longitud y la esfera electrizada de radio grande á fin de que todas las fuerzas eléctricas fueran paralelas.

469. **Comunicacion de la electricidad.** La electricidad libre que tiene un cuerpo puede cederla á otro al contacto, y de cierta manera á distancia también; la parte que pierde el primero y que gana el segundo, depende de la estension superficial y sobre todo, de la conductibilidad. Los cuerpos buenos conductores dividen su electricidad en partes proporcionales á la estension de sus superficies, por mitad si son iguales. La pérdida ó ganancia es comun á todos los puntos de la superficie de los cuerpos; propiedad de que sacamos partido para dejar á un cuerpo la mitad, tercera ó cuarta parte de la electricidad que tiene (467). Los malos conductores ni ceden, ni toman la electricidad mas que en el punto de contacto ó en una estension mas ó menos grande dependiente de su conductibilidad.

Chispa eléctrica. Cuando los cuerpos buenos conductores se aproximan á un origen de electricidad libre, la máquina eléctrica por ejemplo, la comunicacion del fluido eléctrico es por medio de una *chispa azulada* que salta entre ellos, acompañada de un pequeño *truenecito*; pero siendo malos conductores, la luz eléctrica y el paso aparente de la electricidad no pueden tener lugar, al menos de una manera que merezca llamar nuestra atencion.

El fluido eléctrico no está retenido en los cuerpos electrizados por ninguna atracción material, pues en el vacío de la máquina neumática y en la cámara barométrica, la electricidad se desprende y los cuerpos recobran su estado natural. La presión atmosférica y la mala conductibilidad del aire son las principales causas que mantienen la electricidad en la superficie de los conductores. Sin embargo de ser esta la opinión más admitida, de la Rive cita casos de haber conservado los cuerpos en el vacío de la máquina neumática la electricidad por algunos días.

470. **Distribucion de la electricidad.** La electricidad no baña todas las moléculas de los cuerpos como pudiera creerse; muy al contrario, se desentiende de la masa y queda exclusivamente sobre la superficie. Demuéstrase lo dicho con una esfera (fig. 264), de superficie móvil, que podemos separar con mangos de vidrio. Si después de electrizada se apartan los hemisferios, la esfera interior no da señal ninguna de electricidad, y por la inversa, los hemisferios están ambos electrizados. Tocando un cuerpo electrizado con dos esferas una maciza y otra hueca, las dos le quitan la misma cantidad de su fluido libre; y por fin, electrizando estas dos esferas y calculando sus fuerzas por la balanza de torsion, obtenemos idénticos resultados. Aun se hace otra prueba contra la que hay fundadas prevenciones. Consiste el aparato en una esfera hueca M (fig. 264), con una abertura *m* para introducir un plano de prueba. Después de electrizada se toca por dentro con el plano de prueba, se lleva este sobre un electrómetro y no hay atracción, pero tocándola por fuera la desviación no deja duda de que aquí es el asiento de la electricidad.

471. La electricidad no se deposita siempre con uniformidad sobre la superficie de los cuerpos, ó no tiene la misma *tension*, que es el nombre que recibe *la mayor ó menor fuerza con que el fluido eléctrico procura desprenderse de ellos*; Coulomb hizo la demostración fundándose en que si con un *plano de prueba se toca normalmente la superficie de un cuerpo electrizado, la cantidad de fluido eléctrico que toma es proporcional al espesor ó tension eléctrica del punto de contacto*. Con efecto, tóquese con el plano de prueba una esfera electrizada y llévese á la balanza de torsion para medir la

intensidad de su fuerza, quítese á la esfera la mitad de la electricidad, repítase la operacion y se verá que la intensidad solo es la mitad que antes. Por consiguiente, tocando con el plano de prueba los cuerpos conductores por diferentes parajes, y midiendo las fuerzas eléctricas que les corresponden, representarán la del fluido libre que en ellos existe. En las esferas, la distribucion es *uniforme*; en los cilindros y prismas *crece hácia sus estremidades*, y en los elipsoides de revolucion la tension *crece proporcionalmente á la longitud de sus ejes*. En los conos, que podemos considerarlos como semielipsoides de ejes sumamente desiguales, y en todos los cuerpos terminados en punta, *la acumulacion de la electricidad es tan grande*, que venciendo la resistencia del aire, se desprende y espaaee en la atmósfera, dejando á los cuerpos en el estado natural.

472. **Reaccion de la salida del fluido eléctrico.** *La electricidad oprime, al parecer, la superficie de los cuerpos con una fuerza igual á su tension.* Atornillando á los conductores de la máquina eléctrica el *molinete eléctrico*, que consiste en dos alambres cruzados, terminados en puntas de encontradas direcciones y móviles alrededor de su eje, se engendra un movimiento de reaccion por la salida del fluido eléctrico, análogo al de la salida de los líquidos. No obstante que el experimento parece autorizar la conclusion que hemos sacado, Mr. Bigeon ha creído por el contrario, que el movimiento viene de la repulsion de las electricidades del mismo nombre que hay en todos los instantes en las puntas del molinete y en el medio donde se mueve.

LECCION LXXXII.

Electricidad por influencia; conductores aislados; principales resultados á que conducen.—Signo de la electricidad en los extremos del conductor.—Segundos conductores aislados; choque por retroceso; poder de las puntas.—Campanario, granizo y danza eléctricos.

473. **Electricidad por influencia.** Cuando un cuerpo buen conductor entra en la esfera de actividad de otro electrizado, experimenta inmediatamente la descomposicion de su fluido natural, y adquiere un estado eléctrico mas ó menos enérgico, dependiente

de la fuerza del origen de electricidad, de sus dimensiones superficiales, de su poder conductor, y acaso tambien del medio en que se encuentra. *La electricidad desenuelta á distancia, denominase electricidad por influencia.*

La electricidad no pasa del origen libre al conductor; sino que obrando, bien sea por influencia, bien con ayuda de la sustancia interpuesta, descompone su flúido natural, atrae el del nombre contrario y repele el del mismo nombre al extremo opuesto; sucede aqui lo que con los imanes. Si el efecto no tiene lugar á distancia como se ha creido hasta ahora, sino que es indispensable un medio, ponderable ó imponderable, que transmita la accion, el efecto seria debido á una polarizacion de las capas interpuestas entre el cuerpo electrizado y aquel al cual electriza.

Conductores aislados. Demuéstranse las propiedades de la electricidad por influencia, con los *conductores móviles y aislados* (fig. 265); es decir, con unos cilindros huecos de laton terminados por segmentos esféricos, sostenidos por piés de vidrio y con algunos péndulos, ya sea por la parte superior, ya por la inferior. Acercando estos conductores á la máquina eléctrica se observa: 1.º; *que los péndulos se desvian de la vertical, lo que prueba el estado eléctrico:* 2.º; *que los péndulos mas próximos son atraidos y los mas apartados repelidos;* hay hácia el medio una seccion *mn*, llamada *neutra*, donde los péndulos se mantienen en su ser y estado, y á la cual no comprende la descomposicion: 3.º; *que estableciendo la comunicacion del conductor con el depósito comun, siempre los péndulos mas próximos sufren mayor divergencia, y los mas distantes recobran su estado normal.* Separando el conductor de la esfera de actividad del origen eléctrico, las cosas vuelven á su estado normal, los dos flúidos se recomponen y forman el flúido neutro. Si la electricidad pasara del cuerpo electrizado al conductor, necesariamente daría este señales de flúido libre, lo cual es contrario á la esperiencia.

474. *Los flúidos que hay en los extremos A y B del conductor, son de signo contrario; negativo en A y positivo en B, si como es natural hace de cuerpo electrizado la máquina eléctrica. La razon ya la hemos dado (473); siendo positivo el flúido que contiene, al descomponer por influencia el natural del conductor atrae el de nom-*

bre contrario, el negativo, y repele el de su propio nombre, el positivo. Acercando un cilindro de resina electrizado á los péndulos del conductor, los que hay en A son repelidos, y atraídos los de B; esta esperiencia es concluyente.

Para darnos razon de la tercera circunstancia, vamos á examinar las fuerzas que actúan sobre la molécula x (fig. 266), en el estado natural. El origen de electricidad repele el fluido positivo y atrae el negativo con una fuerza R que es constante, de suerte que al poco tiempo de la descomposicion por influencia del fluido neutro del conductor, hay otras dos fuerzas procedentes una r ; de la atraccion del fluido negativo acumulado en A, y otra r' , de la repulsion del positivo acumulado en B. Estas fuerzas, nulas al principio de la descomposicion, crecen con ella, hasta el punto que llega una época en la cual, no obstante ser menores que la fuerza constante R , como obran á mas cortas distancias, la neutralizan por completo, y desde este momento la tension ha llegado á su limite mayor.

Entendido lo espuesto, si hacemos comunicar con la tierra el extremo B, la electricidad positiva que contiene se estiende por ella, y el péndulo m vuelve á la vertical; pero desapareciendo la fuerza r' , ya R no queda equilibrada, y produce nueva descomposicion por influencia en el conductor, la positiva sigue el camino que la de antes, y la negativa, uniéndose á la del extremo A, es causa de mayor tension, señalada por la divergencia del péndulo n . Cuando hacemos comunicar el extremo A con el depósito comun, pudiera creerse que el péndulo opuesto es el desviado, y sin embargo ya hemos dicho que no sucede así; la razon es clara. Al establecer dicha comunicacion, el cuerpo buen conductor entra en la esfera de actividad de la máquina eléctrica y sufre la descomposicion de su fluido neutro; el positivo es repelido, y el negativo pasa al conductor, donde combiniéndose con el que hay en B, destruye la fuerza r' , y hace en su virtud que las cosas se presenten como en el caso anterior.

475. Los cuerpos electrizados por influencia, obran á su vez por influencia tambien, para descomponer el fluido natural de los conductores que estén en la esfera de su actividad. Acercando un segundo conductor M al primero (fig. 265), se advierten en él todos los fenómenos que en este, si bien en menor escala; porque las fuer-

zas eléctricas disminuyen con el aumento de las distancias, con la dificultad que encuentran los flúidos en su movimiento, aun en los cuerpos mejores conductores, y sobre todo, con la pérdida de la electricidad en el aire.

Choque por retroceso. Descargando de una sola vez la máquina eléctrica, el conductor móvil adquiere su estado natural inmediatamente; sucede lo mismo que si separáramos el conductor con alguna velocidad. La recomposicion de los dos flúidos en estos casos se opera con tanta fuerza que dá lugar á un *choque llamado por retroceso*, cuyos resultados son parecidos á los del paso directo de la electricidad.

476. **Poder de las puntas.** Ya sabemos (471), que la electricidad se acumula con desigualdad sobre la superficie de los cuerpos, y que en los terminados en punta adquiere una tension tan fuerte que, venciendo la mala conductibilidad del aire, se disipa con facilidad. Réstanos dar la esplicacion del poder de las puntas; para ello supondremos (fig. 267), una punta en presencia del cuerpo electrizado M. La descomposicion por influencia se hace con toda libertad; el flúido negativo es atraído hácia la punta del cuerpo A, y el positivo repelido hácia la base ó al depósito comun; mas cuando hay dos puntas, la A y la B, los flúidos acumulados en las cúspides se repelen mutuamente, y otro tanto sucede con los de la base, oponiéndose por sus atracciones y repulsiones á que la condensacion de la electricidad pueda llevarse á cabo; aumentando el número de puntas, disminuye la tension eléctrica; luego estamos en el caso de decir que en las esferas el repartimiento del flúido eléctrico es uniforme, porque uniformemente se hacen las repulsiones, mientras que en los cuerpos terminados en punta las repulsiones se hacen en toda la superficie menos en la punta misma, por donde se escapa en su consecuencia la electricidad.

477. **Campanario, granizo y danza eléctricos.** *El campanario eléctrico* (fig. 268), está formado de una varilla metálica de la cual penden tres campanillas, de cadenas de alambre las de los lados, y de un cordon de seda la del medio; del centro de esta parte otra cadena para ponerla en comunicacion del suelo, y entre cada dos campanas se cuelga de un hilo de seda una esferita de

metal. Puesta la varilla en contacto de la máquina eléctrica, las campanillas estremas se cargan de electricidad, atraen con fuerza las esferitas, las cuales, despues del toque y de electrizarse del mismo nombre, son repelidas, y atraidas por la del centro, que estando electrizada por influencia de nombre contrario, las vuelve á su estado natural; de esta manera las campanas están sonando todo el tiempo que dura la carga eléctrica.

El *granizo eléctrico* se hace con una campana de vidrio (fig. 269), de fondo metálico, atravesada por una varilla que termina en un platillo de la propia sustancia, y dentro de la cual hay muchas esferitas de médula de sahuco. Acercando la varilla á la máquina eléctrica, el platillo se electriza, atrae las esferitas, las repele despues del contacto, para atraerlas de nuevo que hayan recobrado su estado natural con el platillo inferior. Las atracciones y repulsiones hacen saltar las bolitas en todos sentidos y con tanta fuerza que representan muy bien el fenómeno del granizo.

La *danza eléctrica* es parecida al granizo. Poniendo entre dos platillos metálicos (fig. 270), figuritas de médula de sahuco, y haciendo que uno de ellos toque á la máquina eléctrica, y el otro comuniqué con el depósito comun, suben y bajan y dan saltos sin parar.

LECCION LXXXIII.

Descripcion y teoría de la máquina eléctrica.—Limite de la carga; electrómetro de Henley; conductores secundarios.—Máquinas de Van-Marun y de Nairne —Electróforo y teoría de su carga.—Electrómetros y electróscopos; aplicaciones.

478. **Máquinas eléctricas.** El origen principal de electricidad de que nos hemos servido en los experimento anteriores, es la máquina eléctrica (fig. 271). Compónese de un disco de vidrio vertical, móvil alrededor de un eje horizontal que pasa por su centro, donde se aplica la pontencia por medio de un manubrio. El disco frota por los estremos del diámetro vertical con almohadillas rellenas de cerda ó crin, sujetas á dos montantes de madera. Sobre una mesita que sirve de base á toda la máquina, hay dos cilindros huecos de laton, terminados por segmentos esféricos, sostenidos por

pies de vidrio y unidos por un tercer conductor de menor diámetro. Los dos conductores horizontales llevan por los extremos mas próximos al disco, dobles brazos armados de puntas, llamados *peines*, por entre las cuales, y á corta distancia, pasa el disco despues que ha sido electrizado.

La teoría de la carga es como sigue. En la frotacion del disco con las almohadillas, se descompone el fluido natural: el negativo va á las almohadillas y de ellas al depósito comun, y el positivo al vidrio. Al pasar este electrizado por cerca de los conductores, descompone por influencia su fluido natural, atrae el de nombre contrario, el negativo, que sale por las puntas á combinarse con el positivo del disco, y repele el de igual nombre, el positivo, del que se cargan los conductores. Esto sucede á la vez en los dos cilindros, ó en el primer y tercer cuadrantes del disco, y se repite en cada una de las vueltas, de manera que despues de cierto número de ellas los conductores tienen bastante cantidad de fluido libre.

479. El desenvolvimiento de la electricidad aumenta con la presión y velocidad del disco, aunque no indefinidamente. Para reconocer el limite de tension ó de carga, basta reproducir lo espuesto al ocuparnos de la electricidad por influencia (474); pues si R es la fuerza de la electricidad del disco, la molécula x (fig. 266), de fluido natural, estará al poco tiempo de la fricción bajo su actividad, y bajo la del fluido positivo acumulado en B. La fuerza R es constante y la r' variable, luego creciendo la descomposicion, llegará un caso en que la fuerza r' , aunque menor, equilibre á la R , compensando la mas corta distancia la falta de intensidad; llegado este caso la molécula x no se descompone, y la máquina está en el limite superior de su carga.

Las almohadillas comunican con el suelo por medio de dos chapitas metálicas metidas en los montantes de madera, á fin de que la electricidad negativa no se acumule en ellas hasta vencer su mala conductibilidad y combinarse con la positiva del disco, destruyendo con ello toda electrizacion posterior. Cúbrense además de una ligera capa de oro musivo, bisulfuro de estaño, ó de una amalgama de estaño ó de zinc, para facilitar mas la descomposicion de la electricidad. El disco en el primer y tercer cuadrantes, que son los electri-

zados, pasa por dentro de unas cubiertas de tafetan engomado, dichas *armaduras*, con la mira de impedir el movimiento del aire y la pérdida del fluido libre por su contacto. Se conoce cuando una máquina está perfectamente cargada, con el *electrómetro* de cuadrante debido á *Henley*. Está reducido (fig. 272), á una columnita de madera de base metálica para atornillarla á los conductores, con una agujita de marfil que gira en un semicírculo vertical. La aguja marca cero en el estado natural, pero desenvuelta la electricidad, es tanto mas repelida cuanto mas fluido libre recoja.

Conductores secundarios. Hay en las máquinas otros conductores llamados *secundarios*, sostenidos con piés de vidrio ó cordones de seda, destinados á aumentar la estension superficial y la cantidad de fluido libre, ó á establecer la comunicacion con cuerpos mas distantes; para este último extremo están hechos de tirador y permiten aumentar su longitud segun las necesidades lo requieran.

480. **Máquina de Nairne.** En la máquina descrita los conductores se cargan de fluido positivo, mas pudiera ser el negativo, haciéndolos comunicar con las almohadillas y el disco con el suelo como lo dispuso Van-Marum en su máquina, en la que obtiene á voluntad las dos especies de electricidad. Nairne ha construido otra máquina con dos conductores separados para acumular en ellos las dos electricidades. Reemplaza el disco por un cilindro horizontal que frota contra unas almohadillas sostenidas por un conductor, y pasando en seguida por cerca de las puntas del otro conductor lo electriza por influencia positivamente.

485. **Máquina hidro-eléctrica.** Mr. Armstrong ha compuesto modernamente una máquina donde se desenvuelve la electricidad por el frotamiento de los glóbulos líquidos contra las paredes interiores de los tubos por donde sale el vapor que los arrastra. Las partes principales de la máquina son una caldera de vapor aislada por cuatro piés de vidrio, un recipiente donde hay agua fria para condensar parte del vapor, los tubos de salida y un conductor vertical aislado que termina por una pieza armada de puntas metálicas para facilitar la salida del fluido eléctrico.

El vapor de agua pura se carga de electricidad positiva y la caldera de la negativa; con un poco de esencia de trementina cambian

de signo las electricidades y con el agua acidulada ó salada no hay señales de electrizacion. Parece bien demostrado que el rozamiento del vapor no dá flúido libre, siendo necesario que vaya acompañado de glóbulos líquidos.

486. **Electróforo.** El aparato que lleva este nombre es tambien un origen de electricidad. Compónese de un platillo ó torta resinosa (fig. 273), encerrada en una caja cilindrica de madera, y de un disco de la propia sustancia forrado de papel de estaño, aislado por un mango de vidrio. Calentados dulcemente para quitarles la humedad se frota ó golpea con fuerza la resina con una piel de gato ó con un paño de lana, y toma la electricidad negativa; puesto el disco metálico sobre ella, se electriza por influencia, la electricidad positiva es atraida á la cara del contacto y la negativa repelida á la superior: tocándola con el dedo pasa al depósito comun, quedando el disco electrizado positivamente, del que se puede sacar una chispa acercando un cuerpo buen conductor. Levantando el disco metálico sin tocarle antes con el dedo, la chispa no salta; la razon es, que los dos flúidos separados forman el flúido neutro en el momento que la influencia de la resina cesa. Parece á primera vista que deben combinarse las dos electricidades próximas del disco y de la resina, pero la mala conductibilidad de ella y de la capa de aire interpuesto se oponen á semejante union; y no impide que el contacto esté establecido en algunos puntos, porque no pudiendo moverse la electricidad de la resina de unos á otros, la formacion del flúido neutro solo tiene lugar en ellos, y no en la gran estension superficial que queda libre. Con una sola friccion, estando el aire seco, es suficiente para sacar chispas por mucho tiempo.

487. **Electróscopos y electrómetros.** Ya hemos visto (465) que los aparatos destinados á conocer el estado eléctrico de los cuerpos, se llaman *electróscopos*, y *electrómetros* si dan idea de su mayor ó menor tension ó de su signo. El péndulo es un electrósco-
po. Las (fig. 274 y 275), representan otros. Una campana de vidrio sobre un fondo metálico con un orificio en forma de gollete por donde pasa á través de un tapon de corcho, una varilla de metal que sostiene en el interior cuerpos ligeros, y termina en el exterior por una esfera. Los electrósopos toman el nombre específico de los

cuerpos ligeros; así se dice: *electróscopo de médula de sahuco*, *electróscopo de pajitas*, *electróscopo de panes de oro*, segun que la desviacion está marcada por dos bolitas de sahuco (fig. 274), por dos pajitas ó por dos láminas de oro (fig. 275). Las láminas metálicas *m* y *n* que hay en ellos están para evitar que en grandes desviaciones queden los cuerpos ligeros pegados al vidrio, por ser mal conductor; si en lugar de tocar al vidrio lo hacen con estas láminas, recobran el estado natural y vuelven á tomar su posicion. Habiendo en la parte inferior de la botella un semicírculo donde referir la mayor ó menor desviacion de los cuerpos ligeros, tenemos los *electrómetros*. Sirva de ejemplo el de la (fig. 275), y el de Henley descrito poco há.

Para conocer si un cuerpo está electrizado ó no, basta acercarlo á la esfera exterior de los electróscopos y ver si hay divergencia en los péndulos. En el caso afirmativo se conoce la naturaleza de su electricidad electrizando el electróscopo bien sea positiva ó negativamente, y si acercando de nuevo el cuerpo electrizado las esferitas se alejan mas, las dos electricidades son del mismo signo, y si hay una aproximacion bien marcada, de contraria denominacion.

LECCION LXXXIV.

Condensadores; descripcion y teoria del de lámina de vidrio; limite de carga.—Electricidad latente.—Escitador simple de charnela; idem de mangos de vidrio; idem universal.—Botella de Leyden; idem con péndulos para las dos electricidades.—Idem de armaduras móviles para la electricidad latente.—Baterías.—Electrómetro condensador de Volta.

488. **Condensadores.** Llámanse condensadores los aparatos destinados á retener mayor cantidad de electricidad que la correspondiente á su estension superficial. Están formados comunmente de dos cuerpos buenos conductores separados por otro mal conductor, del que toman su nombre. Condensador de lámina de vidrio, de tafetan engomado, etc.; quiere decir que la lámina mala conductora es de vidrio ó de tafetan. La (fig. 276), representa un condensador de lámina de vidrio: G y A son dos discos ó platillos metálicos aislados por pié y mango de

vidrio, y B es la lámina mala conductora. Para *cargarlo* se pone uno de los platillos en comunicacion de la máquina eléctrica, el cual recibe por ello el nombre de *platillo colector*, y el otro con el depósito comun. El fluido libre que se dirige sobre el platillo colector C, descompone por influencia el natural del platillo A, atrae el de nombre contrario hácia la cara que toca al vidrio, y repele á la tierra el de igual nombre. El fluido retenido aquí, reobra sobre el del otro platillo y neutraliza una parte de su tension; en su consecuencia se destruye el equilibrio que habia entre este platillo y el cuerpo electrizado, siendo menester para restablecerlo, que venga de él nueva cantidad de electricidad; el aumento de fluido libre es causa de nueva descomposicion, y el que esta añade al platillo inferior vuelve á reobrar como antes sobre el superior, y asi sucesivamente; y de aquí la acumulacion ó condensacion de las dos electricidades sobre los discos metálicos.

Pudiera creerse que con estos aparatos se aumenta la carga de la electricidad indefinidamente, y sin embargo no es asi; en todos los condensadores hay un límite subordinado al origen de la electricidad, á la estension y conductibilidad de los platillos metálicos y al espesor del cuerpo mal conductor. A fin de comprender la razon, examinemos las fuerzas á que ha de resistir el fluido natural de la molécula x , del hilo que establece la comunicacion con la tierra. El fluido del platillo superior obra repeliendo la parte positiva, y el del platillo inferior atrayéndola, y aun cuando la primera fuerza es mayor que la segunda, no tiene nada de extraño que para cierta época de la descomposicion se equilibren, compensando la mas corta distancia la falta de intensidad, en cuyo caso, el condensador no recibe ya nueva cantidad de fluido libre. El límite se aleja haciendo la lámina de vidrio de débil espesor, pero entonces las dos electricidades, que pugnan para reunirse á formar el fluido neutro, taladran el vidrio y echan el aparato á perder.

Si despues de haber cargado el aparato, establecemos la comunicacion de los dos platillos con un cuerpo buen conductor, ó *cerramos el circuito*, las dos electricidades se recomponen instantáneamente, dando una chispa y un truenecito bastante perceptibles; pero si puesto sobre un banquillo aislador aproximamos los nudillos de los

dedos, no sacamos mas que una chispa muy pequeña, y para eso ha de principiarse por el platillo colector, y continuar con una marcha alternativa del uno al otro platillo hasta descargarlo *lentamente*.

489. **Electricidad latente.** Armandos los platillos con péndulos, las señales de electricidad son casi imperceptibles; solo el péndulo del platillo colector es el que se desvia un poco, y sin embargo, al cerrar el circuito la chispa salta á cierta distancia, haciendo un ruido y con una luz que se distinguen bien. Esto parece indicar que la electricidad está *oculta, disimulada ó latente*. Lo que justifica mejor este estado de la electricidad, es que separados los dos platillos metálicos con todo cuidado, tocados con la mano para devolverlos al estado natural, y acercados de nuevo á la lámina de vidrio, el condensador aparece casi tan cargado como antes; es decir, que las electricidades no están en los platillos conductores, *sino sobre las caras de la lámina de vidrio, retenidas por su atraccion reciproca.*

490. **Escitadores.** Para descargar los condensadores de uno vez, sin recibir la peligrosa conmocion de la chispa, tenemos los *escitadores*.

El escitador simple ó de charnela (fig. 277), lo forman dos brazos metálicos terminados por botones esféricos, que giran alrededor de una charnela, y se aproximan con la mano hasta hacer saltar la chispa.

El escitador de mangos de vidrio (fig. 378), prefírese al simple en los casos que hay mucha electricidad acumulada, pues aun cuando esta sigue el metal como mejor conductor, pudiera dividirse la corriente y causar algun daño al operador.

El escitador universal (fig. 279), es ya mas complicado. Se compone de dos varillas metálicas que pueden acercarse ó separarse á voluntad, sostenidas por columnas de vidrio. Terminan por un extremo en un anillo para sujetar la cadena, y por el otro con una esfera ó con una punta á la que la primera se atornilla. Entre las dos *ramas* del escitador está el porta-objetos, que es una mesita circular que sube hasta el punto necesario y se sostiene despues con un tornillo.

491. **Botella de Leyden.** La botella de Leyden es una forma particular del condensador de lámina de vidrio. Se compone de una *botella de vidrio de poco espesor* (fig. 280), *llena de panes de oro y de estaño, y cubierta hasta los dos tercios de su altura de papel de esta última sustancia.* El cuello de la botella se cierra con un tapon de corcho, por dentro del cual pasa una varilla de metal que concluye por un extremo en punta, y por el de afuera en una bolita. Cogiendo la botella con la mano por una de las armaduras, la exterior que es lo natural, y aproximando la otra, la interior, á la máquina eléctrica, se carga de las dos electricidades, la positiva se estiende por dentro y la negativa por fuera, y cerrando el circuito con un cuerpo buen conductor, la recomposicion de la electricidad tiene lugar con la chispa y el ruido de costumbre. Entre los dos cuerpos buenos conductores, llamados *armaduras*, hay una capa de goma-laca para impedir la recomposicion de las dos electricidades.

La teoria de la carga es la de todo condensador (488): la armadura interior se electriza positivamente por su comunicacion con la máquina eléctrica; obra por influencia sobre el fluido natural de la armadura exterior; atrae el negativo y repele el positivo al depósito comun; este reobra sobre el del interior, neutraliza parte de su tension para que reciba nueva cantidad de electricidad de la máquina y produzca mayor descomposicion del fluido natural de la armadura exterior, continuando semejante serie de cosas hasta llegar al limite superior de la carga; limite que se conoce por la debilidad de la chispa. Las botellas se descargan de una vez con un cuerpo buen conductor que establezca la comunicacion entre las dos armaduras, ó bien con lentitud sacando las chispas alternativamente, dando principio por la que haya hecho de platillo colector.

Las electricidades de las dos armaduras de la botella de Leyden son de nombre contrario; se hace la demostracion experimental directa, aproximando á los péndulos de las dos armaduras (fig. 281), un cilindro de resina electrizado; pues produce atraccion en los de la armadura interior, y repulsion en los de la exterior.

492. **Botella de armaduras móviles.** Para conocer el estado de la electricidad latente en la botella, se hace uso de la *de armaduras móviles.* La exterior (fig. 282), es un vaso metálico

A; dentro de él se pone otro de vidrio B, que tiene en el remate una banda anular de dos dedos de ancho de goma-laca; y por último, la interior es la botella C, que se mete en el vaso de vidrio. Cargada esta botella y puesta sobre un banquillo aislador, se levanta con un gancho de vidrio, para mayor seguridad, la armadura interior, se toca con la mano para quitarle la electricidad y se aparta á un lado; en seguida se coge el vaso de vidrio por la goma-laca y se deja sobre el banquillo, y por último se toca con la mano la armadura exterior. Hecho todo esto y vueltas las cosas á su primer estado, establecida la comunicacion de las armaduras con el escitador, la chispa salta casi con un igual energía que si no hubiéramos practicado operacion ninguna, *lo que nos autoriza á decir que la electricidad está sobre las dos caras opuestas del vaso mal conductor.*

493. **Botella de péndulos.** La botella de péndulos sirve para la mismo; el péndulo de la armadura colectora sufre cierta desviacion y el de la otra armadura permanece caido; pues habiéndola electrizado por influencia su tension es menor, y está totalmente neutralizada; sacando chispas de la primera ó esperando á que el exceso de su electricidad se disipe en la atmósfera, los dos péndulos toman igual desviacion para caer luego simultáneamente.

495. **Distancia explosiva.** La carga de las botellas, particularmente de aquellas que tengan los remates de las mismas dimensiones, se gradúa y compara por la *mayor distancia* á que salta la chispa entre las armaduras, denominada *distancia explosiva*. Dispuesta la botella sobre la mesita (fig. 283), su armadura comunica con una columna metálica, donde gira un brazo del escitador universal dividido en partes iguales, y aproximándolo lentamente por medio de una rosca hasta que salte la chispa, conoceremos en cada botella su distancia explosiva.

494. **Baterias.** La reunion de muchas botellas constituye una *bateria eléctrica*. Las botellas suelen tomar el nombre de *tarros*. El medio mas ventajoso (fig. 284), es hacer comunicar sus armaduras interiores por varillas que concurren en un centro, y las exteriores por un forro de papel de estaño de que se cubre la caja de madera en donde están encerradas. El modo de cargar y descargar las ba-

terias, es como en los condensadores y botellas simples, solo que el trueno y la chispa naturalmente son mayores.

495. **Electrómetro condensador de Volta.** Este aparato está reducido á poner un condensador en comunicacion con la varilla de un electrómetro (fig. 285). El platillo superior lleva un mango de vidrio para levantarlo, sin variar su estado eléctrico. Suele emplearse para conocer si los cuerpos están electrizados en el caso de tener muy poca tension, con cuyo objeto se pone uno de los platillos en contacto con ellos, y el otro con el depósito comun; acumulada poco á poco la electricidad, segun la teoria del condensador, al levantar el platillo superior, la electricidad queda libre en el otro y los péndulos divergen.

LECCION LXXXV.

Efectos fisiológicos de la chispa; aplicaciones á la medicina.—Efectos caloríficos; inflamacion del alcohol, de la pólvora, etc.—Efectos luminosos; huevo eléctrico; diferencia entre la luz de las dos electricidades.—Efectos magnéticos.—Efectos mecánicos; termómetro eléctrico de Kinnersley.

496. **Efectos de la chipa.** La recomposicion de las dos electricidades, es origen de fenómenos importantes que se clasifican en *fisiológicos, físicos y químicos.*

497. **Efectos fisiológicos.** Al aproximar los nudillos de los dedos á la máquina eléctrica, ó al descargar una botella de Leyden ó un condensador, siéntese una sacudida que parece ocasionada por la escitacion de la sensibilidad y contractibilidad de los tejidos orgánicos que la electricidad atraviesa. La sensacion, que en estos casos es un poco desagradable y ligeramente dolorosa, aumenta con la tension eléctrica, y la descarga de una fuerte bateria puede muy bien privarnos de la vida. La conmocion se deja sentir al propio tiempo en todas las partes de una larga cadena de personas cogidas de la mano, que sueltan repentinamente cuando las de los extremos tocan las dos armaduras de una bateria.

Los efectos fisiológicos despertaron los deseos de aplicar la electricidad á la curacion de algunas enfermedades, y muy particular-

mente á la parálisis; y aunque los resultados no sean tan favorables como al principio se supuso, no dejan por eso de hacer un papel importante en medicina, y cada día se idean nuevos aparatos y medios mas perfectos para sacar partido de su influjo en la economía animal.

498. **Efectos físicos.** Los efectos físicos los dividimos en *caloríficos, luminosos, magnéticos y mecánicos.*

La chispa eléctrica es por sí sola bastante para calentar, enrojecer, fundir y aun volatizar los metales, é inflamar las sustancias combustibles; el éter, el alcohol, la pólvora, etc. La cuestion consiste en que la electricidad acumulada sea en cantidad suficiente á producir el efecto apetecido. Si entre las ramas del escitador universal se ata un alambre fino y se hace pasar por él la electricidad de una fuerte bateria lo *enrojece* y lo *funde*. Si es un hilo plateado ó dorado el metal se *volatiza* sin causar daño á la seda. Para *inflamar la pólvora* se coloca (fig. 286), entre dos puntas metálicas que hay en un vaso de madera donde salta la chispa: un poco de limaduras de hierro asegura el experimento. Con el éter se hace un experimento vistoso: se echa en un vaso metálico (fig. 287), que comunica con la máquina eléctrica y con el dedo se saca una chispa que lo *inflama*. El alcohol debe calentarse para que se inflame mejor. Nada de extraño tendria que comportándose la chispa eléctrica de la propia manera que un origen elevado de calor, se creyese en un aumento de temperatura por la aplicacion de las chispas á la bola de un termómetro, y sin embargo no sucede así; la chispa no lleva el calor como consecuencia de su temperatura, lo que lleva es la facultad de escitar en el éter las vibraciones que lo producen.

499. **Efectos luminosos.** Los efectos luminosos no son menos curiosos y sorprendentes que los caloríficos; desde luego llama la atencion la brillantez de la chispa, que tiene un resplandor comparable con la del mismo sol. Para estudiar la luz eléctrica en el vacío, se hace uso del llamado *globo ó huevo eléctrico* (fig. 288), que es un elipsoide de vidrio, con una rosea en la parte inferior y su llave correspondiente para atornillarle á la máquina neumática, y una llave que impide ó deja entrar al aire; lo atraviesan dos varillas metálicas que terminan en esferas, para que entre ellas salte la chispa.

Hecho el vacío, si una de las varillas toca á la máquina eléctrica y el pié del aparato comunica con el suelo, una luz brillante llena todo el globo, mas si se abre la llave y entra el aire, la luz pierde mucho parte de su volúmen y aumenta de intensidad; la reduccion de volúmen y la brillantez de la luz siguen la ley de la elasticidad del medio en donde se produce. Habiendo luz en el vacío de la máquina neumática y en la cámara barométrica, bien podemos asegurar que no viene de la compresion del aire ni de los gases, y sí de la agitacion comunicada al éter por la union de las dos electricidades.

El aspecto y color de la luz cambian con el signo de la electricidad y con los gases ó vapores donde se produce. La electricidad *negativa* no dá mas que un *punto brillante*, al paso que la *positiva* presenta la forma de un *dardo luminoso* muy perceptible y capaz de servir para reconocerla.

500. **Cuadros y tubos fulminantes.** En la gran velocidad con que se mueve la electricidad libre, y en la duracion de la sensacion de la luz en nuestros ojos, están fundados los *tubos*, *cuadros* y *botellas fulminantes*, los *cuadros resplandecientes*, y otros aparatos semejantes.

El *tubo fulminante* (fig. 289), es un cilindro de cristal que tiene sobre su superficie enroscada una línea de rombos metálicos separados por los ángulos de una pequeña distancia; al tocar con él la máquina eléctrica teniendo en la mano el extremo opuesto, dibuja la chispa una espiral de fuego visible en la oscuridad.

El *cuadro resplandeciente* (fig. 290), está compuesto de tiras estrechas de papel de estaño pegadas al cristal AB, y de las cuales se sacan con un cortaplumas pequeñas porciones de modo que formen el dibujo de un *pájaro*, de un *guerrero*, ó de un *ángel*. Haciendo pasar la electricidad de la máquina eléctrica, la chispa salta á la vez en todas ellas y hace visible en la oscuridad el diseño.

501. **Efectos magnéticos.** En cuanto á los efectos magnéticos nos contentaremos ahora con decir que la chispa imanta el hierro dulce, desimanta los imanes y cambia algunas veces sus polos.

502. **Efectos mecánicos.** Cuando los cuerpos que la electricidad atraviesa son malos conductores, los rompe ó los transporta

á cierta distancia. El vidrio es agujereado y partido por la electricidad de nuestras baterías, y la madera seca también, si pasa perpendicularmente á la dirección de sus fibras. Todas estas esperiencias pueden hacerse con el escitador universal. Si se hace uso de una tarjeta ó de un naípe, el orificio que hace la chispa presenta filamentos por ambos lados, lo que prueba que la electricidad no vá de una punta á la otra, sino que *sale* del naípe en *ambos sentidos*.

Termómetro eléctrico de Minnersley, (fig. 291). Está compuesto de un tubo de vidrio con dos brazos comunicantes de diámetro diferente; por el centro del mas ancho pasan dos varillas de metal, terminadas por esferitas, que se aproximan la una á la otra; en el mas ancho se echa agua hasta que su nivel suba cerca de la esfera inferior; haciendo saltar la chispa eléctrica entre las dos esferas metálicas, el agua sufre un choque que la eleva en el brazo menor. Esta sacudida se ha mirado como una dilatacion del aire del primer tubo, y de aqui el nombre del aparato; pero si hubiese semejante dilatacion por la elevacion de temperatura, el descenso no sería tan repentino como la subida, sino se que verificaria gradualmente por la pérdida de calor ó por el enfriamiento del gas, cosa que no tiene lugar.

505. Efectos químicos. Pistoleta. Los fenómenos químicos son todos aquellos que dán por resultado *cueros nuevos*, ya sea favoreciendo ó destruyendo la union de sus elementos constitutivos. La (fig. 292) representa *el pistoleta de Volta*. Es un frasco de hojalata atravesado por una varilla metálica terminada por dentro en punta cerca de la pared, y por fuera en un boton aislado con la cre. Lleno de la mezcla llamada *detonante*, compuesta de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, y cerrado con un corcho, al aproximarlo con la mano á la máquina eléctrica, salta la chispa, inflama la mezcla y el vapor del agua formada lanza con tanta fuerza el tapon que hace un ruido como una pistola. El ruido producido es por la súbita entrada del aire á ocupar el vacío, pues tomando el pistoleta de vidrio (fig. 293), y cerrándolo con un tornillo de metal, se vé la luz, prueba de la formacion del vapor de agua sin ruido alguno. Los pistoletes de Volta se llenan en la cátedra volviéndolos boca á bajo sobre un tubo por donde salga el hidrógeno desprendido

de un pequeño matraz, donde hay pedacitos de zinc, agua y ácido sulfúrico.

La recomposicion de la electricidad de las nubes en el aire húmedo, hace que se combinen el oxígeno y el azoe para formar el ácido nítrico, y por el estilo hay otros muchos casos que sería molesto señalar. Otras veces destruye las combinaciones ya formadas: el amoniaco, el hidrógeno carbonado y el fosforado se descomponen por el paso de la electricidad, y si la corriente tuviéra mucha tension, llegaría á descomponer el agua, y las sales, segun lo hacen ver las experiencias de Wallaston. La chispa eléctrica comunica al oxígeno puro cierto olor particular, y propiedades químicas nuevas, por lo que se le llama *ozona*.

LECCION LXXXVI.

Orígenes de electricidad.—Presion; experiencias de Libes y de Haüy, electrómetro; papel de la conductibilidad de la velocidad de separacion y de la elasticidad.—Electricidad por el calor; propiedades de la turmalina.—Electricidad de las acciones químicas; idem de la evaporacion; idem de la vegetacion.

504. **Diferentes medios de electrizar.** Puede decirse que todo cambio operado en la agregacion molecular, ó en la constitucion de los cuerpos, los *electriza*. Las *acciones mecánicas, la elevacion de temperatura, la evaporacion, las reacciones químicas y las funciones vitales, descomponen el fluido eléctrico.*

505. **Acciones mecánicas.** Ya hemos visto que con el rozamiento, que es una de ellas, se electrizan todos los cuerpos; examinemos otras.

506. **Presion.** Comprimiendo, segun lo hizo Libes, un disco metálico aislado por un mango de vidrio contra un trozo de tafetan engomado, los dos cuerpos se electrizan, negativamente el metal y positivamente el tafetan. La electricidad desenvuelta no es debida al rozamiento, porque en este caso toma el disco metálico el fluido positivo y el tafetan el negativo. Haüy descubrió, que un cristal de espato de Islandia se electriza *positivamente* por una ligera presion entre los dedos; y construyó el *electrómetro* que lleva su nombre.

Compónese (fig. 294), de una barrita de vidrio, móvil sobre un pié vertical, que tiene en un extremo un pequeño cristal de espato de Islandia, y en el otro un boton para hacerle equilibrio. Electrizado el cristal positivamente por la presion, y acercándole otro cuerpo electrizado se conocerá la especie de su electricidad, segun que obré por atraccion ó por repulsion.

Becquerel ha obtenido de gran número de cuerpos iguales resultados. Toma para ello *discos aislados*, comprime unos con otros, y los acerca despues á los electrómetros: de esta manera llegó á saber que las circunstancias físicas mas influyentes son *la conductibilidad, la elasticidad y la temperatura*. Los cuerpos conservan por mas tiempo la electricidad de la presion, á medida que son peores conductores, y por eso el espato de Islandia, el topacio, las resinas, etc., adquieren una tension bastante marcada con la primera presion, mientras que los metales, despues de reiteradas veces, solo dán débiles señales de flúido libre, y aun estas concluirian para una conductibilidad perfecta. El flúido descompuesto *sigue la ley de la presion y de la velocidad con que los discos se separen*. Siendo la presion la fuerza que mantiene separadas las dos electricidades, si disminuye vuelven á recomponerse, y si la velocidad de separacion fuese nula, lo harian por completo en los buenos conductores, y estarian mas ó menos cerca de verificarlo en los de mas imperfecta conductibilidad, reteniendo en todos los casos una parte del flúido descompuesto en relacion á la presion que acompaÑe al último contacto.

La influencia de la *elasticidad* se conoce en que comprimiendo con un disco metálico ciertos cuerpos, frutas verdes y secas, por ejemplo, la electricidad desenvuelta es mayor en un caso que en otro. El *calórico* ayuda en ciertos casos el desenvolvimiento de la electricidad por la presion, y en otros altera su signo. Dos discos del mismo metal que no se electrizan por la presion si tienen igual temperatura, pasan al estado eléctrico calentando uno de ellos.

La esfoliacion electriza los cuerpos; separando con pinzas aisladas laminitas de mica, y de otras sustancias cristalizadas, aparecen electrizados. La *pulverizacion* de los malos conductores, ya sea con mortero ó lima, como son el azúcar y el azufre, descompone su flúido eléctrico, y las *vibraciones* dán idéntico resultado. Por eso se

admite que la compresion debida al choque de grandes masas de hielo que las hace luminosas, la *presion* que dá chispas en los cuerpos duros, y que la inflamacion de la yesca en el eslabon neumático, y muchos casos de fosforescencia no son mas que resultados de la union de las dos electricidades descompuestas.

507. Electricidad por el calor. El calórico obra directamente sobre los cuerpos electrizándolos al dilatarlos, pero es en las sustancias cristalizadas y sobre todo en la *turmalina*, donde hay fenómenos mas notables bajo este punto de vista.

Calentado con una lámpara de alcohol el fondo metálico de un cilindro de vidrio (fig. 295), y suspendiendo en el interior un cristal de turmalina, con un ligero péndulo eléctrico se llega á los resultados siguientes: 1.º Para electrizar las turmalinas es menester variar su temperatura de 10 á 150°; y aun se encuentran algunas que no se electrizan, y otras que si lo hacen solo es por cambios grandes y repentinos de calor; siendo la temperatura estacionaria no hay electricidad. Las que mejor se electrizan son las mas gruesas y trasparentes. 2.º La electricidad desenvuelta en las turmalinas, presenta la particularidad que los trozos en que se dividen, son electrizables por el calor hasta en las particulitas mas imperceptibles, y se nota en ellos dos polos como en el cristal entero. 3.º La electricidad de las turmalinas no se distribuye con igualdad; crece del medio á los extremos; es decir, que hay como en los imanes *una seccion neutra y dos polos de nombre contrario*. La electricidad de los polos no se estiende por los buenos conductores puestos en su contacto; se conduce como un verdadero iman eléctrico. 4.º Los polos de las turmalinas conservan su signo mientras la temperatura aumenta, pero principiando á bajar hay un cambio en ellos; el positivo se vuelve negativo y el negativo positivo. El que se electriza positivamente cuando aumenta el calor se llama polo *homólogo*, y *antilogo* el de la negativa. Lo que llama mas la atencion es, que manteniendo un extremo á una temperatura constante, no hay señales sino de un solo flúido, que es el desenvuelto en el extremo opuesto. Este extremo es alternativamente positivo ó negativo, segun la marcha de la temperatura: ofreciendo un ejemplo del desenvolvimiento de una sola de las electricidades que apoya la hipótesis de Franklin.

Hay además de la turmalina, otras sustancias que tambien se electrizan por la influencia del calor. El espató de Islandia, el diamante, el azufre, la esmeralda, el cuarzo, y en general todos aquellos que en sus modificaciones cristalinas no siguen las leyes de simetria, presentan su polaridad eléctrica.

La fosforescencia del fosfato de varita en las ascuas, y la del diamante por su esposicion á los rayos del sol, pueden esplicarse por la descomposicion y recomposicion del fluido eléctrico por el calor.

508. Electricidad debida á las acciones químicas. Para demostrar que las acciones químicas son un manantial de electricidad libre se hace uso del electrómetro condensador (fig. 296). Póngase el platillo inferior en comunicacion con el suelo, y con el superior una cápsula de platino; prodúzcanse en ella toda clase de acciones y reacciones químicas, con los óxidos, ácidos y sales; suprimanse despues dichas comunicaciones; levántese el platillo superior y los péndulos quedarán electrizados.

La combustion descompone el fluido eléctrico en los cuerpos en que tiene lugar. Para demostrar la del oxígeno con el carbono, que es la mas general, se dirige la llama de un carbon encendido y comunicando con el suelo contra una lámina de platino soldada al platillo inferior del electrómetro condensador (fig. 297), cuyo platillo superior se toca con el dedo; al levantarlo despues los péndulos se separan.

Electricidad de la evaporacion. La evaporacion es un manantial continuo y abundante de electricidad. Se hacen las demostraciones echando líquidos en una cápsula *m*, á esta ó á la otra temperatura, que se une á un platillo del electrómetro condensador, haciendo comunicar el otro platillo con la tierra tocándole con el dedo (fig. 296); ó bien se dirige el vapor que de ella se desprende sobre cualquiera de los platillos, sin despreciar nunca las comunicaciones correspondientes con el depósito comun. De aqui resulta que el vapor del agua pura no se electriza; que el de las *disoluciones alcalinas se electriza negativamente*, y que toma, por el contrario, *la electricidad positiva el de las aguas con sales ó ácidos en disolucion.*

Electricidad de la vegetacion. La vegetacion perturba el equilibrio del fluido eléctrico. En la descomposicion del ácido carbónico

del aire durante el día el oxígeno se desprende electrizado negativamente, mas durante la noche la electricidad libre debe ser de signo contrario, porque es inspirado el oxígeno y espirado el ácido carbónico.

LECCION LXXXVII.

Fenómenos meteorológicos de la electricidad.—Experiencias de Franklin, Dalíbar y Richman.—Signo de la electricidad del aire.—Electricidad de las nubes.—Diferentes clases de relampagos.—Trueno.—Choque por retroceso.—Pararayos; altura y principales circunstancias de su colocación; teoría.—Granizo.—Trombas.—Auroras polares.

509. **Electricidad atmosférica.** Hasta mediados del siglo pasado solo se conocía del fenómeno imponente que dá el relámpago, el rayo y el trueno, la forma de zigzag de su luz, y que el poder era tal que derribaba los edificios mejor contruidos y mataba los animales mas robustos, que atravesaba en su movimiento.

Al americano Franklin se debe el pensamiento de atribuir estos hechos al fluido eléctrico, y la ingeniosa idea de ir á buscarlo al seno mismo de las nubes. Con este objeto, echó al aire una cometa armada de puntas metálicas y sujeta por un hilo de cáñamo. Las primeras nubes que pasaron por la cometa no dieron señal alguna de fluido libre, pero habiendo sobrevenido una ligera lluvia, el hilo se hizo mejor conductor y la electricidad salvó de un salto toda su longitud. Las pequeñas hebritas ó filamentos del cáñamo huian los unos de los otros como los panes de oro de los electróscopos electrizados, y acercando los nudillos de los dedos á la cuerda, saltaban chispas como si fuera del conductor de la máquina eléctrica. De esta manera consiguió el genio de Franklin hacer descender del cielo la electricidad misma, para interrogarla por su origen y sorprender el secreto de su existencia.

Casi al propio tiempo hacían iguales experiencias en Europa, Rómas, Dalíbar y el profesor Richman. El primero entrelazó con la cuerda de una cometa de grandes dimensiones, un hilo metálico, á fin de hacer mas perfecta su conductibilidad, y la lanzó hácia las nubes que por su aspecto parecían estar electrizadas. Los resultados confirmaron plenamente sus deseos; el estado elétrico mostróse tan

bien que sintió en todo su cuerpo las señales de la electricidad libre, y habiéndole parecido prudente sujetar la cuerda al suelo y alejarse de aquel sitio, vió alrededor de un tubo metálico que pendia de la cuerda, ser atraídas y repelidas las pajas del suelo como la danza eléctrica y saltar las chispas de algunos piés de longitud, cuyo ruido era comparable con el de un fuerte pistoletazo. Habia, además, el olor particular que acompaña las descargas eléctricas.

Dalibar obtuvo de una barra de hierro aislada, de unos doce metros de altura, despues del paso de nubes tempestuosas, bastante electricidad libre para cargar los electrómetros y los condensadores. El desgraciado Richman pereció en San Petersburgo en el acto de aproximarse á una barra electrizada.

510. Signo de electricidad atmosférica. Admitido que el rayo y el trueno son efectos en grande del fluido eléctrico, réstanos conocer la electricidad que reina en la atmósfera.

Se usan con este objeto electróscopos de una larga varilla metálica terminada en punta, ó con una bugía encendida en vez de la varilla, porque el aire caliente y dilatado es mejor conductor que el aire frio; lo que esplica la costumbre de los Indios de encender hogueras para conjurar las tempestades. Conviene en este caso interponer un tubo con agua destilada entre la luz y el electróscopo, que impide la trasmision de la electricidad de la combustion sin perjudicar la del fluido libre de la atmósfera.

Con dichos aparatos ó con otros por el estilo, se llega á las siguientes conclusiones. 1.^a La electricidad de la atmósfera es generalmente libre y positiva, sin que tengan marcada influencia la direccion ni la velocidad de los vientos; pero la presencia de las nubes muda su intensidad y su signo. 2.^a La electricidad aumenta con la altura de la atmósfera á que se observe; es mayor en las montañas que en los valles, en los campos que en las poblaciones, y en el invierno que en el verano. 3.^a El signo de la electricidad suele variar del dia á la noche, y muy principalmente en los bosques, y toma bajo la influencia del sol dos máximos y dos mínimos, dependientes, acaso, del vapor que hay en la atmósfera.

La causa de la electricidad del aire se comprende bien; porque la frotacion de los vientos contra la tierra y unos con otros; la com-

bustion, la vegetacion y sobre todo la evaporacion la suministran el flúido eléctrico en muchísima abundancia, y por regla general positivo, cargándose la tierra del negativo en igual cantidad, si bien espuesto á los muchos cambios de las multiplicadas combinaciones que en ella acontecen.

511. Electricidad de las nubes. La acumulacion del flúido eléctrico en las nubes es una consecuencia de su formacion. Condensado y concentrado el vapor por las causas ya esplicadas (524), la electricidad sigue al parecer la propia ley; quiere decir, que se acumula y condensa tambien, por mas que su disposicion en las nubes deba ser otra que en las máquinas eléctricas. Pero hemos dicho que el signo eléctrico de las nubes no es el mismo y esto requiere explicacion. Si una nube comunica con la tierra por árboles, montañas, etc., y está cerca de otra nube electrizada positivamente, *se cargará por influencia de flúido negativo*; flúido que conservará si una corriente de aire la desvia de aquel sitio aislándola en la atmósfera. La electricidad de las nubes explica perfectamente su estabilidad cerca de las montañas y hasta su marcada tendencia en dirigirse hácia ellas; porque descomponiendo á distancia el flúido neutro de la tierra, atraen sobre la superficie el de nombre contrario, el cual reobrando sobre el de las nubes, las mantiene fijas y las mueve con su fuerza á que tomen dicha posicion.

512. Relámpago. Esplicada la formacion de las nubes eléctricas, cuyo aspecto *es tener el color ceniciento oscuro y los bordes muy desgarrados*, se deja entender que el *relámpago* es la chispa eléctrica de su descarga; la recomposicion de las electricidades de dos ó mas nubes de signo contrario. Cuando la chispa no brilla entre las nubes, sino que salta entre alguna nube y la tierra, se dice ordinariamente que *cae un rayo*, ó una *centella*, segun la exhalacion es grande ó pequeña. El relámpago, el rayo, la centella, todo es lo mismo, la chispa eléctrica. Los rayos y centellas no caen del cielo á la tierra, porque no puede caer una cosa imponderada, y con la propia razon diriamos que cae la luz del sol. La luz eléctrica se propaga de una á otra nube y de las nubes á la tierra, y á esta propagacion de arriba abajo es á lo que se llama ordinariamente caer. Algunas veces, sin embargo, parece que la luz parte de la tierra á

las nubes y entonces las *rayos son ascendentes*. Todavía hay en la atmósfera en tiempo de tempestad ciertas luces aisladas conocidas con el nombre de *globos fulminantes*, de *rayo globular*, ó de *trueno en bola*, que se disipan con detonacion; este fenómeno no se explica bien; puede ser un efecto del rayo, ó materia ponderable muy electrizada. Citanse además *relámpagos en días serenos*, mirados como presagios de buen tiempo, y que no dejan oír ruido alguno. Puede suceder que dicha luz proceda de irradiaciones de nubes aisladas y muy cargadas de electricidad, ó que el flúido del aire se disipe hácia las regiones elevadas de la atmósfera, ó bien de que el trueno se estinga antes de llegar á nosotros por su mucha distancia.

513. **Trueno.** Llámase así el ruido que produce la recomposicion del flúido eléctrico. El trueno no procede de un solo golpe seco por punto general, sino de la reunion de otros muchos de diferente intensidad segun el espesor de las nubes, que van llegando al oído antes que los primeros se estingan; la luz como mas veloz nos dá parecido resultado.

514. **Choque por retroceso.** Algunas veces mueren los animales en los campos sin que el rayo haya llegado hasta ellos, y esto llama aun mas la atencion que la herida directa. Para explicarlo, supongamos una nube muy baja y fuertemente electrizada (fig. 298), para que descomponga el flúido de todos los cuerpos de la superficie de la tierra, aglomerando en ellos el flúido contrario y repeliendo á cierta distancia el de la misma denominacion. Si en semejante estado la nube se descarga repentinamente con otra nube ó con una montaña, hácia la cual camine, los flúidos separados por su influencia se recomponen con tanta velocidad, á través de los cuerpos electrizados, que causan en ellos las mismas sacudidas que la chispa directa, es decir, que mata los animales.

515. **Pararayos.** Conocidos los peligros que acompañan á las nubes eléctricas, lo imponente y siniestro de su aspecto y los estragos del rayo, se deduce la importancia de ponernos al abrigo de ellos. Al genio de Franklin, que inventó los pararayos, es deudora la humanidad de este servicio. Llámanse *pararayos grandes barras metálicas terminadas en punta*, puestas verticalmente sobre los edificios, y comunicando con el suelo. La teoría es como sigue. Cuando las

nubes electrizadas se acercan hasta el punto que el pararrayos entra en la esfera de su actividad, descomponen por influencia su fluido natural, rechazan á la tierra el del mismo nombre y atraen el de contraria denominacion, el que, aglomerándose en abundancia hácia la punta de la barra, vence la resistencia del aire, y sale en forma de surtidor á combinarse con el de las nubes y neutralizar sus efectos, volviéndolas al estado natural. Para que los pararrayos den buenos resultados necesitan: 1.º Comunicar con la tierra por medio de cuerpos buenos conductores: cadenas metálicas que se amoldan fácilmente á las inflexiones de los edificios, sin ninguna interrupcion, con el fin de evitar el salto de la chispa y los efectos consiguientes (496). 2.º Terminar en punta, con lo cual la electricidad sale con mayor facilidad á combinarse con la de las nubes. 3.º Tener el suficiente espesor para que el rayo no los funda.

Como el hierro se oxida con la humedad del aire y la punta desaparecería pronto, se arman los pararrayos de una punta de platino, metal que resiste á las acciones atmosféricas, y se sujeta por medio de tornillos. Su altura debe de estar tambien en relacion de la estension del establecimiento que se vaya á resguardar, y aunque la ciencia no dice cuál sea á punto fijo, la esperiencia de cerca de un siglo enseña que los *pararrayos protegen un circuito trazado con un rádio doble de su altura*. Si el edificio es grande, se ponen dos ó mas pararrayos, y se les dá un conductor comun, uniéndolos de dos en dos por sus bases. Las cadenas están cubiertas de un barniz impermeable, y en el fondo del pozo á donde van á parar se les hace concluir en algunos ramales mas, rodeados de carbon calcinado que las preserva de la humedad, y es buen conductor. Las partes metálicas del edificio conviene que comuniquen con los conductores, y que los aleros de los tejados hagan lo propio, y hasta que tengan puntas metálicas si están muy altos, por si acaso vienen nubes muy bajas.

516. **Granizo.** En tiempo de tempestades cae de la atmósfera el agua congelada en forma esferoidal, en tal abundancia y produce tales estragos que con razon se le llama la metralla del cielo. Estos glóbulos, que varían de tamaño y de forma de una vez á otra, *caen antes y durante la tempestad*, pero nunca *despues*; la duracion no escede en un mismo sitio de algunos minutos y la estension que

abraza es siempre menor que la de las nubes; despues que cesa la caída del granizo la tempestad se disipa; es un signo caracterisco de la tempestad eléctrica, el descenso rápido de temperatura; el frio. El granizo cae en el verano á las horas de mas calor, y durante el dia en las demás estaciones, excepto en las altas horas de la noche ó por la mañana muy temprano que es rarísimo.

La esplicacion del granizo es difícil. Volta suponía dos nubes cargadas de flúidos contrarios que atraían y repelían recíprocamente los granizos electrizados por la otra, como en el experimento de este nombre (477), y el aumento de volúmen tendria lugar por la congelacion del agua que encontraban á su paso, hasta que el peso les hiciera caer. Los granizos se formarían por una evaporacion abundante que causaria la absorcion completa de las rayos del sol; el choque de los granizos al caer y subir esplicaba el *ruido* que se oye antes de *granizar*. La evaporacion que Volta supone no es la consecuencia de la absorcion de los rayos caloríficos del sol, porque cae el granizo algunas veces despues de su ocultacion bajo el horizonte.

Lecoq supone que dos capas de nubes son necesarias; la que contiene los núcleos de los granizos con gran velocidad mas *baja* y otra que la sotendria mas *alta*. Entrando la nube inferior en regiones húmedas y calientes los granizos condensarian el vapor con aumento de volúmen. Ni estas ni otras hipótesis satisfacen por completo.

Paragranizos. Se ha pretendido preservar los campos del granizo descargando las nubes por un medio parecido al de los pararayos, sin tener en cuenta que cuando no lo consiguen los árboles de un bosque no sería cosa tan fácil; además de que las nubes van á descargar casi siempre donde no se han formado.

517. **Trombas.** Las trombas consisten en columnas de vapor contorneadas en hélice, *ascendentes* ó *descendentes* segun que van de la tierra á las nubes ó vice versa, y que tienen dos movimientos, uno de rotacion y otro de traslacion mas lento. Las hay *terrestres* y *marinas*, y ejercen una especie de absorcion que levantan en el aire y trasportan despues á mucha distancia, los objetos que encuentran á su paso; su fuerza es enorme. Por las trombas se explica la lluvia de arena, de peces, sapos y de varios otros objetos procedentes de parajes mas ó menos lejanos.

§18. **Auroras polares.** Llámanse *auroras boreales* ó *australes* á ciertos fenómenos brillantes de luz que aparecen en estas regiones. Su aspecto es magáifico y muy distinto de una vez á otra. Se componen de un arco luminoso en la direccion del meridiano magnético, sostenido al parecer por dos columnas de fuego y de multitud de deslumbradores dardos de luz que iluminan la atmósfera. La aguja imantada oscila con un día de anticipacion al meteoro y las lineas telegráficas se interrumpen mientras dura, lo que justifica el origen eléctrico y magnético que se les supone. Una corriente de flúido positivo de las altas regiones ecuatoriales dirigiéndose á los polos, á unirse con el negativo de la tierra, por el intermedio de las particulas de hielo que hay en el aire, sería segun de la Rive la causa de la *tempestad eléctrica*.

LECCION LXXXVIII.

GALBANISMO.—*Experiencias de Galvani sobre la electricidad del contacto; experiencias y explicacion de Volta.*—*Teoria de la electricidad del contacto; pilas.*—*Pila de columna, tension de las pilas y medio de medirla; acepcion de las palabras corriente, tension é intensidad.*—*Pila de artesa.*—*Idem de Wallaston.*

§19. **Galbanismo.** Hallándose Galvani, profesor de anatomia en Bolonia, ocupado en algunos trabajos de diseccion, observó, en 1787, que una rana recientemente preparada, experimentaba grandes conmociones cuando un arco metálico establecia la comunicacion entre los *nervios lumbares* y los *músculos de las zancas*. Dedicado Galvani desde entonces al estudio de tan sorprendente fenómeno, variándolo y reproduciéndolo de mil maneras diversas creyó poder concluir de sus experiencias, que las connecciones observadas eran debidas á un flúido *eléctrico propio de los nervios*, el cual dirigiéndose por los arcos conductores sobre los músculos, causaba en ellos las mismas contracciones que la electricidad *ordinaria*. La rana desempeñaba en su sentir un papel análogo al de la botella de Leyden, cuyos músculos y nervios harian de *armaduras*. Admitida la hipótesis de Galvani, se dió el nombre de *Galbanismo* al flúido que él acababa de descubrir; nombre que todavia se conserva para la electricidad del contacto.

Entre los muchos sabios que con entusiasmo se dedicaron á buscar el secreto origen, y la esplicacion de esta fuerza nueva, descuellan el profesor de física en Pavía, Volta. Analizando sagaz los experimentos de Galvani, no tardó en separarse de su esplicacion y fundar nueva escuela. Apoyábase para ello en que las comunicaciones no eran violentas mas que en el caso de hacer el arco buen conductor de dos metales heterogéneos; que se debilitaban mucho con el de un solo metal; que desaparecian por completo con los arcos de cuerpos no metálicos, aunque fuesen muy buenos conductores, y por último que habia contracciones al abrir el circuito. De aqui concluía Volta que el fluido no estaba en los nervios de la rana, porque de ser así circularia por los cuerpos buenos conductores, fuesen ó no metálicos, sin preferir los arcos dobles á los sencillos; y que el fluido eléctrico de donde salia era del *contacto* de los dos metales, ó en general *del de dos sustancias heterogéneas*.

520. Las esperiencias con que Volta apoyaba su teoria del contacto son las siguientes. Tocando el platillo inferior de un electrómetro condensador de cobre con una lámina de zinc, que se tenga en la mano, y estableciendo la comunicacion del superior con la tierra, apoyando en él un dedo mojado, y suprimidas estas comunicaciones, al levantar el platillo superior los péndulos se desvian con el fluido eléctrico desenvuelto. Repitiendo lo mismo con otros metales siempre aparece electrizado, si bien la intensidad y el signo cambian con ellos, de donde concluyó como tesis general, que el *contacto de dos metales heterogéneos es un origen de electricidad*. Los cuerpos que dan mas electricidad libre son el zinc y el cobre, cargándose el primero de la *positiva* y el segundo de la *negativa*.

La teoria de Volta no está al abrigo de fuertes objeciones con que intentan destruirla los partidarios de las acciones químicas. Con electrómetros condensadores de oro, ó de metales difícilmente oxidables, y en algunas circunstancias hábilmente elegidas para evitar toda reaccion química, el contacto no dá señales de turbar el equilibrio del fluido eléctrico, pero en cambio, hay otras en que se desarrolla la electricidad sin que sea posible atribuirla á dichas causas. La cuestion se mantiene en pié, y acaso sea porque el contacto descomponga tambien la electricidad aunque no lo haga con la intensi-

dad que las acciones químicas, sobre todo las de los ácidos sobre ciertos metales.

521. **Teoría de la electricidad del contacto.** Con el fin de explicar los hechos que nos ocupan, supuso Volta que en el contacto de los metales nacia una fuerza llamada por él *electromotriz*, causa de la descomposicion del fluido eléctrico. *Esta fuerza transporta la electricidad positiva á uno de los metales, y la negativa al otro, é impide su recomposicion*; estando pronta á obrar siempre que la tension de los dos cuerpos sufra algun cambio, cuyo equilibrio restablece instantáneamente. *La intensidad de la fuerza electromotriz es independiente de la magnitud de los cuerpos y de la estension del contacto, pero se subordina á su naturaleza.* Segun lo dicho, puestas en contacto dos láminas, una de cobre y otra de zinc, la fuerza electromotriz descompone su fluido natural, dá al cobre el negativo y al zinc el positivo; y siendo igual su tension, si $-t$ es la del cobre, y $+t$ la del zinc, su diferencia algebraica es $+2t$.

Cuando los cuerpos son iguales, parece natural que así suceda, mas si la superficie de cualquiera de ellos es dos, tres ó n veces mayor ó menor, es menester admitir con Volta, *que la diferencia de las tensiones permanece constante*, por mas que la cantidad absoluta de electricidad sea diferente en ambos. Y si un cuerpo se pone en contacto de una máquina eléctrica, la electricidad circulará por los dos como si no existiera tal fuerza electromotriz, sin que varíe por ello la diferencia de la tension; y por fin, que si comunica con el depósito comun, perderá su electricidad tomando el otro doble tension de la que tenia, para que la diferencia sea constante.

Supongamos ahora que comunicando el cobre con la tierra, ponemos sobre el zinc una rodaja de paño humedecida con agua acidulada (fig. 299), y que la diferencia $2t$ la representamos por 1. Claro está que el paño participará de una parte de la electricidad positiva del zinc; mas en lugar de disminuir la tension eléctrica, se desenvuelve en el contacto mas electricidad, la negativa pasa del cobre á la tierra, y la positiva al zinc y al paño, hasta tanto que los dos, y todos los demás con los cuales comuniquen, tenga una tension como $+1$. Añadiendo un disco de cobre al de paño, hay de nuevo las mismas consideraciones: el cobre toma parte de la electricidad posi-

tiva que reemplaza el contacto, pasando la negativa al depósito común; mas al agregar el otro disco de zinc sucede que por estar en comunicacion de cuerpos buenos conductores electrizados, toma su electricidad y todos ellos, es decir, el primer zinc, el paño el segundo cobre y el segundo zinc, adquieren por este concepto una tension como $+1$; pero el segundo contacto desenvuelve el fluido eléctrico, dá al zinc una tension igual á $+1$, que con $+1$ que tenia hacen $+2$; el cobre con -1 que adquiere y $+1$ que posee debe pasar al estado natural, pero hallándose en comunicacion de cuerpos buenos conductores toma su tension $+1$, cuidando el primer contacto de producir la descomposicion que para ello es necesaria; luego la tension del primer zinc es $+1$, y la del segundo $+2$; la del primer cobre cero, y la del segundo $+1$.

Poniendo rodajas de paño húmedas y discos de cobre y de zinc por su orden, hallariamos, sin apartarnos de la esplicacion que precede, que la tension crece en la propia relacion, y para el 3.°, 4.°, 5.°... 10°, 100° zinc, la tension es como 3, 4, 5... 10, 100 veces la del primero, y la del cobre 2, 3, 4... 9, 99 veces la del segundo.

522. **Pilas.** Insensiblemente hemos construido y explicado el primer aparato que se ha empleado para acumular la electricidad del contacto. Estos aparatos se llaman *pilas*, y desempeñan en la electricidad *dinámica* el mismo papel que las máquinas eléctricas en la electricidad *estática*. Los dos cuerpos metálicos unidos, zinc y cobre, y el cuerpo buen conductor, rodaja de paño humedecida, constituyen un todo llamado *par ó elemento de la pila*.

523. **Pila de columna.** La pila de columna es la reunion de muchos pares ó elementos en el orden que acabamos de explicar; es decir, *cobre, zinc y rodaja de paño humedecida con agua acidulada*, cobre, zinc y rodaja de paño, etc. Se ponen entre tres columnas de vidrio (fig. 280), metidas en un pedestal de madera y sujetos por la parte superior por un capitel de la misma sustancia. *Los extremos de la pila se llaman polos*; y como el zinc toma la electricidad positiva, ó es electro-positivo, y el cobre toma la negativa, ó es electro-negativo, se dice indistintamente *polo zinc ó polo positivo*, y *polo cobre ó polo negativo*. Los alambres que hacen comunicar los dos polos, llámense *reóforos*, y *electrodos* sus extremos.

524. **Pilas aisladas.** La pila que precede se carga de fluido positivo, y lo haria del fluido negativo si fuese el zinc, y no el cobre, el que comunicase con la tierra, ó lo que es igual, si dispusiéramos la pila en sentido inverso. Pues ahora bien, si unimos dos pilas así dispuestas, interponiendo una rodaja de paño, á partir de ella, media pila contendrá fluido positivo y la otra media fluido negativo. Estas pilas que no comunican con el suelo, y que se cargan de las dos especies de electricidad, se llaman *aisladas*.

Gradúase la carga de una pila por la tension de la electricidad acumulada en sus polos. *La tension, como hemos dicho (471), es la tendencia de la electricidad á desprenderse, ó el esfuerzo que hace para conseguirlo.* En la hipótesis de Volta, *la tension debe ser proporcional al número de los pares*, pero la esperiencia hace ver que es algo menor. *La tension en las pilas aisladas es nula en el centro y crece hácia los polos, donde llega á su máximum;* es decir, es la *mitad* que en las no aisladas de igual número de pares.

La tension de la electricidad voltáica es tan débil, que las pilas mejor construidas y de bastante número de pares no dán chispas acercando los nudillos, ni atraen los péndulos como la electricidad estática; sin embargo, puede cargarse el electrómetro condensador tocando con un reóforo el platillo superior y con el otro el platillo inferior; de esta suerte *se mide la tension*. La carga del electrómetro es pequeña, pero llega á su máximum instantáneamente con solo tocar con los hilos á sus platillos. Tambien se cargan con un solo contacto las botellas de Leyden, tocando con los reóforos sus armaduras. La carga no es por regla general suficiente para que al descargarlas se presente la chispa de un modo visible.

Haciendo comunicar los polos de las pilas por sus reóforos, ya no es dable reconocer la mas pequeña señal de tension, y sin embargo, los efectos que producen indican que están en actividad; ó lo que es lo mismo, que las dos electricidades se recomponen á todo lo largo de los hilos conductores á medida que se descomponen en las pilas, engendrando, al parecer, *corrientes* de electricidad entre los polos. La palabra *corriente* no quiere decir que las electricidades van de un polo al otro, sino el estado particular en que se encuentra componiéndose y descomponiéndose en todos los elementos de la pila, y en

todas las secciones de los hilos conductores. Sin embargo, admítase por convenio que la palabra *corriente indica el movimiento aparente de la electricidad positiva*; y en este sentido se dice, que la *corriente ó la electricidad positiva va en la pila del polo negativo al positivo, y del polo positivo al negativo en el conductor, á cerrar el circuito.*

La intensidad de las corrientes eléctricas depende de la cantidad de fluido que pasa en el mismo tiempo por una seccion de la pila ó de los réóforos; esta cantidad crece naturalmente con la estension superficial de los pares y hasta cierto punto guarda su misma relacion. De aquí el tener en las pilas dos cosas distintas: la *tension*, que sigue la *ley del número de elementos*, independientemente de su magnitud, y la *intensidad* que se subordina á la *estension superficial de los pares*. Hay que considerar además la *conductibilidad* de la pila, pues si es poco conductora tarda mucho tiempo en cargarse, y si la intensidad es débil la *tension* no varia. Por esta razon es indispensable hacer que los cuerpos interpuestos sean buenos conductores, á fin de que la pila se cargue y descargue instantáneamente. La *intensidad* se halla tanto mas favorecida cuanto que los *pares son mas estensos, en mayor número* y con cuerpos mejor conductores. La *tension* todavia es independiente de la última circunstancia.

525. **Pila de artesa.** Las pilas de columna tienen el inconveniente de que el peso de los pares prensa y seca las rodajas de paño y la corriente cesa pronto. Volta remedió estos inconvenientes con la *pila de corona*, y Cruikshank con la *horizontal* (fig. 281). Los pares están formados por planchas de cobre y de zinc soldadas entre sí, implantadas verticalmente en las caras de la caja de madera, y masticadas para evitar toda comunicacion entre los pequeños compartimentos que hay entre cada dos pares. Dos planchas de cobre metidas en las últimas celdillas con hilos de la propia sustancia, son las que establecen la comunicacion de las dos electricidades. Los compartimentos se llenan de agua con un poco de ácido sulfúrico, para poner la pila en actividad. En esta pila hay la desventaja de que cuesta mucho tiempo cargarla y no hay medio de suspender su actividad si por algun momento no se necesita.

526. **Pila de Wallaston.** En la pila de Wallaston (fig.

282), cada par se sumerge por separado en un vaso de vidrio lleno de agua acidulada, y se levantan ó se bajan todos juntos con un travesaño de madera al que están unidos. Su disposicion es fácil de entender: el primer cobre se suelda al primer zinc en *m*, toma el primero la electricidad negativa y el segundo la positiva; el segundo cobre rodea sin tocar al primer zinc, con cuyo objeto hay unos tacos de madera para unirlos y dar seguridad al aparato, y va de esta manera á soldarse en *m'* al segundo zinc; y así sucesivamente hasta el último cobre por donde pasa la electricidad positiva, constituyendo el polo de este nombre como se pinta en la figura. Las pilas de *Young* y de *Muncke* son por este estilo, pero ocupan menos lugar. En la de *hélice*, ó de *Hare*, los pares tienen mucha estension superficial y están de tal manera arrollados que se sumergen de una vez en un tonel con el agua acidulada.

527. **Baterias.** Las pilas pueden unirse entre sí formando una pila compuesta ó una *bateria*. Si la union se verifica de manera que el *polo zinc* de la primera se enlace con el *polo cobre* de la segunda, y el *polo zinc* de esta con el *cobre* de la tercera, etc., resulta una pila de doble ó triple número de pares; si los *polos positivos* comunican con los *positivos*, y los *negativos* con los *negativos*, la nueva pila formada es del mismo número de pares, pero con una estension *superficial* doble ó triple que los componentes.

LECCION LXXXIX.

Efectos de las corrientes eléctricas.—Efectos fisiológicos.—Efectos caloríficos, elevacion de temperatura é incandescencia de los alambres.—Efectos luminosos: luz eléctrica y medios de aumentar su intensidad.—Efectos magnéticos; experimento de Oerstedt.—Efectos mecánicos.—Efectos químicos; descomposicion del agua. Voltámetro; descomposicion de los demas cuerpos.—Galvanoplastia.

528. **Efectos de las corrientes.** Los fenómenos que engendran las corrientes eléctricas en los cuerpos por donde circulan, se dividen en *fisiológicos*, *físicos* y *químicos*. Los efectos *físicos* diviendense á su vez en *caloríficos*, *luminosos*, *magnéticos* y *mecánicos*.

529. **Efectos fisiológicos.** Los efectos fisiológicos se reconocen tocando con las manos mojadas, en agua acidulada, los polos de una pila en actividad; la impresion que nos causa es parecida á la de las botellas de Leyden (497); con la diferencia que en ellas es continua, porque las pilas se cargan y descargan en un solo instante. La impresion es mayor tocando con las manos dos cilindros metálicos que comuniquen con los polos. Los efectos fisiológicos están mas ligados á la tension ó al número de los pares que á la intensidad de la corriente ó á la estension superficial; una pila de 50 á 60 pares puede descargarse sin peligro de la vida, pero aumentando su número la corriente mata á los animales mas robustos.

530. **Efectos fisicos.** Los efectos fisicos son de la propia categoria, y analógos en un todo á los de la chispa eléctrica (498).

La corriente caliente, enrojece, funde y volatiliza los cuerpos que atraviesa. El platino, que es un metal muy refractario, la sálce y hasta el diamante se funden por las corrientes. Cuando se interpone entre los polos una cadena de varios metales, el menos conductor es el mas calentado, y un alambre del mismo metal se enrojece ó funde por el sitio que opone mayor resistencia al flúido eléctrico; así que, dando á los hilos una torsion, ó haciéndoles un nudo, es por estos sitios que se calientan y enrojecen, ó funden primero.

Enrojecidos los alambres inflaman la pólvora que los cubre, propiedad muy útil para dar fuego á las minas y barrenos desde un punto lejano y libre de los accidentes de las esplosiones.

Los efectos caloríficos son mas bien dependientes de la intensidad que de la tension de las pilas; por eso un par de Wallaston de gran estension superficial y con agua muy acidulada, basta para enrojecer los hilos de platino.

531. **Efectos luminosos.** La luz que se obtiene directamente de las pilas, es mucho mas débil que la de las máquinas eléctricas; menester es tomar pilas de respetable número de pares para ver saltar la chispa entre los reóforos cuando distan algunos milímetros; frotados el uno con el otro salen las chispas en mayor abundancia pero no son tampoco de gran intensidad. Por el contrario, la luz que emana de los *cuerpos enrojecidos por las corrientes eléctricas*, supera la de todas las bugías y se hace digna competi-

dora de la luz del sol. El experimento se hace con el globo eléctrico (fig. 288), solo que las varillas metálicas concluyen por unos conos de carbon de *cok* calcinado y apagado en el mercurio; al principio están en contacto, pero luego que se hace el vacío y circula la electricidad se enrojecen en el punto de union; si entonces se separan poco á poco aparece entre ellos la llama denominada *arco voltaico*, que despidе una luz deslumbradora.

Ofrece este experimento la particularidad, que hay un transporte *mecánico* de carbon, del polo positivo al negativo, por lo cual el cono del primero disminuye de volúmen abuecándose, y el segundo aumenta de longitud y de espesor. De aquí la necesidad de los *reguladores*, para mantener los carbones á una distancia conveniente, cuando el aparato ha de funcionar algunas horas. El experimento se hace en el aire ó en otro medio cualquiera, mas entonces el carbon se quema y desaparece combinado con el oxígeno.

La luz eléctrica varía de intensidad con la naturaleza y hasta con la *posicion* de los electrodos; los que dán mejor resultado son los de carbon. Las pilas de Bensen de 50 pares son ya suficientes á producir un arco voltaico de algunos milímetros, pero se aumenta notablemente con los aparatos de induccion. Las aplicaciones de la luz eléctrica son grandísimas; se emplea para sacar vistas ó copias de objetos que no alumbra el sol; el interior de algunas habitaciones por ejemplo. En el alumbrado de ciertas obras que se hacen por la noche dá excelentes resultados; debajo del agua y en las minas hace otro tanto. En la guerra ha sido utilizada para reconocer los trabajos y la posicion del enemigo. En el alumbrado público resulta mas costosa que la de gas.

532. Efectos magnéticos. Los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas son tan numerosos que constituyen uno de los ramos mas importantes de la fisica moderna. El primer experimento es debido á Oerstedt en el año de 1820. Una aguja imantada, libremente suspendida por su centro de gravedad, bajo la accion de una corriente que pasa por un hilo rectilíneo y paralelo, puesto un poco mas bajo ó mas alto que ella, deja al instante el meridiano magnético para colocarse perpendicularmente á la corriente; cesando esta, la aguja vuelve despues de las oscilaciones consiguientes á su

posición inicial. Las leyes de las desviaciones las estudiaremos en el electro-magnetismo.

533. **Efectos mecánicos.** Los efectos mecánicos consisten en el *trasporte* de moléculas materiales entre los dos polos; este transporte se hace con tanta velocidad, que ácidos y bases de muchísima afinidad, se cruzan sin tener tiempo para combinarse.

534. **Efectos químicos.** Los efectos químicos son mas numerosos y complicados con las corrientes eléctricas que con las chispas. No solo determinan en los cuerpos dos estados eléctricos de nombre contrario, muy á propósito para favorecer las combinaciones, sino que otras veces venciendo su atracción reducen los compuestos á sus elementos.

Descomposición del agua. El aparatito de la (fig. 305), llamando *voltámetro*, sirve para este fin. Se compone de un vaso cónico truncado, cuya base menor está cerrada y lacrada, y por donde pasan dos alambres de platino, para unirlos á los reóforos de una pila. Tan luego como esta union tiene lugar, hay un desprendimiento de burbujas gaseosas alrededor de dichos alambres, semejantes á pequeños surtidores; cubriéndolos con unas campanitas llenas de agua, se recogen dos gases, que resultan ser el hidrógeno y el oxígeno, en la relacion de dos volúmenes del primero por uno del segundo. Acercando una cerilla encendida, el hidrógeno detona un poquito, y si al acabar de apagarla, ó con el pábilo incandescente, se mete en la campana del oxígeno, se inflama repentinamente. Para facilitar la descomposición del agua, se acidula ligeramente con el sulfúrico, que aumenta su conductibilidad; conviene evitar el uso de ácidos que se descompongan con la corriente, pues entonces no podríamos saber de donde procedian los productos obtenidos.

El hidrógeno se dirige constantemente al polo negativo, y el oxígeno al positivo. Partiendo de este hecho experimental, se dice que el hidrógeno se carga de electricidad positiva, toda vez que es atraído por el polo negativo, y que el oxígeno se carga de la negativa, puesto que lo es por el positivo. Por consiguiente, el agua se compone de dos elementos, uno electro-negativo que es el oxígeno, y otro eléctrico-positivo que es el hidrógeno. Esto que decimos del agua, es aplicable á todos los cuerpos compuestos; al resolverse por

la corriente, una parte va al polo positivo, y la otra al polo negativo. Además, como un cuerpo dado se combina con otros muchos, es indispensable advertir que no toma en todos los compuestos la misma electricidad: en unos adquiere la positiva y en otros la negativa, y de aquí las denominaciones de *electro-positivo* ó *electro-negativo*, no tengan nada de absoluto; al decir por ejemplo que el oxígeno es mas electro-negativo que el hidrógeno, aseguramos que al descomponer su combinacion con la pila, el oxígeno se dirige al positivo, en tanto que el hidrógeno lo hace al polo negativo. Sin embargo, hay dos cuerpos, que son el oxígeno y el potasio, que nunca cambian de signo, de donde sale el llamar al primero el cuerpo *mas electro-negativo* y al segundo el *mas electro-positivo*. Todos los cuerpos simples restantes pueden ponerse entre los dos citados, por orden de su categoria eléctrica, de manera que sean electro-positivos respecto de aquellos que *estén antes*, y electro-negativos respecto de los que *estén despues*. Y para saber si un cuerpo es mas electro-positivo ó negativo que otro, hay que averiguar los polos á que se dirigen.

Con estos antecedentes pudiéramos explicar la descomposicion de los óxidos, de los ácidos y de las sales; pero como los alumnos no han estudiado la nomenclatura química, dejamos esto pendiente para mejor ocasion.

555. **Galvanoplastia.** A las descomposiciones químicas de la pila de que acabamos de hablar, es debido un brillante descubrimiento cuya influencia se ha dejado sentir bien pronto de una manera muy favorable á la industria y á las artes. Consiste este descubrimiento en que con las corrientes eléctricas se *cubren* los cuerpos de capas metálicas tan delgadas como se quiera, y tan adheridas que no es posible separarlas; se reproducen en *relieve* los moldes, por complicados y finos que sean, y aplicadas á los retratos daguerrianos y á los grabados en cobre y en acero dan parecidos resultados. El principio en que se funda no puede ser mas sencillo; haciendo pasar una corriente eléctrica por un baño que tenga en disolucion ciertas sales metálicas, produce su descomposicion, de manera que el cuerpo ó cuerpos *electro-negativos* se dirigen al polo positivo, y el metal, como mas *electro-positivo*, se deposita sobre el polo negativo, de cuyo

depósito se hacen las aplicaciones indicadas. Así es que para conseguir estos resultados, se introduce en un baño formado con una disolución salina del metal que ha de precipitarse, el molde ó el cuerpo que se quiere *galvanizar* ó cubrir de este ó del otro metal, de manera que haga de polo negativo de la pila, y se cierra el circuito desde otro punto del baño con el reóforo positivo.

Cuando los cuerpos sobre los cuales se ha de verificar el depósito son malos conductores, se les dá una ligera capa de plumbagina. De esta manera se cubre de cobre una estatua por ejemplo, se platea ó se hacen los objetos que se llaman de plata Ruolz, se dora ó se envuelven unos metales con otros que los preservan de las acciones atmosféricas y de otras causas de destrucción, con muy poco costo. La formación de los baños, las sales que conviene emplear, la naturaleza de las pilas, la intensidad de las corrientes, y en una palabra, el modo de operar en cada uno de los casos que ocurren, es ya mas bien un objeto de aplicación, sobre el cual deben consultarse las obras especiales, y hacer numerosas esperiencias antes de emprender operaciones en grande.

LECCION XC.

Electricidad debida á las acciones químicas; teoría química de la pila, límite de la carga.—Pilas de corriente constante, de Becquerel y de Daniell.—Idem de Bunsen y de Grove.

536. El desenvolvimiento de la electricidad en las pilas que hemos estudiado, ha sido mirada como procedente del contacto de dos metales heterogéneos, no desempeñando el líquido interpuesto entre los pares otro papel que el de cuerpo *buen conductor*. En el dia son tantos los hechos que deja sin explicar la teoría de Volta, que ha sido preciso recurrir á las acciones químicas.

Teoría química de la pila. Demostrado que las reacciones químicas descomponen el fluido eléctrico (508) se explica bien la carga de las pilas. Con efecto; el agua en contacto del zinc y del ácido sulfúrico se descompone: el oxígeno se une al zinc para formar óxido de zinc, el cual con el ácido sulfúrico dá sulfato de zinc que se disuelve, quedando el hidrógeno en libertad. El zinc en to-

dos estos casos, *siendo el cuerpo mas atacado*, toma la electricidad *negativa*, y el agua la *positiva*. Si pues se introduce en ella un cuerpo buen conductor no atacable, el cobre por ejemplo, la electricidad positiva circulará por él convirtiéndole en *polo positivo*; la electricidad negativa del zinc pasa por el cobre á combinarse con la positiva del par siguiente, y de esta suerte se recomponen los flúidos en los pares intermedios hasta que en la última celdilla, dando el zinc salida por el cobre á su electricidad negativa, le hace desempeñar el papel de polo negativo.

Limite de la carga. Las pilas tienen al principio su máximo de intensidad que decrece poco á poco hasta inutilizarse por completo; tres causas influyen en ello; la *primera* consiste en la recomposicion, á través de la pila, de las dos electricidades descompuestas, recomposicion tanto mayor cuanto mas vivas son las acciones quimicas y la conductibilidad del liquido; la *segunda* en que esta corriente de la pila, llevando opuesta direccion á la del hilo conductor, descompone parte del sulfato de zinc, trasporta el zinc que proviene de esta descomposicion sobre el cobre, y el oxígeno y el ácido sobre el zinc; de aquí que todas las láminas de cobre se cubran de pequeñas porciones de zinc que constituyen otros tantos pares elementales que concluyen por neutralizar el efecto de los primeros; y *tercera* la falta de ácido, que debilita las reacciones quimicas y la conductibilidad de la pila.

537. **Pilas de corriente constante.** Parte de los inconvenientes citados tienen remedio en las pilas de dos liquidos, denominadas de *corriente constante*. No se llaman así estas pilas porque su corriente sea siempre la misma, sino porque dura mucho mas tiempo que en las pilas anteriores.

538. **Pilas de Becquerel.** Estas pilas están compuestas de una *caja rectangular de cobre* (fig. 304), de un *saquillo de lona*, y de una *lámina de zinc*. Entre el cobre y el saco de lona se pone agua saturada de sulfato de cobre, y en el saco de lona el zinc y agua acidulada con el sulfúrico, ó saturada de sal comun. Establecida la comunicacion con los hilos conductores, entre el zinc y el cobre, principian las reacciones quimicas: el agua se descompone, el oxígeno con el zinc forma el óxido, que combinado con el ácido sulfúrico

dá sulfato de zinc y se disuelve; una parte del [hidrógeno se] desprende; la restante, llevada por la corriente á través del cuerpo poroso, descompone el sulfato, reduce algo del óxido, depositándose el cobre puro en las paredes de la caja, y dejando en libertad el ácido sulfúrico, que se dirige al compartimiento del zinc. Con el fin de mantener el agua saturada de sulfato de cobre por mas tiempo, se añade un espacio anular á la parte superior de la caja, donde se ponen cristales de esta sal en comunicacion con ella, por medio de unos cuantos orificios.

La pila de Daniell es casi igual á esta: un vaso de vidrio, un cilindro de cobre con el mismo espacio anular, un cilindro poroso de porcelana despulimentada, un cilindro de zinc y los mismos líquidos.

559. **Pila de Bunsen** (fig. 505). Estas pilas se componen: *de un vaso de vidrio ó de porcelana; de un cilindro de zinc abierto por ambos lados; de otro de porcelana sin baño, cerrado por la parte inferior, y de un prisma de carbon dentro de él.* Se carga echando en el *primer vaso agua con ácido sulfúrico*, que baña el zinc por ambos lados, y *ácido nítrico* donde está el carbon.

El prisma de carbon lleva en la parte superior una lámina de latón, que deja salir la electricidad y se une al zinc siguiente, hasta formar la pila, quedando libres el primer zinc y el último carbon, ó el primer carbon y el último zinc. Establecida la union, ó cerrado el circuito, el agua se descompone como siempre para dar lugar á la formacion del sulfato de zinc, en tanto que el hidrógeno dirigiéndose sobre el vaso interior reduce el ácido nítrico, formando agua, á ácido hiponítrico, y esparce vapores rutilantes muy dañosos á la economia animal. El zinc es el cuerpo *electro-negativo*, y el carbon que solo sirve como *buen conductor*, el *electro positivo*.

La pila de Grove viene á ser como la de Bunsen, con la diferencia que el carbon se reemplaza con una lámina de platino. Las baterías se hacen ó reuniendo muchos pares en una pila, ó dos ó mas pilas entre sí segun los términos indicados (527).

En las pilas de corriente constante úsase el *zinc amalgamado*, porque tiene la propiedad de no ser atacado por el agua acidulada hasta que los polos comuniquen uno con otro, y dán mas electricidad para igual pérdida de metal.

LECCION XCI.

Pilas secas de Zamboni.—Electrómetro de Bohnenberger.—Corrientes termo-eléctricas; principales propiedades.—Pilas de Nobili y su aplicación á la medida de las temperaturas.

540. **Pilas secas.** Llámanse *pilas secas* las que tienen por cuerpo buen conductor un sólido ligeramente humedecido. Las de Zamboni se construyen poniendo sobre una cartulina humedecida con agua salada ó con miel, *papel de estaño* por un lado y por el otro *bióxido de manganeso*. Reunidas por el mismo orden algunas hojas así preparadas, se toman con un sacabocados dos mil ó mas discos, se prensan bien, se cubren y sujetan con cuerpos malos conductores, y se les hace terminar á cada lado por un disco de cobre; las pilas secas son de poquisima tension, pero en cambio conservan durante años enteros su actividad. El disco de cobre que toca al bióxido de manganeso es el polo *positivo*. La carga de las pilas cambia con la temperatura y con el estado higrométrico del ambiente.

541. **Electrómetro de Bohnenberger.** Este aparato se compone de un electrómetro condensador (fig. 506), con una sola hoja de oro suspendida en medio de los polos contrarios de dos pilas verticales que hay debajo de la campana. Acercando al platillo un cuerpo electrizado, la hoja de oro es atraída por una pila y repelida por la otra, acusando el menor vestigio de fluido libre.

542. **Corrientes termo-eléctricas.** Dáse el nombre de corrientes *termo-eléctricas* á las que se engendran por la acción *inmediata del calor*. Dispuesta una aguja imantada dentro de un circuito de dos metales heterogéneos (fig. 507), *el cobre y el bismuto*, elevando la temperatura de una soldadura, nace una corriente eléctrica que va por el cobre de la soldadura caliente á la fria. Las corrientes eléctricas dependen de la naturaleza de los metales y de la diferencia entre los grados de calor de sus soldaduras.

Para conseguir corrientes eléctricas por el cambio de temperatura, no son indispensables dos metales en el circuito; uno solo basta, siempre que la conductibilidad calorífica se dificulte en cualquier parte de su longitud. Así es que, haciendo *un nudo* ó dando *una tor-*

cion á un hilo de platino, y calentándole con una lámpara, la corriente se deja sentir sobre la aguja imantada de la parte caliente hacia el nudo ó la torsion. El resultado todavia sale bien con alambres rectos, cuando no tienen la virtud de conducir el calor con uniformidad por toda su longitud.

543. **Pilas termo-eléctricas.** Estas pilas están destinadas á acumular la electricidad que descompone el calor. Entre las pilas conocidas elegiremos la de Nobili como la de mas aplicaciones. La (fig. 508) representa una parte de esta pila, compuesta de pequeñas barras de bismuto y antimonio soldadas segun un orden constante; formando un trozo de cinco pares, se le añaden otros dos por cada lado, de manera que no se interrumpa el orden, principiando con el bismuto y concluyendo con el antimonio. Estos pares se aíslan con hojas de papel barnizado, no dejándoles mas contacto que por sus soldaduras. En seguida se pone la pila en un prisma de laton dejando las soldaduras al descubierto, y haciendo comunicar dos hilos con sus extremos, para que hagan de reóforos, aparece *positivo* el que comunica con el *antimonio* y *negativo* el que lo hace con el *bismuto*. Conviene ennegrecer la pila y el prisma para favorecer la facultad absorbente, y añadir dos piezas móviles que cierren ó abran las soldaduras á la accion del calor.

Estas pilas son escesivamente sensibles, pues, en el instante que los dos órdenes de soldaduras difieren en su grado de calor, por insignificante que sea la diferencia, nace la corriente eléctrica y desvía la aguja imantada de su posicion inicial.

Lo mas importante que hay en estas desviaciones, consiste en que son, en ciertos limites, *proporcionales á las diferencias de temperatura de los dos órdenes de soldaduras*. Demuéstrase esta propiedad en que, manteniendo uno de los órdenes á una temperatura constante, y elevando gradualmente la del otro, las desviaciones de la aguja imantada, medidas como luego diremos, siguen la propia ley.

Las corrientes termo-eléctricas son incomparablemente mas débiles que las hidro-eléctricas, de las cuales se diferencian porque no atraviesan los líquidos, y porque pierden mucha parte de su intensidad al recorrer los hilos largos, circunstancia que debe tenerse en cuenta al construir el aparato de Melloni.

544. Aplicaciones. Las corrientes termo-eléctricas no solo sirven para medir la temperatura en casos ordinarios, sino que son aplicables como medio *pirométrico* y en operaciones en que no se saca partido de los termómetros. Figurémonos un pozo cenagoso y hondo, ó una cueva de entrada estrecha; arrojando con un peso una cadena de dos metales, cubierta de barniz, excepto la soldadura, se engendraria la corriente en el instante mismo que la soldadura del fondo estuviere á distinta temperatura que la que queda en nuestras manos; pues bien, metiendo esta en un baño y elevando ó bajando su temperatura hasta destruir la desviacion de la aguja imantada, en el momento de conseguirlo las dos temperaturas serian iguales y la del fondo conocida. La fusion de los metales y la variacion de su constitucion fisica, ofrecen serias dificultades al medir estas temperaturas por las propiedades que nos ocupan.

LECCION XXII.

Electro-magnetismo.—*Experimento fundamental de Oerstedt y regla de Amper.*—*Reómetro multiplicador; influencia de una corriente poligonal sobre la aguja imantada; aplicacion de otras corrientes.*—*Aparato de Melloni; su graduacion.*—*Influencia de la electricidad estática sobre los imanes.*

545. Electro-magnetismo. Entiéndese por *electro-magnetismo* la parte de la fisica que tiene por objeto el conocimiento de las acciones recíprocas que ejercen la electricidad sobre el magnetismo, y el magnetismo sobre la electricidad.

Los efectos magnéticos de las corrientes eléctricas se refieren á los imanes y á los cuerpos magnéticos.

546. Accion de las corrientes sobre los imanes. Ya hemos visto que según el experimento de Oerstedt las corrientes eléctricas obran sobre los imanes tendiendo á elevarlos perpendicularmente á su direccion. El ángulo que forman con el meridiano magnético no es el mismo en todas ocasiones; depende de la intensidad de las corrientes y de la de los imanes. Con el objeto de separar estas dos cosas y neutralizar la fuerza directiva de la tierra, se hacen agujas *astáticas*, ó *semi-astáticas* (fig. 309). Consisten las primeras

en tomar dos agujas igualmente imantadas y unir las por su centro de gravedad, con los polos vueltos en sentido contrario; de esta suerte las corrientes eléctricas obran sobre cierta cantidad de magnetismo libre independientemente de la tierra. Las segundas se diferencian de las primeras en que una de las agujas, aquella que ha de estar mas cerca de la corriente, tiene un poco mas magnetismo que la otra; lo suficiente para ser dirigidas por la tierra al meridiano magnético. Las corrientes eléctricas, fuertes ó débiles, conducen las agujas astáticas al plano perpendicular; por eso no sirven para medir su diferente intensidad; en las semi-astáticas al contrario, los *ángulos de separación son sensiblemente proporcionales á las corrientes eléctricas.*

547. **Regla de Amper.** Hasta ahora hemos hablado de la desviación de los imanes de una manera general; mas ya podemos decir que el sentido hácia donde los polos de las agujas se vuelven, depende de la situación del hilo conductor y de la dirección de la corriente. Afortunadamente una regla sencillísima de Amper reduce á un solo caso todos los que, con las circunstancias dichas, pueden acontecer. *Si el observador se imagina tendido sobre el hilo conductor, entrándole la corriente por los piés y saliéndole por la cabeza, la cara vuelta hácia la aguja, verá constantemente el polo austral á su izquierda.* De esta personificación de la corriente, se deduce con suma facilidad el sentido de su dirección en los casos que no sea conocido, y en su consecuencia la naturaleza de los polos de la pila de que provenga; porque mirando de frente la aguja y dejando á la izquierda el polo austral, los piés corresponden al polo positivo y la cabeza al negativo.

548. **Reómetro multiplicador.** Entre los aparatos que sirven para medir la intensidad de las corrientes, merece particular mención el reómetro multiplicador.

La intensidad de las corrientes no es bastante en todas ocasiones á mudar la dirección de las agujas de una manera bien perceptible, y de aquí el uso de las *circunvoluciones* del mismo circuito con la mira de aumentarlas. Sábese en efecto que una corriente poligonal *abcdef* (fig. 310), tiene mas influencia sobre la aguja imantada que la corriente rectilínea de un solo hilo, y que las partes *ab*, *bc*, *cd* y

ef, obran simultáneamente sobre el polo austral de la aguja para llevarlo al mismo lado del meridiano magnético. Por otra parte, la desviacion crece con el número de vueltas del hilo conductor, sin que por ello creamos que lo hace indefinidamente, pues pasado cierto limite mas bien que útiles son perjudiciales.

Todas estas propiedades se aprovechan en el reómetro multiplicador del modo siguiente: una aguja semi-astática (fig. 311), está suspendida de su centro de gravedad por un hilo de seda sin torsion; la menos intensa corresponde al centro de un círculo horizontal donde marca las separaciones del meridiano magnético; la graduacion es en ambos sentidos para conocer el de las corrientes; la de mayor intensidad está dentro de un *prisma rectangular* de madera al que se arrolla paralelamente á sus aristas un hilo de cobre que dá 400 ó 500 vueltas, dejando libres los extremos; una campana de vidrio lo cubre todo para preservarlo del polvo y de la agitación del aire. Al aparato que acabamos de describir se le daba el nombre de *galvanómetro*; hoy se conoce con el de *reómetro multiplicador*, porque sirve para *medir las corrientes y multiplicar* sus efectos con el número de vueltas.

Para hacer pasar las corrientes por el hilo conductor, se ponen sus extremos desnudos en contacto de los reóforos de la pila, y la electricidad circula por todas las vueltas, desviando la aguja al este ó al oeste del meridiano magnético segun su direccion. Lo importante es que las *desviaciones de la aguja son proporcionales á las corrientes eléctricas*. Se demuestra esta propiedad con el *reómetro diferencial*, que consiste en arrollar dos hilos enteramente iguales por los que pasan las corrientes en el mismo ó contrario sentido.

Supongamos que por el primer hilo circula una corriente que desvia la aguja 7° al este, y despues otra por el segundo que lo hace de 3° ; pasando las dos corrientes á la vez, la desviacion es de 10° ; si la segunda va en sentido contrario la desviacion solo es de 4° , hacia el lado de la mayor. Eligiendo otras corrientes mas ó menos intensas que obren por separado, ó de mancomun, se halla que se conducen entre si como *cantidades matemáticas*; siempre el *ángulo final* es la *suma* ó *diferencia* de los ángulos elementales, con tal que no pasen de unos 20° . Si los ángulos son mayores ya no se encuen-

tra igual proporcionalidad, pero se calculan tablas que corrigen las diferencias.

549. Aparato de Melloni. Si unimos á los hilos del reómetro multiplicador la pila termo-eléctrica (543), formaremos el *termo-multiplicador*, ya empleado en el calorico radiante (259). Lo dicho en aquella ocasion se comprende ahora muy bien: la pila es el verdadero aparato termoscópico donde nacen las corrientes en cuanto las temperaturas de sus órdenes de soldaduras no son iguales; solo falta despues aumentar sus efectos y medirlos con el reómetro multiplicador. Las demás partes como pantallas, sostenedores y orígenes caloríficos, son si se quiere mas secundarias, pero que hábilmente dispuestas y combinadas por Melloni hacen del aparato uno de los mejores de la física moderna.

Los reómetros destinados á las corrientes que desenvuelve el calor, llevan en lugar de un solo hilo largo y delgado, cuatro ó cinco mas gruesos y mas cortos, aislados con seda excepto por los extremos, que arrollados juntos dan unas 100 vueltas, y por consecuencia suman 400 ó 500. Es preciso hacer este cambio, porque las corrientes termo-eléctricas son de poca tension, y se debilitan mas que las hidro-eléctricas con la longitud del circuito y su falta de espesor.

La *graduacion* del aparato es sencilla: pónganse orígenes de calor que obren por separado sobre un lado de la pila, y apúntense los ángulos de desviacion; júntense despues, ó tómesese una temperatura igual á su suma, y la desviacion será igual á la suma tambien; por el contrario, pónganse los orígenes á distinto lado, primero uno y luego el otro, y en seguida los dos á la vez, y el ángulo final será la diferencia de los ángulos observados y en el sentido del mayor. Luego las desviaciones *son proporcionales á las diferencias de temperatura de sus soldaduras*. La proporcionalidad no pasa de unos 20° de temperatura; fuera de este limite son menester tablas de graduacion, que Melloni calculó valiéndose de la interpolacion á terminos conocidos experimentalmente. Por consiguiente, se puede asegurar que las desviaciones de la aguja del reómetro son comparables con las indicaciones de los termómetros mas sensibles.

550. Influencia de la electricidad estática La

electricidad estática, es decir, la de las máquinas eléctricas y la de los condensadores; goza tambien de la propiedad de alterar la direccion de los imanes, si bien las desviaciones son mucho menores. El modo de hacerlo ver consiste en tomar un multiplicador de 200 á 300 vueltas, y establecer, con los estremos desnudos, la comunicacion entre los conductores y las almohadillas de una máquina eléctrica, ó entre las armaduras de una botella de Leyden; al saltar la chispa se desvia la aguja mas ó menos, y en este ó en el otro sentido segun la direccion de la distancia esplosiva de la chispa. Con la máquina de Nairne, como se aprovechan mejor los dos flúidos descompuestos, los efectos son mas marcados.

LECCION XXIII.

Imantacion por las corrientes; influencia de las circunvoluciones; hélices dextrorsum y sinistrorsum.—Electro-iman de Puillet.—Imantacion por la electricidad ordinaria.—Influencia del magnetismo sobre la electricidad; aparato de Clark; aplicaciones de las corrientes electro-magnéticas.—Flotadores.—Solenoides.

551. **Imantacion por las corrientes.** Si se rodea de limaduras de hierro el hilo de cobre que une los polos de una pila en actividad, se pegan á él en capas concéntricas y se despegan al abrir el circuito, lo que prueba su imantacion. Igual efecto producen sobre todos los cuerpos magnéticos, solo que en el hierro dulce es instantánea, pero tambien cesa á la par que la corriente; el acero tarda mas tiempo pero en cambio la imantacion es permanente.

552. **Imantacion con las hélices.** El resultado de la imantacion es diferente cuando los cuerpos magnéticos y las corrientes son *paralelos* ó *perpendiculares*; en el primer caso puede muy bien no descomponerse el magnetismo, mientras que en el segundo llega á su maximum; pero lo mas importante del caso consiste en el aumento portentoso que adquiere la potencia de los imanes con el número de vueltas que les dén las corrientes eléctricas. Arrollando sobre un cilindro hueco de carton ó madera un hilo de cobre cubierto de seda y poniendo dentro de él una barra de hierro dulce, la misma corriente eléctrica que obrando directamente sobre ella no des-

compone su magnetismo, ó solo lo hace débilmente, la imanta enérgicamente circulando por la hélice. El sentido de la imantacion depende del de las hélices, y la *intensidad* del número de vueltas y de su distancia. Hay dos clases de *hélices*; la hélice *dextrorsum* (fig. 512) es aquella que teniendo el eje vertical se arrolla al bajar de derecha á izquierda por delante del que la tiene de frente; y la hélice *sinistrorsum* (fig. 513), si puesta de la misma manera se arrolla de izquierda á derecha. En las primeras el polo *austral* está en el extremo por donde sale la corriente, y en las segundas por donde entra. Para aumentar la intensidad las vueltas deben estar tocándose, y aun unas sobre otras. La imantacion es independiente de la duracion de las corrientes.

553. **Electro-imanés.** Las propiedades que nos ocupan son utilizadas en los aparatos llamados electro-imanés; la (fig. 514) representa el de Puillet. Tómese un cilindro de hierro dulce doblado en forma de herradura, y sobre sus ramas arrólese un cilindro de cobre vestido de seda, que les dé crecido número de vueltas, siempre en el propio sentido; pónganse los extremos desnudos en contacto de los reóforos de una pila en actividad; aproxímese un puentecito de hierro dulce, y será atraído por una fuerza magnética enorme, y muy superior á la que comunican los medios ordinarios de la imantacion. Se forma idea de esta fuerza poniendo pesos sobre la tablita A. La potencia magnética crece con la intensidad de la corriente, con el número de vueltas, y con el diámetro y longitud del cilindro de hierro dulce. Oponiendo á los polos de un electro-iman los polos contrarios de otro electro-iman, aumenta poderosamente su intensidad.

554. **Imantacion por la electricidad ordinaria.** El movimiento continuo de la electricidad ordinaria no imanta el hierro dulce con la facilidad que las corrientes de las pilas, porque acercando un alambre de hierro á un hilo rectilíneo que una las almohadillas con los conductores de la máquina eléctrica, para que se recompongan las dos especies de electricidad al propio tiempo que se desenvuelven, el alambre no se imanta. Para conseguir la imantacion es necesario hacer pasar la electricidad con intermitencia, por chispas; y entonces el efecto producido crece con la direccion per-

pendicular, con la intensidad y con la duración de la descarga. Las hélices aumentan el efecto producido hasta el punto que con ellas se puede imantar con una corriente continua. La descarga eléctrica imanta las agujas de acero, y si están imantadas puede destruir su magnetismo, ó cambiar sus polos. La imantacion no es sin embargo tan regular como con las corrientes eléctricas; varia bastante con la distancia, pues colocando varias agujas iguales cerca de un conductor por donde pase la electricidad, los polos del mismo nombre resultan cambiados; en unas es el austral el que está á la izquierda del conductor, que es el caso mas general, y en otras es el boreal.

555. **Influencia del magnetismo sobre la electricidad.** Acabamos de ver que la electricidad en movimiento es una causa poderosa de imantacion; resta examinar si los *imanes* descomponen el fluido eléctrico. Para demostrarlo arróllese sobre un cilindro hueco de madera ó carton (fig. 315) un hilo de cobre cubierto de seda, y únanse sus extremos á los de un reómetro; introduzcase dentro del cilindro una barra imantada, y la aguja del reómetro se desviará por la corriente producida; la aguja vuelve al momento á su posicion inicial, pero se desvia hácia el lado opuesto al retirar la barra; es decir, que la corriente *inducida* no dura mas que un solo instante y es de signo contrario al acercar ó alejar el iman.

556. **Máquinas magneto-eléctricas.** El desenvolvimiento de las corrientes eléctricas por los imanes es el fundamento de multitud de máquinas y de aparatos de variadas y utilísimas aplicaciones; los de Pixi y de Clark darán idea de ellos.

El aparato de Pixi (fig. 316) se compone de un *electro-iman* M, colocado á corta distancia de los polos N. y S. de un fuerte iman P en herradura, sostenido por un eje alrededor del cual se le hace girar por medio de un engranaje que mueve el manubrio *m*. Cuando los ejes de los cilindros en herradura M y P están en un mismo plano, el iman P polariza por influencia el cilindro M, y una corriente circula por el hilo del electro-iman; establecido el movimiento el iman se aleja, su influencia disminuye, y al llegar á la posicion perpendicular concluye de todo punto, y la corriente cesa; á partir

de aquí, se acerca al hierro dulce, lo va imantando hasta que coincide con él, y nace de nuevo la corriente; pero como los polos del iman han mudado de lugar, resulta que el sentido de la corriente cambia tambien. El iman tiene pues dos posiciones extremas en las cuales los cilindros son paralelos ó perpendiculares; en el primer caso las corrientes adquieren su máximum de intensidad, y van decreciendo despues hasta llegar al segundo en que se anulan; su signo cambia en cada semi-revolucion. Este aparato ha sido notablemente mejorado por M. Clark. En lugar de hacer girar el iman, como acabamos de manifestar, se le deja fijo, y se mueve el electroiman, que es mas ligero y dá idénticos resultados, y con el fin de volver las corrientes en el propio sentido, hay, entre otras, una pieza sujeta al eje del movimiento, que muda de posicion con él y establece la comunicacion de uno de los hilos durante una semi-revolucion, y la del otro durante la siguiente, con cuyo mecanismo la corriente sigue en todo el propio sentido. Con la máquina de Clark se obtienen los mismos efectos que con las pilas mas poderosas; es decir, que sus corrientes *funden el platino, inflaman el éter, descomponen el agua, imantan el hierro dulce, desvian del meridiano las agujas imantadas, y causan sensaciones orgánicas de mucha consideracion y de útiles aplicaciones.*

557. Atracciones y repulsiones entre imanes y corrientes. Las influencias recíprocas del magnetismo y de la electricidad no paran aquí, y seria muy largo dar idea cabal de todas ellas; pero antes de abandonar este asunto, diremos algo de otro orden de cosas, cual es el de las atracciones y repulsiones: con este fin describiremos antes los flotadores y solenoides.

558. Flotadores. Los flotadores (figs. 317 y 318) están formados de dos láminas una de zinc y otra de cobre, unidas por un hilo buen conductor, y adheridas á un corcho que flota sobre el agua acidulada en donde aquellas se meten. Desenvuelta la accion química, la corriente eléctrica recorre el circuito todo el tiempo que ella dura.

559. Solenoides. Los solenoides (figs. 318 y 319) son corrientes formadas por un hilo de cobre vestido de seda y arrollado de tal modo en hélice que las espiras son iguales, distan lo mismo unas de otras, y son perpendiculares al mismo hilo que pasa por sus cen-

tros en forma de eje: los extremos del hilo se sueldan á dos láminas de zinc y cobre como en los flotadores, ó se dejan desnudos para meterlos en copas de mercurio donde giran con gran facilidad (fig. 319).

560. **Influencia del magnetismo de la tierra sobre las corrientes.** Todas estas corrientes cerradas y ligeras se conducen, mientras circula por ellas la electricidad, como las agujas imantadas. Abandonadas á su libertad se dirigen con pres- teza al meridiano magnético á buscar la posicion de su equilibrio, que no pierden despues sino á impulsos de otra fuerza mayor, mi- rando siempre el mismo extremo hácia un polo dado de la tierra. Acercando dos corrientes por los extremos que se vuelven hácia el propio sentido se rechazan, y por la inversa, se atraen si lo hacemos por los que están en sentido contrario. Aproximando el polo de un iman, hay tambien atracciones ó repulsiones segun la posicion de los polos; mas aun, las corrientes eléctricas conducen estos flotadores al plano perpendicular á su direccion. Por consiguiente, *dos solenoides, un solenoide y un iman, presentan iguales fenómenos que dos ima- nes entre sí*; con otra circunstancia aun mas notable, y consiste en que las *atracciones y repulsiones siguen las propias leyes.*

LECCION XCIV.

TELEGRAFIA.—*Ligera idea de los telégrafos aéreos de los hermanos Chap- pe.—Telegrafia eléctrica; velocidad del fluido eléctrico; primeros ele- mentos de que se compone.—Telégrafo de cuadrante.—Manipulador; modo de abrir y cerrar las corrientes.—Receptor; describir el juego del electro-íman y de la pieza de hierro dulce.—Union de los dos aparatos.—Avisador.—Hilos conductores; papel de la tierra.—Idea de los telégrafos de Breguet, del de teclas de Fromet y del de Siemens.—Re- légrafo escribiente.—Relojos eléctricos.*

561. **Telegrafia.** La telegrafia es el medio de transmitir no- ticias de un punto á otro mas ó menos distante. Su origen es muy antiguo; y se comprende que debe ser así porque la necesidad de prontas comunicaciones en casos determinados han debido sentirla ya los primeros pueblos. Las señales mas naturales eran las de en- cender hogueras en los sitios altos, que se han conservado hasta nuestros tiempos, y las usadas por los marinos; mas tarde se utiliza-

yon los telescopios, para ver de lejos ciertos movimientos; pero en estos recursos ni todos los que á la circunstancia de estabilidad no reunian la de ofrecer mas ensanche á los despachos, no deben considerarse como telégrafos. Así es que bien se puede decir que la telegrafía aérea no se remonta mas allá del año 1792 en que los hermanos Chappe la establecieron en Francia, y tanta era la desconfianza y la lucha que habia en este pueblo con las antiguas tradiciones, que solo anunciando el telégrafo, con inesperada rapidez, el triunfo del ejército republicano del norte sobre los austriacos en la toma de Condé, es como se admitieron los servicios importantísimos que este gran invento ofrecia á la revolucion. Los telégrafos de Chappe consistian en pequeñas torres separadas de tres á cuatro leguas, y dispuestas de tal modo que desde una se veian las de los lados. En estas torres se hacian, por medio de una máquina, ciertas señales de valor convenido, que, iniciadas por la primera, las repetian por su orden las demás hasta concluir la línea. Los telégrafos aéreos tenian contra si necesitar muchas torres, pues aun cuando se empleaban anteojos, sus alcances no escuden de ciertos límites, á mas de que la naturaleza del terreno no siempre los permitia; hacer imposible toda comunicacion en tiempo de lluvias, con nubes, nieblas ó de noche, y no poder transmitir una noticia nueva ó que no estuviera en el vocabulario. Para continuar los despachos durante la noche, se hacian las señales con luces; pero tampoco servian, y por eso se creia de difícil solucion el problema de la telegrafía; pero la feliz aplicacion de la electricidad no ha dejado casi nada que desear.

562. **Telegrafía eléctrica.** La aplicacion de la electricidad á la trasmision del pensamiento remedia todos los inconvenientes de los telégrafos aéreos. Por una parte su movimiento es casi independiente del estado de la atmósfera, y por la otra lo hace con una *velocidad inmensa*; y aun cuando dependa de la conductibilidad de los hilos, cuya ruta sigue fielmente, bien podemos asegurar que es mayor que la de la luz, y suficiente, en la generalidad de los casos, para dar á la tierra por el ecuador ocho vueltas en un segundo; es decir, que viene á tardar igual tiempo en recorrer las mayores distancias de nuestro globo; ó mejor, para el flúido eléctrico no hay distancias.

Las primeras experiencias para aplicar la electricidad como medio telegráfico datan de 1774 por Lesage; en 1794 las repitió Reiser, y en 1796 se hicieron experiencias en Madrid por Salvá, de muy buenos resultados; pero á la verdad, la ciencia no habia llegado á bastante altura para tan apetecidas aplicaciones, porque era la electricidad de las máquinas ó de los condensadores, la estática, la que se empleaba, y es preciso confesar que sin las corrientes de las pilas y los electroimanes no se concibe la telegrafía; así es que los ensayos hechos despues de los descubrimientos de Volta y de Oersted, llevaban el sello de lo que de ellos se podia esperar, y desde 1833 al 1840 el problema de la telegrafía quedó resuelto y aplicado.

Los telégrafos electricos pueden clasificarse en tres grupos. Al primero corresponde el de agujas, ó inglés; al segundo los de cuadrante, y al tercero los registradores ó impresores, el americano.

Todos los telégrafos reconocen por fundamento una pila y un *electro-iman*, unidos por cuerpos buenos conductores, cerrando el *circuito*. Cerca del electro-iman hay una pieza de hierro dulce que gira alrededor de un eje y mantiene en cierta posicion un resorte, y que es atraída por el electro-iman al cerrar el circuito, ó al imantarse, para ser retirada del contacto al abrirlo; y atraída al cerrarlo y retirada al abrirlo. Luego abriendo y cerrando el circuito de la corriente se produce, á cualquier distancia que sea, un movimiento de oscilacion ó vaiven; pues bien, los medios de aprovechar este movimiento, y los de abrir y cerrar el circuito del modo mas ventajoso, constituyen los diferentes telégrafos eléctricos.

563. **Telégrafo de cuadrante.** Los telégrafos eléctricos se componen de dos estaciones; de la estacion *de partida*, ó de donde *parten* los despachos, y de la estacion de llegada, á donde llegan ó se reciben, unidas por el intermedio de cuerpos buenos conductores. En cada una de ellas hay dos aparatos iguales; el que sirve para transmitir las noticias abriendo y cerrando el circuito, llamado *manipulador*, y el que recibe y donde se leen ó imprimen, llamado *receptor*.

564. **El manipulador** del aparato de demostracion es como sigue (fig. 320): un círculo *Mm* donde están las letras del abecedario y una señal entre la primera y la última; á cada una de las

letras ó signos corresponden concéntricos los números desde la unidad hasta el veintiseis. Una manecilla *m* gira alrededor del centro y va pasando por delante de cada letra, pero al mismo tiempo lleva en pos de sí una rueda *sr*, cuyos huecos están ocupados por madera y son en número de la mitad de los signos que han de trasmitirse y que pasan frotando contra el resorte metálico *s*. La pila eléctrica *P* comunica por uno de sus polos con la lámina *sn*, que lo hace con la rueda, y con el resorte *s* alternativamente; es decir, que circula la corriente cuando está sobre el metal y se detiene cuando está sobre la madera; despues sigue la direccion *sxcab* para volver el otro polo de la pila por el hilo de la línea, ó por la tierra.

565. El receptor de la estacion de llegada es igual al de la de partida. Se compone de tres partes que son: la esfera, el electro-iman y la pieza de hierro dulce. La esfera *AB* es en todo semejante á la del manipulador; tiene las mismas letras y números y el signo final en idéntico orden. El electro-iman *cd* es de hilo delgado y de muchas vueltas, y entra en él la corriente por *sxcd* y sale por *dab*. La pieza de hierro dulce es *h*, y gira alrededor del eje *z*, y un resorte *v* la mantiene en la posicion que figura; cuando circula la electricidad por el circuito es atraida por el electro-iman, pero al cesar, la retira de su contacto el resorte, para volver á ser atraida al cerrarlo de nuevo, y retirada al abrirlo, y así sigue oscilando. Unida á la pieza de hierro dulce hay una varilla metálica que forma una especie de áncora, con los ganchos *pq* que se apoyan en la mitad de los dientes inclinados de una rueda *A*, en igual número á los de la del manipulador, y que la fuerzan á avanzar de la mitad de su longitud al oscilar; de suerte que al ser atraida la pieza de hierro dulce la rueda adelanta medio diente y el otro medio al ser retirada. Perpendicular el eje de la rueda *A* hay una aguja *k* que pasa un signo en cada uno de estos movimientos y por cada diente recorre dos, y como tiene catorce, en una revolucion pasa por delante de las veintisiete letras y del signo final.

566. Explicado el mecanismo de cada parte por separado, veamos como funciona el conjunto; para ello supondremos la manecilla *m* del manipulador, y la aguja *k* del receptor, delante del punto final y el circuito abierto; si se hace avanzar la manecilla el circuito se

cierra, el electro-iman atrae la pieza de hierro dulce y el escape de áncora hace caminar á la rueda A medio diente, y la aguja *k* se pone en frente de la letra A; al seguir con el manubrio se abre el circuito, la pieza de hierro dulce vuelve á su posición, la rueda del receptor avanza el otro medio diente y la aguja señala la letra B; y por el estilo las va recorriendo todas. Falta explicar ahora cómo el encargado de recibir el despacho sabe distinguir cuales son las letras que lo componen; con este objeto se detiene el manubrio un poco mas delante de cada letra que se debe copiar, pasando de corrido por las otras; la aguja del receptor hace lo mismo, se detiene como el manubrio, y se mueve cuando él; de esta manera se señalan una á una las letras del abecedario, ó los signos que se quieran, y se repiten á la distancia de cientos de leguas, con admirable precision y como por encanto, los movimientos de la mano; no parece sino que así como los telescopios y anteojos llevan nuestra vista hasta el seno de los cielos, la electricidad nos estiende el brazo hasta abarcar con él el globo.

567. **Avisador.** Hay además en los telégrafos eléctricos, tanto en la estacion de partida como en la de llegada, el aparato llamado *avisador*. Se compone de un timbre, sobre el cual cae el martillo de una palanca angular de hierro dulce, que atrae un electro-iman como el del receptor; así que, cerrado el circuito, la pieza de hierro dulce es atraída, el martillo choca contra el timbre y dá un sonido; al abrirlo, un resorte retira dicha pieza de hierro y por consecuencia el martillo; al cerrarlo de nuevo, suena de nuevo la campana, y se oye tantas veces como se repita la operacion.

568. Cuando un empleado quiere transmitir un despacho á otra estacion principia por introducir su manipulador en el circuito y dar vueltas con el manubrio para que el timbre de la estacion de llegada suene y llame á su puesto al que lo ha de recibir; acto continuo este empleado saca su timbre del circuito é introduce el manipulador para avisar al primero que ya puede principiar; mas en tanto que lo hace coloca la aldabilla *x* en la posición *x'* para que la corriente venga por el hilo *t'*, y siga al electro-iman sin pasar por el manipulador. Si hubiese que transmitir cantidades ó fechas se lleva el manubrio al signo final y con una indicacion convenida se pasa de las letras á los números y vice versa.

569. **Hilos conductores.** Al tratar de la comunicacion del manipulador con el receptor, solo hemos indicado que era preciso hacerlo por cuerpos buenos conductores, los cuales debian ir y volver para cerrar el circuito. El cobre es muy á propósito para esto por su gran conductibilidad; pero lo elevado de su precio y lo mucho que padece con la humedad han movido á reemplazarlo con hilos de hierro, que si bien son menos conductores, haciéndolos mas gruesos, dan el mismo resultado. Un hilo de ida y otro de vuelta eran empleados entre las estaciones; hoy dia no se necesita mas que un solo alambre, haciendo la tierra el mismo papel que el otro, porque si como se presume, *absorbe la electricidad en sus extremos*, para la corriente es igual que si esperimentara una recomposicion en ellos. El polo negativo de la pila se une á una plancha de hierro y se introduce en el suelo húmedo, y otro tanto se hace con el extremo del alambre de la línea que hace de positivo.

Los hilos de los telégrafos están sostenidos de trecho en trecho por piés de madera, llamados *postes*, haciéndoles descansar en anillos de guta-percha y de porcelana que los aislan. Por punto general siguen las vias de los caminos de hierro ó las carreteras, sin que por eso deje de dáseles, en ciertos casos, otra direccion. Las comunicaciones telegráficas se hacen tambien por hilos enterrados y por cables submarinos, preparados al efecto. Los cables son hoy dia muy comunes; habiendo ya circulado la electricidad entre el antiguo y el nuevo mundo, aunque fué por poco tiempo, es de presumir que se restablezca otra vez, bien á través del Océano atlántico como antes, ó por el estrecho de Beringe; entonces casi todas las regiones del mundo estarán unidas, y en todas se registrarán á la vez los acontecimientos notables que sucedan en las demás.

570. **Telégrafo de Breguet.** Estos telégrafos tienen el inconveniente de no poder volver con el manubrio á buscar una letra próxima, siendo indispensable dar muchas veces casi una vuelta completa; en algunos casos el movimiento de la pieza de hierro es tan brusco que la aguja del receptor avanza dos letras de un golpe en vez de una, y entonces dejan las agujas de estar acordes, y sobre todo, no queda con ellos indicio alguno para saber si el despacho ha sido bien ó mal trasmitido.

Breguet ha construido telégrafos de cuadrante mucho mas perfectos. El movimiento de la aguja del receptor es debido á un aparato de relojeria, que por medio de un escape de áncora, hace avanzar la rueda de medio á medio diente, sin temor de que pase uno entero, sirviendo el electro-iman para dejar ó interrumpir su marcha. Añádese otra esfera mas, llamada de *comprobacion*, cuya aguja debe señalar la *última* letra del despacho, y en su consecuencia estamos casi seguros de cómo ha sido su trasmision.

En los telégrafos descritos se pierde algun tiempo en la comunicacion de los despachos por el que necesita la mano para meter y sacar el manubrio en la muesca de las letras que le componen, y por el que invierte en buscarlas siguiendo siempre la propia direccion; Froment ha ideado mejorar los manipuladores con su *telégrafo de cuadrante y de teclas*. El manipulador de este telégrafo se compone de tantas teclas como letras el abecedario, y una mas para el signo final: pisando las teclas como si fuera un piano, se abre y cierra el circuito con mas facilidad y en mas corto tiempo que con los otros, y además no necesitan los empleados tan largo aprendizaje para manejarle. Con el fin de evitar toda duda sobre la exactitud de las noticias comunicadas hay una esfera de comprobacion análoga á la de los de Breguet.

A pesar de la gran perfeccion de los telégrafos de Breguet y de Fromet, todavia se quedan atrás del de *Siemens*, con el cual se puede recibir y transmitir despachos al mismo tiempo por un *solo* hilo; es decir, que sin perjudicar á la celeridad de las comunicaciones, el encargado de recibirlas consulta las dudas que se le ocurran acerca de la inteligencia de alguna palabra ó de algun periodo, y hace las advertencias ó prevenciones necesarias al buen desempeño de su cometido, ó del mejor servicio del estado; mientras que con los demás, por mucha importancia que tenga la noticia que debe dar, y por mucha urgencia con que deba comunicarla, tiene que permanecer pasivo y mero espectador, mientras el otro empleado no concluya con las suyas.

371. Telégrafos escribientes. Llámanse *telégrafos escribientes*, *impresores* ó *registradores*, aquellos que dejan marcados los signos que transmiten: el mas comun es el llamado *Americano* ó de *Morse*. Los medios de abrir y cerrar las corrientes y los de



comunicacion son siempre los mismos, con ligeras variantes, pero los receptores difieren de todo punto; el electro-iman y la pieza de hierro dulce hacen sin embargo el principal papel. Al ser atraída la pieza de hierro, hace que una palanca angular con un punzon de acero se apoye sobre una tira de papel continuo, que, desarrollándose y arrollándose en dos cilindros, movidos con uniformidad alrededor de su eje por un aparato de relojería, se desliza por debajo; el punzon señala una *línea* ó un *pequeño guion* como un *punto*, segun que la corriente está cerrada poco ó mucho tiempo, y representando las letras por las combinaciones de líneas, de puntos y de espacios, el telégrafo imprime sus propias noticias. El electro-iman permite é interrumpe el movimiento de relojería, y por consiguiente el del papel. Bain ha construido un telégrafo en el que el papel está impregnado de una disolucion de *cianuro de potasio* y en comunicacion del *polo negativo* de la pila; sobre él se apoya un punzon de *acero* con la electricidad *positiva*; al circular la electricidad el cianogeno se combina con el hierro y forma el azul de Prusia que señala las líneas y puntos. Estos telégrafos son los mas empleados en la actualidad. Tambien se han construido telégrafos *autográficos*; es decir, que reproducen el fac-símile de una firma, de un escrito ó de un diseño cualquiera hecho en el papel.

572. En los *relojes eléctricos* pueden presentarse tres cuestiones; *reemplazar* con la electricidad la accion de la gravedad ó de un resorte; *transmitir la hora* de un reloj tipo á muchos sitios á la vez; hacer que varios *relojes marquen la hora* que otro. En el dia la impulsión es dada á los relojes eléctricos por la elevacion de cierto peso, ó separacion de un resorte, por la fuerza de un electro-iman, y haciendo que el péndulo abra y cierre el circuito con cierta velocidad una aguja marcará los segundos y otra las horas. Si se hubiera de transmitir la hora á lo largo de la línea férrea, se pone en cada estacion un electro-iman que atrayendo la pieza de hierro dulce cada vez que pasa la corriente, hace que el minuterero siga el movimiento del péndulo que abre y cierra el circuito en la estacion de partida. Para conseguir que muchos relojes marchen uniformes, se les suprimen los péndulos y se sustituyen por las atracciones de un electro-iman cuya corriente abre ó cierra el que sirve de tipo.

El electro-magnetismo ofrece otras muchas aplicaciones á los talleres, á conocer la *velocidad* de un *projectil*, y á los registradores de las observaciones meterológicas.

LECCION XCV.

Electro-dinámica.—Denominaciones de las corrientes segun su figura; relaciones que en ellas hay que estudiar.—Leyes de las corrientes unas sobre otras; aparato de Amper.—Corrientes por induccion de otras corrientes y marcha que siguen.—Corrientes por induccion de los imanes.—Explicacion del magnetismo por la electricidad; hipótesis de Amper.

575. *Llámase electro-dinámica al estudio de los fenómenos que manifiestan las corrientes eléctricas bajo la influencia de otras corrientes.*

Las corrientes eléctricas toman su nombre de la figura geométrica del hilo conductor; así, hay corrientes rectilíneas, sinuosas, circulares, rectangulares, etc., segun que la electricidad circule por alambres rectilíneos, enroscados, circulares, rectangulares, etc. Estas corrientes figuradas, siendo causa de movimiento, podemos considerarlas como verdaderas fuerzas, y estudiar en ellas las relaciones de posicion y magnitud (54); es decir, que aparte de su mayor ó menor intensidad, ó están en el mismo plano ó en planos distintos, y en el primer caso, ó son paralelas ó convergentes.

Que las corrientes se conducen unas con otras como cantidades matemáticas, ya lo hemos demostrado, al graduar el reómetro y el multiplicador. Dos corrientes, una de 7° y otra de 3° , hacen el mismo papel que una corriente igual á su suma, ó de 10° , si van en el propio sentido, ó que una corriente igual á su diferencia, 4° , si van en sentido opuesto. Dos corrientes iguales circulan por los hilos del multiplicador en sentido contrario sin mover su aguja del meridiano magnético. Aun hay mas, *una corriente rectilínea neutraliza una sinuosa*, de la cual sea proyeccion, si las circunvoluciones no son muy eslensas.

La demostracion experimental de las leyes de la electro-dinámica requiere el uso del aparato de Amper con todos sus accesorios; pero

ya que por completo no pueda tener cabida en estas lecciones, describiremos las partes principales para llevarla á cabo.

La (fig. 321) se compone de una mesita A ó B de madera, que sirve de pié y sostiene dos columnas verticales buenas conductoras dobladas en ángulo recto, en cuyos extremos hay dos capsulitas de mercurio, para meter los hilos conductores: de los piés parten dos láminas de cobre, que se unen á los reóforos de una pila en actividad. La electricidad sigue la direccion de las flechas: del reóforo positivo á la lámina de cobre, á una de las columnas verticales, á su capsulita, al hilo conductor, á la segunda capsulita, á la columna vertical, á la lámina de cobre y al reóforo negativo. Las corrientes, pues, tienen tanta ó mayor movilidad que los flotadores.

Ahora bien, si suspendemos de las capsulitas hilos de esta ó de la otra forma, por los cuales circule la electricidad de una pila, y acercamos otra corriente, notaremos los fenómenos siguientes: 1.º *Dos corrientes paralelas que van en la misma direccion, se atraen* (fig. 322). 2.º *Dos corrientes paralelas que van en contrarias direcciones, se repelen* (fig. 323). 3.º *Dos corrientes angulares que se aproximan al vértice ó se alejan de él, se atraen* (figs. 324 y 325). 4.º *Dos corrientes eléctricas de las cuales una se aproxima y la otra se aleja del vértice, se repelen* (fig. 326).

A partir de estos hechos experimentales podemos imaginar, para las corrientes que están en diferentes planos, que se acercan ó que se alejan de la perpendicular tirada entre dos puntos cualesquiera de ellas, y si á esto añadimos que las corrientes paralelas pueden considerarse como acercándose ó alejándose de una posieion dada, real ó imaginaria, todas las leyes esplicadas se reasumen en las siguientes: 1.ª *Las corrientes de la misma direccion se atraen.* 2.ª *Las corrientes de direcciones opuestas se repelen.* De aquí pudiéramos deducir, que *las partes contiguas de una misma corriente, como de opuesta direccion, se repelen.* Con este aparato se repiten las esperiencias de las atracciones y repulsiones de las corrientes y de los imanes y de la accion de la tierra. Para ello se suspenden corrientes cerradas *astáticas*, es decir, corrientes donde la tierra no produce atraccion y los solenoides, viniendo á confirmar y amplificar las conclusiones que llevamos esplicadas

574. **Corrientes por induccion.** *Dáse el nombre de corrientes inducidas á las que nacen por la influencia de otras corrientes ó de los imanes, como son las de los aparatos de Pixi, Clark (356) y otros. Estas corrientes se dividen en órdenes, y se llaman corrientes de primer orden, las que desenvuelven las corrientes directas; de segundo orden, las que vienen de las del primero, y así sucesivamente. La intensidad es mayor en las corrientes inducidas de primer orden que en las de segundo, y en estas mayor que en las de tercero, etc.*

Tómese para demostrar la existencia de las corrientes por induccion el aparato de la (fig. 315), con dos hilos arrollados sobre su superficie convexa, uno comunicando con el multiplicador y el otro con los polos de una pila en actividad; la aguja del multiplicador se desvia del meridiano magnético por influencia de la corriente *inducida*; pues la electricidad de la pila no circula ni tiene nada que ver con el hilo del multiplicador. La aguja llega en un solo instante á su desviacion máxima para abandonarla de contado y volver al meridiano magnético, donde permanece todo el tiempo que dura la corriente como si tal cosa existiera; mas al cesar aquella se desvia de nuevo en sentido contrario. Por consiguiente, las corrientes *inducidas, solo tienen lugar al principiar y al concluir las corrientes inductoras, cambiando de direccion en estos momentos.* Las corrientes inducidas obran á su vez como corrientes inductivas para dar origen á otras corrientes de un orden inferior, siempre que se multiplique su tension con espirales bien dispuestas y con barras de hierro dulce metidas en el cilindro M.

575. **Explicacion del magnetismo por la electricidad.** *Hipótesis de Amper.* A la altura que hemos llegado no es difícil comprender la teoría de Amper, que supone todos los fenómenos magnéticos dependientes de las corrientes eléctricas.

Con este objeto recordaremos que una barra de hierro dulce toma bajo la influencia de la electricidad en movimiento, la línea neutra, los dos polos y la potencia magnética de un vigoroso iman; y que las agujas imantadas son conducidas por las corrientes eléctricas al plano perpendicular á su direccion. Pues ahora bien, si como supone Amper, la tierra está rodeada de un gran número de cor-

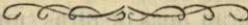
rientes eléctricas, elementales, paralelas entre sí, y en la dirección de este á oeste, sometiendo á su influjo barras de hierro dulce, y agujas imantadas, deberemos tener los fenómenos ya indicados (546 y 551). Para mayor facilidad, admitiremos que acumulándose las corrientes elementales hácia el ecuador, dan los mismos resultados que una corriente única que rodease la tierra en la propia dirección. En esta conformidad debe aparecer el globo como imantado, y con los polos en los extremos del eje, siendo este perpendicular á los planos de las corrientes ó al de su resultante ecuatorial. Una barra de hierro dulce puesta en la dirección del meridiano magnético, experimentará la imantación, y la cantidad del fluido libre desenvuelto será mayor en este caso que en todos los demás, hasta que la barra tome la posición perpendicular á dicho meridiano, ó paralela á las corrientes, pues entonces ya no sufre ninguna descomposición; resultado enteramente conforme con lo espuesto en la imantación por las corrientes eléctricas, que obran con toda su intensidad cuando son perpendiculares á la barra, y no producen efecto sensible siendo paralelas. Suspendida una aguja imantada de su centro de gravedad, la corriente terrestre la conducirá á un plano perpendicular á su dirección; es decir, al meridiano magnético, debiendo ser, como es, su polo austral el que se dirija hácia el norte, para estar conforme con la regla de Amper (547). La dirección norte-sur que toman los flotadores electro-dinámicos y los solenoides, se explica con la misma facilidad que la de los imanes, y que la imantación de los cuerpos simplemente magnéticos, y hasta la inclinación y declinación de las brújulas.

En estos fenómenos y en otros análogos, se ha fundado Amper para pensar que los imanes están formados por un gran número de pequeñas corrientes que rodean los elementos magnéticos en una dirección perpendicular á su eje, de este á oeste en la parte inferior, y de oeste á este en la superior, cuando están en el meridiano magnético. En esta hipótesis, los cuerpos simplemente magnéticos no estarían desprovistos de corrientes semejantes, sino que teniendo estas toda suerte de inclinaciones, se neutralizarían las unas á las otras; pero que sometidos los cuerpos á la acción de una fuerza directriz, sea de los imanes ó de las corrientes eléctricas, dichos elementos

vuelven sus ejes en la misma direccion, se polarizan, ó hacen las corrientes paralelas, en cuyo caso presentan ya las señales de imantacion.

576. **Causa de las corrientes eléctricas.** Explicado el magnetismo por las corrientes eléctricas terrestres, falta examinar cual puede ser el origen de ellas. La causa no parece ser *única*; al contrario, deben concurrir á la vez de diferente manera el *calor central*, las *acciones químicas* sobre las masas metálicas no oxidadas, los *volcanes*, el *calentamiento del sol*, y hasta la *corriente* de electricidad que por las altas regiones de la atmósfera se dirige hácia los polos; y engendra las auroras polares. Estas causas darian dos clases de corrientes; unas constantes en su direccion é intensidad que serian las que dirigen los *imanes*, y los *solenoides* en la direccion de los polos, y otras variables, causa de las variaciones horarias, y que estarian mas ligadas al sol; á lo que se agregaria tambien probablemente algun fenómeno de induccion magnética.

NOCIONES DE QUÍMICA.



LECCION XCVI.

Diferencia que hay entre los fenómenos físicos y químicos; definición de la química; cuerpos simples y compuestos; moléculas constituyentes é integrantes; átomos.—Combinación; mezcla.—Ley de las proporciones múltiples.—Afinidad química y causas modificantes.—Caractères organolépticos, físicos y químicos; isomeria, alotropia.

577. **Diferencia entre la Física y la Química.**

En las lecciones de física que preceden, hemos estudiado los diversos y variados modos como los cuerpos obran sobre nuestros sentidos, los efectos y medida de las fuerzas, las misteriosas insinuaciones de los flúidos imponderados, y las principales leyes de donde vienen sus vínculos con la materia, sin que de los multiplicados órdenes de fenómenos á que dán lugar las influencias reciprocas de los cuerpos con las fuerzas y los mencionados flúidos, se engendre ningun cuerpo nuevo; que los cuerpos estén en equilibrio ó en movimiento, los gases mas ó menos comprimidos, el agua en el estado líquido ó gaseoso; que el calórico se encuentre libré ó combinado, la luz en su estado natural, descompuesta ó polarizada; que los dobles flúidos magnético y eléctrico formen los neutros, ó que libres permanezcan en quietud ó se propaguen, si pueden hacerlo, por los cuerpos buenos conductores.... siempre sucede que al cesar las causas dinámicas de semejantes cambios, las cosas vuelven á su primer estado, y los cuerpos á ser lo que eran. Mas si calentamos limaduras de hierro con polvo de azufre hasta la ebullicion, al enfriarse no es dable distinguir porcion alguna de estos dos cuerpos, porque el azufre y el

hierro se han *combinado* para formar un tercer cuerpo que difiere de los otros dos por la mayor parte de sus propiedades. Hay pues una diferencia esencial entre los primeros fenómenos y el último, ó entre los *fenómenos físicos* y los *químicos*. Los fenómenos físicos dependen de la colocacion y distancia de las moléculas, sin alterar su número ni magnitud, mientras que los químicos, no solo están ligados á estas circunstancias, sino que se refieren además á la composicion y descomposicion de los cuerpos, ó á la manera especial como estas moléculas se unen ó separan unas de otras, mudando de propiedades. De aqui el poder definir la química diciendo *que es el estudio de los fenómenos que nacen en el contacto de los cuerpos, siempre que dén por resultado un cambio total ó parcial en su composicion.*

578. Moléculas integrantes y constituyentes.

Los cuerpos inorgánicos naturales son de dos clases, *simples* y *compuestos*. Llámanse *cuerpos simples* ó *elementales* los que no pueden resolverse en mas de una sustancia; es decir, que todas sus partes grandes ó pequeñas desempeñan el mismo papel que el todo; y son *compuestos* aquellos que dán dos ó mas sustancias diferentes entre sí y del cuerpo á que pertenecen. Tanto los unos como los otros están formados por la reunion de pequeños puntos materiales llamadas *átomos* ó *moléculas*, y se dividen en *integrantes* y *constituyentes*. Denominanse *moléculas integrantes* las que se componen de los mismos elementos que hay en los cuerpos compuestos; y *constituyentes* las últimas porciones ó partes mas pequeñas de los simples que entran en ellos. Las moléculas constituyentes forman por su combinacion las moléculas integrantes; en los cuerpos simples solo hay una clase de moléculas, pero en los compuestos hay dos, constituyentes é integrantes. Si á las moléculas constituyentes se las llamara *átomos*; no solo se evitaba semejante division y la confasion que trae consigo, sino que sería todo mucho mas fácil y natural, porque al hablar de átomos y moléculas, ya se sabia que eran simples los primeros y compuestas las segundas.

579. Combinacion y mezcla. La union de los cuerpos simples unos con otros engendra todos los compuestos naturales, así orgánicos como inorgánicos; mas al tener lugar, puede verificarse por *combinacion* ó por *mezcla*. Los cuerpos simples ó compuestos

se combinan si en el cuerpo nuevamente formado entran los componentes en cantidades ponderables exactas y sencillas; en toda combinacion hay desprendimiento de electricidad (569), muchas veces de calor, y algunas de luz. Los cuerpos se mezclan si se unen por una accion mecánica, entran en cantidades cualesquiera ó no definidas, y no hay desprendimiento de electricidad ni elevacion de temperatura.

580. **Ley de las proporciones múltiples.** Al combinarse dos cuerpos A y B, no solo pueden dar cierto número de compuestos, sino que se advierte en todos ellos una relacion sencilla, tanto en los pesos de las cantidades materiales, como en los volúmenes si son gases ó vapores. Con efecto, 1 cantidad de A, se combina con 1, 2, 3, 4, 5 cantidades de B; ó 2 cantidades de A, con 1, 3, 5, 7 de B; ó 3 cantidades de A, con 5, 7..... de B, y así sucesivamente; añadiremos aun, que las relaciones mas frecuentes son las mas sencillas; de 1: 2; 1: 3; 1: 4; ó de 2: 3; 2: 5, etc. Esta ley llamada *de las proporciones múltiples*, sirve para facilitar las reglas de nomenclatura, y para darnos á conocer las relaciones de peso y volúmen que entran en la combinacion de los cuerpos. Sucede algunas veces en los cuerpos gaseosos que, sin faltar á la ley, el volúmen del compuesto disminuye en vez de aumentar, en cuyo caso se dice que hay *contraccion*.

581. **Afinidad química y causas modificantes.** La afinidad química es la fuerza que reúne y mantiene unidos los átomos heterogéneos para formar las moléculas compuestas, las que, unidas á su vez por la fuerza de *cohesion*, constituyen los cuerpos. Estas fuerzas obran segun leyes poco conocidas, pero podemos decir que dependen mas bien de las condiciones físicas que rodean los cuerpos, que de su naturaleza química. Dos cuerpos con mucha tendencia á combinarse ó con mucha afinidad, no se combinan por el solo hecho del contacto si les faltan las condiciones á propósito, como son, entre otras, *los pesos de la materia, la temperatura, la presion y el estado eléctrico*. Estas condiciones, ó las fuerzas físicas correspondientes que intervienen mas ó menos directamente en las combinaciones químicas, se denominan *causas modificantes*, ó *causas influyentes de la afinidad*. La *electricidad* es bajo este punto de vista

La fuerza que obra de una manera mas decisiva, pues ya determina la combinacion de los cuerpos, y los reduce á sus elementos, ó ya los predispone para cuando otras condiciones se verifiquen. Fundados en estò, suponen algunos físicos que la electricidad es la única fuerza de combinacion, y esplican los fenómenos que la acompañan, por los estados eléctricos de los cuerpos entre los cuales se verifica; uno de ellos, dicen, tiene la electricidad positiva, el otro la negativa, y en su virtud tienden á reunirse ó se reúnen para formar el fluido natural; esto coloca á los átomos ó moléculas muy cerca los unos de los otros, en cuyo estado se conservan bajo la influencia de la fuerza de cohesion. Por el contrario, hay quien mira todo desenvolvimiento de electricidad como signo infalible de una combinacion, y llevan tan lejos esta creencia que hasta en las máquinas eléctricas ordinarias buscan la esplicacion de su carga por las acciones químicas que tienen lugar en el sitio de la frotacion; lo que no deja duda es que las acciones químicas desenvuelven la electricidad, y que la electricidad, sino es lo única fuerza que interviene en el fenómeno, hace un papel muy influyente.

El calórico desempeña un papel muy análogo al de la electricidad. A temperaturas elevadas el zinc y el hierro se combinan con el oxígeno del aire, mientras que á la ordinaria nada pasa en su contacto; el óxido de mercurio, por el contrario, es fijo á la temperatura ordinaria y se descompone á mayor grado de calor; otras veces se aplica el calor á los cuerpos que han de combinarse para electrizarlos de nombre contrario, para destruir la fuerza de cohesion, y para dividirlos con el objeto de favorecer el contacto en todas sus partes. *La luz* tambien compone y descompone los cuerpos, siendo esta propiedad el fundamente de la *fotografía*; el cloruro de plata se ennegrece con ella, y la plata y el iodo se combinan. *La presion*, la *densidad* y la *cohesion* hacen en las combinaciones químicas un papel mas secundario, pero que es necesario conocer. Aumentando la presion, evitase en algunos casos el desprendimiento de los gases, y en su consecuencia la descomposicion de los cuerpos, y en otros favorece la combinacion al reducir el volúmen de los gases y aproximar las moléculas de los unos á las moléculas de los otros. La diferencia entre las densidades, tendiendo á separar los cuerpos, perjudica las

combinaciones. La cohesión favorece por una parte la estabilidad de los compuestos, y por otra impide su formación. En muchas ocasiones, para que los cuerpos se combinen, es necesario hacer que la afinidad exceda á la cohesión, y como esto es muy difícil en los sólidos y hasta en los líquidos, de aquí el emplear el calor en la mayor parte de las acciones y reacciones químicas como un poderoso y necesario auxiliar. El *contacto* es una causa bastante misteriosa: dirigiendo una corriente de gas hidrógeno sobre musgo de platino, este lo condensa hasta el punto que, haciéndose sensible el calórico de dilatación, enrojece el platino, el cual á su vez inflama el hidrógeno; y si lo mezclamos con la mitad de su volumen de oxígeno, se forma repentinamente agua. Algunos cuerpos se descomponen con su contacto sin que el musgo experimente la menor alteración; la fuerza productora de semejantes fenómenos se llama *catalítica*.

582. **Caractéres.** *Llámanse caractéres las cualidades particulares ó las señales que sirven para conocer los cuerpos.* Pueden dividirse en *caractéres organolépticos, en caractéres físicos y en caractéres químicos.* Los *caractéres organolépticos* provienen de las impresiones producidas por los cuerpos en los órganos del tacto, del gusto y del olfato. Los *caractéres físicos* son los estados en que los cuerpos se presentan ordinariamente, ó las condiciones de presión y temperatura necesarias para ser sólidos, líquidos ó gases; *su densidad* en todos estos estados, *su poder refringente* y *su brillo* cuando puede ser conocido por comparación: entre estos caractéres y otros que no citamos, merecen particular mención el cambio de estado y la densidad, por ser mas seguros y mas diferenciales que los demás. Los *caractéres químicos* reducéndose á saber, si en la naturaleza están libres ó combinados, los compuestos que forman y las condiciones que para ello necesitan.

583. **Alotropia, isomeria.** Parece natural creer que tomados los cuerpos bajo el mismo estado y composición tengan en todas ocasiones las mismas propiedades, y sin embargo no es así. Hay cuerpos *simples*, como por ejemplo el *carbono* y el *azufre*, en los cuales se presentan diferencias bien notables, pues nadie confunde el carbono en el diamante y en el grafito, y otro tanto sucede con el azufre en ciertas condiciones. Para dar á conocer semejante

particularidad, se ha llamado *alotropía* el fenómeno, y cuerpos *alotrópicos* á los que lo presentan. En los cuerpos *compuestos* pasa una cosa parecida. El sulfuro de mercurio formado en los laboratorios, combinando un átomo de azufre con otro de mercurio, es bastante diferente del cinabrio natural que tiene igual composición química. Los compuestos de semejantes propiedades se llaman *isoméricos*, é *isomería* el fenómeno.

LECCION XCVII.

Medios de cristalización por las vías seca y húmeda.—Causas que favorecen la cristalización.—Tipos cristalinos.—Dinorfismo.—Isomorfismo.

584. **Cristalización.** *Llámanse cristalización el acto por el cual los cuerpos afectan formas regulares. Cristal es cada una de las formas geométricas que los cuerpos presentan.* Las formas cristalinas completas son poco abundantes en la naturaleza, y contribuyen á ello los muchos cambios y trastornos porque ha pasado y pasa la tierra, que les quitan sus ángulos y aristas, trasformándolos en cantos rodados y en trozos irregulares; así es, que colocando á los cuerpos en buenas condiciones casi todos son susceptibles de cristalizar. Estas condiciones son variadas y diferentes para la mayor parte de ellos, pero todas se refieren á la gran divisibilidad á que es indispensable reducirlos. La división de que hablamos se consigue de dos maneras: *por el calor ó por la vía seca, y por los líquidos ó por la vía húmeda.*

El calor ó la vía seca se emplea de dos maneras, por *sublimación* y por *decantación*. Cuando los cuerpos son volátiles, como el azufre y el alcanfor, se les reduce á vapor, el cual, al condensarse repentinamente sobre un cuerpo frío y al volver al estado sólido, *cristaliza*. Los pequeños cristales formados por este procedimiento, suelen llamarse *flores*, de donde toman su nombre las de azufre. Si los cuerpos son fusibles y poco volátiles se funden, se dejan enfriar, se horada despues la costra sólida que los cubre con un hierro candente, se vierte ó *decanta* la parte líquida sobrante, y al solidificar-

se lo que hay cerca de las paredes de la vasija forma una cavidad tapizada de cristales, llamada *geoda* por los mineralogistas.

La *via húmeda* consiste en disolver los cuerpos en *frio* ó en *caliente* y precipitar las disoluciones por evaporación ó por enfriamiento. Hay cuerpos mas solubles en frio que en caliente, y en este caso, saturada la disolucion se abandona á la evaporacion, y al faltar el liquido, la parte sólida se deposita con toda regularidad; otros por la inversa son mas solubles en caliente que en frio, y entonces se eleva la temperatura al hacer la disolucion, y al enfriarse cristalizan. Algunas veces se hace uso de la ebullicion para trasformar el liquido en vapor. Los líquidos mas comunmente empleados como disolventes son, el agua, el alcool, el éter y algunas veces el sulfuro de carbono.

585. **Causas que favorecen la cristalización.**

Sucede con frecuencia que una disolucion está pronta á cristalizar, y nõ lo hace hasta tanto que por una causa cualquiera se turba el estado de equilibrio de las partículas sólidas que hay en ella. El medio de conseguirlo es agitar ligeramente la disolucion, ó sumergir un cuerpo sólido, que atrayendo con preferencia las moléculas mas próximas, las precipita y cristalizan sobre él. Si el cuerpo sumergido es un cristal de la propia sustancia, aumenta de volumen en relacion del número de inmersiones, del grado de saturacion y del tiempo que permanezca en ella; método empleado algunas veces para tener cristales de mayor tamaño que los de una disolucion. Las vasijas de paredes ásperas son mejores que las de paredes lisas, sin duda por hacer sus partes salientes y entrantes las veces de cuerpos sumergidos.

586. **Tipos cristalinos.** Por numerosas que parezcan á primera vista las formas cristalinas naturales y artificiales, examinando con detenimiento la figura, número, posicion de sus caras y valor de sus ángulos, y comparando estas cosas entre sí, se advierte que todas son derivables de un corto número de ellas, sujetándolas á ciertas modificaciones constantes, ó como se dice en mineralogía á las leyes de simetría. Estas formas fundamentales en número de seis, pertenecen á otros tantos tipos cristalinos, denominados por su órden, *el cúbico, el romboédrico, el prismático recto de base cuadra-*

da, el prismático recto de base rectangular, el prismático oblicuo de base rectangular, y el prismático oblicuo de base paralelogramica oblicuangular.

587. **Dimorfismo.** La forma cristalina ha sido mirada como característica ó bastante diferencial para conocer por ella los cuerpos, en la creencia de que cada sustancia tenia una forma única; pero despues se han descubierto algunas escepciones. La cal carbonatada que cristaliza ordinariamente en el sistema romboédrico, suele encontrarse en prismas rectos, pertenecientes al prisma recto de base rectangular. El azufre cristalizado por fusion se presenta en prismas prolongados oblicuos derivados del 5.º sistema, en tanto que los cristales naturales y los que salen de la disolucion del sulfuro de carbono son octaedros derivados del 4.º *Las sustancias que cristalizan en formas de dos tipos, llámense dimorfas, y dimorfismo el fenómeno*

588. **Isomorfismo.** Comparadas las formas cristalinas de algunos cuerpos se encuentra tanta semejanza entre ellas que parecen enteramente iguales; es decir, que dan márgen para creer que así como un solo cuerpo cristaliza en dos sistemas, dos ó mas cuerpos lo hacen bajo formas idénticas; sin embargo, la *identidad no pasa de ser aparente; pues medidos con todo rigor los ángulos de estos cristales, sus valores se diferencian bastante para separarlos y dar á cada sustancia los que le pertenecen.* Los cuerpos que se conducen de esta manera en la cristalización, tienen todavia otros puntos de contacto, cuales son: la composicion química y la facultad de *sustituirse en proporciones cualesquiera en un mismo cristal.* De aquí el encontrar cristales compuestos de dos ó mas sustancias y el que podamos reproducirlos. Sumergiendo un cristal de sulfato de hierro en una disolucion saturada de sulfato de cobre, la cristalización continúa con toda regularidad y el cristal se cubre de una capa de esta sustancia; pasándole despues á la disolucion de sulfato de hierro sucede lo mismo, de manera que repitiendo el cambio entre estas dos disoluciones se forma un cristal complejo, segun lo demuestra la alternativa de color en la fractura. El valor de los ángulos de semejantes cristales no es el de ninguna de las dos sustancias; es un valor intermedio, mas ó menos próximo del de cada una de ellas

segun la relacion en que hayan entrado y la temperatura de la cristalización.

Las cuerpos que, salvas algunas diferencias en el valor de sus ángulos, son susceptibles de cristalizar en formas semejantes derivadas del mismo sistema cristalino, y de sustituirse en proporciones cualesquiera, se llaman isomorfos, é isomorfismo el fenómeno. El isomorfismo es un fenómeno de útiles aplicaciones en la teoria atomística, sirviendo para determinar la composicion de un cuerpo, conocida que sea la de otro isomorfo.

LECCION XCVIII.

Division de los cuerpos en metaloides y metales; número de los cuerpos simples y estado en que se encuentran.—Tabla de los cuerpos simples. caracteres de los ácidos, de las bases y de los compuestos indiferentes; acción reciproca de unos cuerpos sobre otros; agentes, reactivos, análisis y síntesis.

589. **Metaloides y metales.** Dividense los cuerpos simples en dos grandes secciones, en *metaloides* y *metales*. Los *metaloides*, son malos conductores del calor y de la electricidad, no tienen brillo metálico ni lo adquieren con el pulimento, y son bastante electro-negativos. Los metales, son buenos conductores del calor y de la electricidad, de un brillo especial y característico; reciben buen pulimento y son mas electro-positivos que los metaloides. Los caracteres asignados á los dos grupos estan muy lejos de pertenecerles esclusivamente, una vez que hay cuerpos que tienen parte de todos ellos. El carbono en el diamante presenta todos los caracteres de metaloide, y en el grafito ya tiene brillo metálico y bastante conductibilidad para los flúidos mencionados; el arsénico por el brillo y la conductibilidad puede figurar entre los metales, en tanto que por las propiedades químicas es muy parecido al fósforo.

Los cuerpos simples conocidos en el dia son 62; de los cuales, á la temperatura y presión ordinarias, cinco son gaseosos, *el oxígeno, fluor, cloro, azoe ó nitrógeno y el hidrógeno*; dos líquidos, *el bromo y el mercurio*, y sólidos los cincuenta y cinco restantes. El nombre de estos cuerpos y el orden de su categoria eléctrica figuran en la

tabla adjunta, de modo que cada uno es electro-positivo respecto de los que están antes, y electro-negativo para los que están despues. El mas electro-negativo es el oxígeno y el mas electro-positivo el potasio. Hay además en la tabla ciertos números de que hablaremos mas adelante.

NOMBRES.		PESOS.		
Españoles.	Latinos.	Fórmulas.	Equivalentes.	Atomísticos.
Oxígeno.....	Oxygenum.....	O	100	100
Fluor.....	Fluorum.....	F	253,454	117,717
Cloro.....	Clorūm.....	Cl	445,028	221,064
Bromo.....	Bromum.....	Br	999,062	490,081
Iodo.....	Iodum.....	I	1585,992	792,996
Azufre.....	Sulphur.....	S	200, 75	200, 75
Selenio.....	Selenium.....	Se	495,285	495,285
Fósforo.....	Phosphorus....	P	400, 00	200, 00
Nitrógeno.....	Nitrogenum....	N	175, 6	87, 53
Carbono.....	Carbonicum....	C	75, 12	75, 12
Boro.....	Borum.....	B	156,204	156,204
Silicio.....	Silicium.....	Si	277,778	277,778
Arsénico.....	Arsenicum.....	As	958, 80	469, 40
Cromo.....	Chromum.....	Cr	657, 74	528, 87
Vanadio.....	Vanadium.....	V	856,892	856,892
Molibdeno.....	Molybdenum...	Mo	596, 10	596, 10
Tungsteno.....	Wolframium...	W	1188, 56	1188, 56
Antimonio.....	Stibium.....	Sb	1612,905	806,452
Teluro.....	Tellurum.....	Te	801, 76	801, 76
Pelopio.....	Pelopium.....	Pp	»	»
Ilmenio.....	Ilmenium.....	Il	1786, 59	»
Niobio.....	Niobium.....	Nb	1251, 55	»
Tántalo.....	Tantalum.....	Ta	1148,365	1148,365
Titano.....	Titanium.....	Ti	501, 55	501, 55
Oro.....	Aurum.....	Au	2458, 55	1229,165
Hidrógeno.....	Hydrogenum...	H	12, 50	6, 25
Osmio.....	Osmium.....	Os	2485,248	1242,624
Rutenio.....	Ruthenium.....	Ru	246,000	»

NOMBRES.			PESOS.	
Españoles.	Latinos.	Fórmulas.	Equivalentes.	Atomísticos.
Iridio.....	Iridium.....	Ir	2464, 16	1232, 8
Platino.....	Platinum.....	Pt	1252, 8	1252, 8
Rodio.....	Rhodium.....	R	651,962	651,962
Paladio.....	Palladium.....	Pd	665,447	665,447
Plata.....	Argentum.....	Ag	1349, 66	2349, 66
Mercurio.....	Hidrargirum...	Hg	1251, 29	1251, 29
Urano.....	Uranium.....	U	742,875	742,875
Cobre.....	Cuprum.....	Cu	395, 60	395, 60
Bismuto.....	Bismutum.....	Bi	1350,377	1350,377
Estaño.....	Stannum.....	Sn	735,294	735,294
Plomo.....	Plumbum.....	Pb	1294,645	1294,645
Cadmio.....	Cadmium.....	Cd	696,767	696,767
Zinc.....	Zincum.....	Zn	406,591	406,591
Niquel.....	Nicolum.....	Ni	369, 55	369, 55
Cobalto.....	Cobaltum.....	Co	368, 65	368, 65
Hierro.....	Ferrum.....	Fe	550,527	550,527
Manganeso.....	Manganicum..	Mn	344,684	344,684
Cerio.....	Cerium.....	Ce	590,800	»
Lantano.....	Lanthanum...	La	588,500	»
Didimio.....	Didymium....	D	620,000	»
Erbio.....	Erbium.....	E	»	»
Terbio.....	Terbium.....	Tr	»	»
Torinio.....	Thorinium....	Th	743, 86	743, 86
Zirconio.....	Zirconium.....	Zr	839,456	419,728
Itrio.....	Ittrium.....	Y	402,514	402,514
Glucinio.....	Glucium.....	G	174,148	87,124
Aluminio.....	Aluminium...	Al	541, 80	170, 90
Magnesio.....	Magnesium....	Mg	158, 14	158, 14
Calcio.....	Calcium.....	Ca	551,651	551,651
Estroncio.....	Strontium.....	Sr	545,929	545,929
Báριο.....	Barium.....	Ba	855, 29	855, 29
Litio.....	Lithium.....	Li	81, 66	81, 66
Sódio.....	Natrium.....	Na	289,729	289,729
Potasio.....	Kalium.....	K	488,856	488,856

590. **Ácidos y bases.** Los compuestos inorgánicos binarios, pueden dividirse en *ácidos, básicos é indiferentes*. Llámense *ácidos, los que enrojecen las tinturas de tornasol y del jarabe de violetas, que devuelven á la cúrcuma su color amarillo enrojecido por las bases, y que siendo solubles dán un sabor ácido; bases, las que enrojecen la tintura amarilla de la cúrcuma, enverdecen el jarabe de violetas y devuelven el color azul á la tintura enrojecida por los ácidos; y cuerpos indiferentes los que no alteran el color de las sustancias vegetales*. Estos caracteres son fáciles de reconocer cuando los cuerpos son solubles, en el caso contrario para clasificarlos de ácidos ó de bases, es necesario someterlos á la pila eléctrica y ver á qué polo se dirigen. Los ácidos, siendo mas electro-negativos, se dirigen al polo positivo, y las bases, como mas electro-positivas, al negativo.

591. **Agentes, reactivos.** Los caracteres que sirven de base para hacer esta clasificacion son una consecuencia de las acciones recíprocas que ejercen unos cuerpos sobre otros, dependientes en su mayor parte de la fuerza de afinidad. Cuando los componentes de un cuerpo tienen mucha afinidad, se dice que es muy *estable*, y si por el contrario es pequeña, se descompone con facilidad, ó es *poco estable*. Fundados en esto, si en contacto ó en *presencia* del cuerpo AB se pone el C, con mas afinidad con A que la que tiene B, se forma el compuesto AC, y se dice que C desaloja ó sustituye á B dejándolo *libre ó aislado*; si AC es gaseoso y se desprende el cuerpo B queda *reducido*. La reaccion puede ser mas complicada. Reunidos dos cuerpos AB y CD, tales que A tenga con C mas afinidad que con B, y D mas con B que con C, se descomponen y recomponen recíprocamente y forman los nuevos cuerpos mas estables AC y BD. Estos fenómenos necesitan algunas veces el intermedio de ciertas fuerzas que bajo este punto de vista toman el nombre de *agentes*; de manera que es *agente toda fuerza ó todo cuerpo empleado en la separacion de los elementos de una combinacion*. Cuando el fin de estos medios es reconocer ó patentizar la presencia de este ó el otro cuerpo, descubriendo alguna de sus propiedades características, se llaman *reactivos*. Las tinturas vegetales al darnos á conocer la presencia de los ácidos y de las bases, hacen el papel de verdaderos reactivos.

Tanto los agentes como los reactivos son empleados en el *análisis* y en la *síntesis*. *El análisis es el medio de descomponer los cuerpos, y puede ser: cualitativo, si se trata de saber les sustancias que hay en un cuerpo, y cuantitativo si se busca cuál es el peso y volumen de sus elementos; síntesis es la operación inversa, ó la composición de los cuerpos.*

LECCION XCIX.

Fundamentos de la nomenclatura química.—Regla de los ácidos formados por el oxígeno.—Idem de los óxidos.—Idem de las sales formadas por la combinación de un ácido con una base; papel que desempeña el agua.—Compuestos en uro—Hidrócidos.—Aleaciones.—Amalgamas.

592. **Nomenclatura química.** Los nombres de los cuerpos simples no guardan, por regla general, ninguna analogía con sus propiedades; al contrario, mas bien pudiéramos decir que algunos envuelven ideas equivocadas, hijas de haber creído al conocerlos que ciertas propiedades les pertenecían esclusivamente, y que la experiencia las ha encontrado despues en otros varios; el oxígeno, el fósforo y el azoe, por ejemplo, significan que el primero engendra los ácidos, que el segundo lleva luz, y que el tercero priva de la vida, y sin embargo hay otros que forman ácidos, que son fosforescentes en la oscuridad y gases que matan á los animales que los respiran. Afortunadamente esta confusión no la hay en los compuestos, donde los nombres dan á conocer sus elementos y las relaciones en que entran. *El conjunto de reglas destinadas á dar nombre á los compuestos inorgánicos forman la nomenclatura química.* Estas reglas y sus escepciones las daremos por separado para los *óxidos*, para los *ácidos*, para las *sales*, para los compuestos en *uro*, y para las *aleaciones* y *amalgamas*.

593. **Nomenclatura de los ácidos.** Los ácidos de que vamos á ocuparnos son *compuestos binarios formados por la combinación del oxígeno con otros cuerpos simples*. Estos compuestos tienen dos nombres, uno genérico, el de *ácidos*, y otro específico formado con el nombre castellano ó latino del cuerpo combinado con el oxígeno, terminándole en *ico* ó en *oso*; se termina en *ico* el

compuesto que tiene mas oxígeno, y en oso el que tiene menos. El cloro combinado con el oxígeno forma los ácidos *clórico* y *cloroso*. Dada esta regla se descubrieron otros ácidos; unos que tienen mas oxígeno que los terminados en ico; otros que tienen menos, pero mas que los terminados en oso; y otros con menos que estos últimos. Para nombrar semejantes compuestos se usa la preposición *hiper* ó *per*, que quiere decir *sobre*, para los primeros; la de *hipo*, que significa *debajo*, para los segundos y terceros. Estas preposiciones, antepuestas al nombre específico de los ácidos correspondientes, sirven para indicar otros con mas ó menos oxígeno respectivamente que ellos, y son *el ácido hiper-clórico, el ácido hipo-clórico y el ácido hipo-cloroso*. De manera, que los ácidos formados por el oxígeno con el cloro, con el azufre y con el nitrógeno, tienen los nombres siguientes:

<i>ácido perclórico</i>	<i>ácido sulfúrico.</i>	<i>ácido nítrico</i>
<i>ácido clórico</i>	<i>ácido hipo-sulfúrico.</i>	<i>ácido hipo-nítrico</i>
<i>ácido hipo-clórico</i>	<i>ácido sulfuroso</i>	<i>ácido nitroso</i>
<i>ácido cloroso</i>	<i>ácido hipo-sulfuroso</i>	<i>ácido hipo-nitroso</i>
<i>ácido hipo-cloroso</i>		

594. Nomenclatura de los óxidos. Llámense *óxidos* los compuestos binarios básicos é indiferentes, formados por el oxígeno con los demás cuerpos simples. El nombre genérico es el de *óxidos*, y el específico el del cuerpo combinado con el oxígeno. Por eso se dice *óxido de carbono, óxido de hierro y óxido de plomo, etc.*; pero como el oxígeno forma con el mismo cuerpo diferentes óxidos, para distinguirlos se les anteponen los ordinales griegos, *proto, deuto, trito...* que significan *el primero, segundo, tercer...* grado de oxidacion. Aplicando esta regla á los tres óxidos del manganeso los llamaremos *protóxido de manganeso, deutóxido de manganeso y tritóxido de manganeso*. Pero habiendo demostrado la esperiencia que cuando los cuerpos se combinan lo hacen en relaciones definidas y sencillas (580), ha parecido mas conveniente sustituir los ordinales por las numerales *mono, sesqui, bi, tri, etc.* que espresan *una parte, parte y media, dos partes, etc.*, y en este concepto se dice *monóxido, sesquióxido, y bióxido de manganeso*; con lo cual sabemos que en el sesquióxido y en el bióxido hay vez y media y dos veces tanto oxígeno como en el protóxido. El menor y el mayor gra-

do de oxidacion suelen llamarse sin embargo *protóxido* y *peróxido*. Se ha pretendido dar á los óxidos las terminaciones en *ico* y en *oso* de los ácidos, pero semejante reforma ofrecia graves dificultades en la formacion de los compuestos, y no ha sido admitida. Los óxidos de algunos metales conservan aun sus nombres antiguos, que es bueno conocer por lo mucho que se usan: la *alúmina*, la *magnesia*, la *cal*, la *estronciana*, la *barita*, la *sosa* y la *potasa*, son los óxidos de *aluminio*, *magnésio*, *calcio*, *estroncio*, *bario*, *sódio* y *potasio*.

595. **Nomenclatura de las sales.** Las *sales*, cuyas reglas de nomenclatura vamos á dar, son la *combinacion de un ácido con una base*. Como el ácido es el cuerpo mas electro-negativo y el óxido ó la base el mas electro-positivo, al combinarse puede quedar en esceso parte del ácido, parte del óxido ó base, ó quedar completamente neutralizados; en el primer caso las sales son ácidas, básicas en el segundo, é indiferentes en el tercero. En las *sales* el nombre *genérico* se toma del ácido, y el *específico* es el mismo de la base; *fórmase el genérico cambiando la terminacion de los ácidos en ato ó en ito segun que ellos lo estén en ico ó en oso*; los ácidos sulfúrico y nítrico forman los *sulfatos* y los *nitratos*, y los *sulfuroso* y *nitroso*, los *sulfitos* y *nitritos*. Segun esto, las combinaciones del ácido sulfúrico con el protóxido y sesquióxido de potasa, se llaman *sulfato de potasa*, y *sulfato de sesquióxido de potasa*; y á las de los ácidos carbónico y fosfórico con el óxido de calcio, *carbonato de cal*, y *fosfato de cal*; por iguales razones se dice *sulfito de cal*, y *sulfito de protóxido de manganeso*. Los ácidos hipo-sulfúrico é hipo-clórico forman los *hipo-sulfatos* y los *hipo-cloratos*, y los hipo-sulfuroso é hipo-cloroso los *hipo-sulfitos* y los *hipo-cloritos*. Con el mismo peso de una base combinanse diferentes cantidades de ácido, en las relaciones sencillas de que mas de una vez hemos hecho mencion; pues bien, para nombrar estos compuestos basta *poner antes del nombre genérico las partículas correspondientes*; sirva de ejemplo el *sesqui-carbonato de sosa*, que tiene vez y media tanto ácido como el carbonato. Cuando la base es la que está en esceso se llaman *subsalses*, y se nombran poniendo antes de ellas *el de las partículas partitivas de sus cantidades*; como por ejemplo, el *nitrato bibásico de plomo*. Si dos sales del mismo ácido se combinan, forman una sal *doble* ó de

doble base, y se denominan añadiendo *al nombre del ácido, el de las dos bases*, dando principio por la *mas electro-negativa*. Los sulfatos de potasa y de alúmina dan el *sulfato de alúmina y potasa*.

El agua es un compuesto que hace veces de *ácido* con las bases enérgicas, y de *base* con los ácidos fuertes. El nombre genérico de las combinaciones formadas en el primer caso es el de *hidratos*, y se dice *hidrato de cal, hidrato de potasa, hidrato de protóxido de hierro*. En el segundo caso debieran seguirse las reglas establecidas y llamar *sulfato y fosfato de agua*, ó *sulfato y fosfato de protóxido de hidrógeno*, á las combinaciones de los ácidos sulfúrico y fosfórico con el agua; mas por desgracia se hace una escepcion diciendo ácido sulfúrico *hidratado*, ácido fosfórico *hidratado*, etc. Y combinándose los ácidos con diferentes porciones de agua, se significa esta circunstancia con las partículas de costumbre, de modo que decimos ácido sulfúrico *proto ó monohidratado, bihidratado, etc.*

596. **Compuestos en uro.** *Las combinaciones de los metaloides con los metaloides, excepto el oxígeno, y de los metaloides con los metales, llámense compuestos en uro.* Su nomenclatura es como sigue: *el nombre genérico se forma con el del cuerpo mas electro negativo terminado en uro, siendo el específico el del cuerpo mas electro-positivo.* De manera, que el *cloruro de sódio* y el *sulfuro de carbono*, son las combinaciones del cloro con el potasio, y del azufre con el carbono. Cuando el cuerpo electro-negativo entra en diferentes relaciones, se espresan estas como en los casos anteriores, y se dice *proto-sulfuro de hierro, sesqui-sulfuro de hierro, bi-sulfato de hierro; proto-cloruro de mercurio, sesqui-cloruro de mercurio, etc.*

597. **Hidrácidos.** Las combinaciones de algunos metaloides con el hidrógeno y con los metales, dan lugar á tantas escepciones en las reglas establecidas que casi constituyen una nomenclatura especial. El fluor, cloro, bromo, iodo, azufre y selenio, *hacen con el hidrógeno ácidos enérgicos, llamados hidrácidos*, por haber creido desempeñaba en ellos el hidrógeno un papel análogo al del oxígeno en los otros ácidos, ó en los oxácidos, pero despues se ha visto que el hidrógeno era siempre *electro-positivo*. La regla de nomenclatura consiste en darles el nombre de ácidos y añadir despues el del cuer-

po electro-negativo, terminando en *hídrico*; por eso se dice *ácido fluorhídrico*, *ácido clorhídrico*, *ácido bromhídrico*, *ácido iodhídrico*, y *ácido selenhídrico*.

El hidrógeno dá con otros metaloides compuestos gaseosos que tienen poca ó ninguna influencia sobre las tinturas vegetales, cuyos nombres tampoco siguen la ley general; para llamarlos se añade despues del nombre *hidrógeno*, el del otro metaloide con la terminacion en *ado*; el hidrógeno con el carbono forma el *gas hidrógeno carbonado*, y con el fósforo el *gas hidrógeno fosforado*.

Las combinaciones de los metaloides con los metales, pueden ser *ácidas*, *básicas* é *indiferentes*, las cuales combinándose unas con otras, forman verdaderas sales. Los cloruros y sulfuros ácidos suelen denominarse *clorácidos* y *sulfácidos*, que con los cloruros y sulfuros básicos ó indiferentes dan las *clorosales* y *sulfosales*; por ejemplo, el sulfuro ácido de carbono con el monosulfuro de potasio produce el *sulfo-carbonato de monosulfuro de potasio*.

598. **Aleaciones, amalgamas.** Las combinaciones de los metales unos con otros se llaman *aleaciones*; se denominan añadiendo á la palabra *aleacion* los nombres de los metales que entran en ellas por el orden de su categoría eléctrica; así se dice *aleacion de cobre, estaño y zinc*. Cuando entra en ellas el *mercurio* toman el nombre de *amalgamas*; pero en este caso se suprime su nombre; y *amalgama de estaño, amalgama de plata, etc.* es la union del mercurio con estos metales.

LECCION C.

Signos y fórmulas químicas, aplicaciones.—Equivalentes químicos.—Teoría atómica; principios fundamentales sobre que descansa.

599. **Signos y fórmulas químicas.** Si hubiéramos de escribir los cuerpos simples y compuestos y todas sus reacciones por el método ordinario, encontraríamos casi las mismas dificultades que en los cálculos de la aritmética y del álgebra sin números y sin signos; y por eso se ha creado la *formulacion química*, ó el medio de representar los cuerpos por alguna ó algunas letras iniciales; las

de los cuerpos simples son las de la columna 3.^a pág. 424. Los compuestos se representan con las letras de sus elementos, dando *principio* por las del mas *electro-positivo*; pero como los mismos cuerpos forman varias combinaciones segun las cantidades en que entran, es preciso unir á las letras números que representen las proporciones en peso ó en volúmen de cada uno de ellos. Estos números se ponen bajo la misma forma que los coeficientes y los esponentes; pero en este último caso, si bien conservan la significacion de los primeros, no alcanzan mas allá del signo sobre el cual están; por supuesto, tanto unos números como otros, dán á conocer las relaciones de las cantidades que entran en una combinacion de orden superior, sirviendo de base la del compuesto mas inferior. Un ejemplo de todo lo encontramos en las combinaciones del azoe ó nitrógeno con el oxígeno, en las cuales, para una misma cantidad del primero, las del segundo son como los números 1, 2, 3, 4, 5; siendo la fórmula del protóxido AzO , la del bióxido es AzO^2 , y AzO^3 , AzO^4 y AzO^5 la de los ácidos nitroso, hiponítrico y nítrico. Si en lugar de las iniciales de azoe tomamos la de nitrógeno, las formulas son las siguientes: NO , NO^2 , NO^3 , NO^4 y NO^5 : el manganeso y el oxígeno dán cinco compuestos que son: el protóxido MnO , el sesquióxido Mn^2O^3 , y el bióxido MnO^2 : el ácido magnánico MnO^3 y el ácido pérmangánico Mn^2O^7 .

En las sales se escribe el signo de la base, un punto ó una coma y despues el del ácido. Las fórmulas PbO,SO^2 ; KO,NO^3 representan el sulfato de plomo y el nitrato de potasa. En el caso de entrar el ácido ó la base en ciertas proporciones, se ponen antes de su nombre, en forma de coeficientes, los números que las señalen, tal sucede en las fórmulas $Mn^2O^3,5SO^2$ y $2PbO,NO^3$; pues en la primera hay tres veces el peso del ácido SO^2 , y en lo segundo dos veces el de la base PbO .

690. **Equivalentes quimicos.** Examinados los compuestos del mismo orden que forman los cuerpos m y n con los a, b, c, d , encontramos que el peso de n capaz de desolozar y reemplazar á m en el compuesto am formando el an , es suficiente para reemplazarlo en todos los demás; podemos pues decir, *tal peso de n es equivalente á tal otro de m*; de la propia manera, los pesos de los

cuerpos *a, b, c, d*, que se combinan con cierto peso de *m* para hacer compuestos del primer orden, son equivalentes entre sí; pues ahora bien, si *m* es el oxígeno y según es costumbre se toman de él 100 partes en peso ó en volúmen, *los equivalentes de los cuerpos simples son los pesos ó volúmenes necesarios para formar con 100 de oxígeno el primer grado de oxidación*; suele ya tomarse el peso del hidrógeno como de unidad. Los equivalentes químicos se llaman también *números proporcionales*. El equivalente de los cuerpos compuestos es la suma de los equivalentes de sus elementos.

601. **Teoría atómica.** *La teoría atómica tiene por objeto conocer el número y peso relativo de los átomos de cada cuerpo; se admite pues, la existencia de átomos impenetrables é indivisibles, y que las combinaciones solo pueden hacerse por justa posición. La forma de los átomos es desconocida, porque no podemos aislarlos, pero se les supone generalmente esféricos, si bien hay quien les da una forma diferente en todos los cuerpos simples, y pretende explicar de esta manera la mayor ó menor fuerza de afinidad con que se atraen. Aparte de lo espuesto, aun es indispensable admitir que todos los gases bajo la misma temperatura y presión tienen los átomos á igual distancia; mas claro, que los gases en estas condiciones encierran bajo el mismo volúmen igual número de átomos. De aquí se deduce inmediatamente que los pesos de los átomos son proporcionales á las densidades de los gases; y si se representa el peso atómico del oxígeno por 100, una simple proporción nos dará el de todos los demás con relación á él; y dividiendo por este peso las densidades de los cuerpos, el cociente expresará el número de átomos. Este método solo es aplicable á los cuerpos gaseosos, ó reducidos al estado de vapor; en los sólidos y en los líquidos, es preciso valerse del calorífico específico ó del isomorfismo. El método del calorífico específico se funda en el hecho de que, multiplicando por él el equivalente de los cuerpos simples dá una cantidad constante ó próximamente constante, por lo cual se ha creído que los átomos de los cuerpos simples tienen todos la misma capacidad calorífica, y por consiguiente los números de átomos son proporcionales á los calores específicos. El isofirmo sirve para hallar la composición de ciertos cuerpos, conocida que sea la de uno de sus isomorfos, pues no variando de forma*

en las sustituciones que hay entre ellos, es muy natural que se compongan del mismo número de átomos.

LECCION CI.

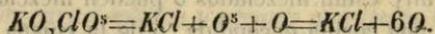
Oxígeno é hidrógeno.—Propiedades principales.—Su estado y preparación.—Teoría y fórmula de la reacción; aplicaciones.—Lámpara filosófica.

602. **Oxígeno.** El oxígeno es un *gas permanente, sin olor, color, ni saber, y poco soluble en el agua*; su densidad es 1,105, y su potencia refractiva 0,924. No se encuentra *solo ó aislado en la naturaleza*, pero unido á otros cuerpos es sumamente abundante: mezclado con el nitrógeno constituye el aire; combinado con el hidrógeno forma el agua, y con los demás cuerpos simples dá gran número de compuestos.

El oxígeno es indispensable para la *respiración*: los animales no viven sin él, y la atmósfera sin este gas los priva de la vida. Sin embargo, el oxígeno puro es impropio para sostenerla, pues un pájaro metido en una campana que lo contenga, muere al cabo de poco tiempo; al principio dá muestras de mucha actividad, mas luego la pierde y sucumbe. Es un elemento casi indispensable á la *combustion*, y cuando está puro la favorece hasta el punto que una cerilla con un punto en ignición, al introducirla en él se enciende de repente y arde con mucho brillo. El experimento es mas vistoso metiendo en un frasco lleno de oxígeno una espiral de hierro con un poco de yesca encendida en la parte inferior y sujeta al corcho con que se cierra el frasco por la parte superior (fig. 327). La yesca arde con llama, y propagada esta á la espiral la enrojece y la funde en pequeñas gotas ó glóbulos, que saltan en todas direcciones con un brillo deslumbrador, y con una temperatura tan grande que suelen romper el frasco.

603. **Estracción.** Para estraer el oxígeno y recogerlo en frascos ó campanas, es necesario separarlo de algunos de sus compuestos; muchos óxidos y algunas sales pueden emplearse para ello. Calentando en una retorta de barro de Zamora (fig. 328), el *peró-*

óxido de manganeso, suelta una parte del oxígeno y se trasforma en protóxido. Añadiendo un poco de ácido sulfúrico concentrado, la operacion puede hacerse con menos fuego en un matraz de vidrio; el ácido se combina con el protóxido para formar el sulfato, y el oxígeno restante se desprende. *El clorato de potasa* tambien es muy á propósito, y basta calentarlo en una retorta de vidrio, teniendo cuidado de supender la operacion cuando se hincha, para que no se funda el vidrio y se rompa. La reaccion es como sigue: la sal se descompone por la influencia del calor en ácido clórico y en potasa, y estos á su vez en cloro, potasio y oxígeno; el cloro y el potasio forman el cloruro de potasio, que queda en la retorta, y el oxígeno se desprende. La fórmula es:



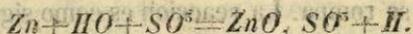
Para trasvasar los gases se dirigen del sitio de su desprendimiento por medio de un tubo encorvado, á una campana llena de agua, ó mercurio, y puesta boca abajo sobre una tabla de la cuba hidroneumática, ó hidrargiro-neumática, el gas llega por el tubo á la campana, se eleva en virtud de su menor densidad específica, desaloja el líquido que contiene y poco á poco lo reemplaza por completo.

604. **Hidrógeno.** *El hidrógeno es un gas permanente, sin color, olor, ni sabor, poco soluble en el agua, y catorce veces menos pesado que el aire, pero mas refringente; su densidad es 0,0691 y su potencia refractiva 6,61. Es impropio para la combustion y para la respiracion: los cuerpos encendidos se apagan en él, y los animales que lo respiran pierden la vida. Esta última circunstancia tiene lugar en los gases por dos razones bien diferentes; por no servir para cambiar la sangre venenosa en sangre arterial, ó por originar accidentes mas ó menos graves en nuestro organismo, en cuyo caso se conducen como venenos.*

605. **Estraccion.** El hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza, pero se estrae fácilmente del agua, uno de sus compuestos. En un frasco de dos bocas (fig. 329) se echan pedacitos de hierro ó de zinc, y agua hasta los dos tercios de su altura; á la boca lateral se ajusta el tubo conductor de los gases, y por el cuello se hace pasar otro, de forma de embudo, hasta cerca del fondo; echando áci-

do sulfúrico por él, al llegar sobre el zinc hay efervescencia y el hidrógeno se desprende.

La reacción es como sigue: el agua en contacto del zinc y del ácido sulfúrico se descompone, el oxígeno se une al metal para formar el óxido, que combinado con el ácido da el sulfato de zinc y se disuelve, y el hidrógeno queda en libertad. De suerte que podemos escribir:



El hidrógeno es un cuerpo bastante combustible y se inflama con suma facilidad; en el aire se combina con el oxígeno y arde con llama aunque poco luminosa, produciendo agua en vapor. Cuando el hidrógeno y el aire están mezclados ó pueden mezclarse de repente, la presencia de una cerilla encendida, ó de la chispa eléctrica, basta para inflamarlos, produciendo una fuerte detonación. El ruido de la explosión es mayor con la mezcla llamada *detonante*, compuesta de dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno. El pistolete de Volta se funda precisamente en esto mismo. En las cátedras se hace el experimento poniendo agua de jabón en un mortero, soplando después con una vejiga que contenga la mezcla detonante hasta llenarlo de burbujas, y aproximando una cerilla encendida se produce la explosión. La combinación del oxígeno y del hidrógeno da una temperatura muy elevada, que se aprovecha en mineralogía por la fusión de los cuerpos muy refractarios.

606. **Lámpara filosófica.** Este curioso aparato se compone de una vasija mas ó menos elegante (fig. 330), que tiene zinc, agua, ácido sulfúrico y un pequeño surtidor por donde sale el hidrógeno desprendido. Para inflamar el gas hay dos medios; ó dirigir el surtidor sobre un poco de musgo de pialino que se enrojece é inflama el hidrógeno, ó poner un electroforo cuya chispa salte entre dos puntas por entre las cuales sale el gas. Antes de encender el surtidor conviene esperar á que pase un poco de tiempo después de vertido el ácido sulfúrico, con el objeto de que el hidrógeno desaloje el aire de la vasija y se evite, acaso, una explosión.

LECCION CII.

Fluor.—Cloro: propiedades principales: agua clorurada.—Estraccion; fórmulas de las reacciones.—Bromo y iodo.—Propiedades de estos cuerpos; influencia sobre la economía animal; estraccion siguiendo el método del cloro.

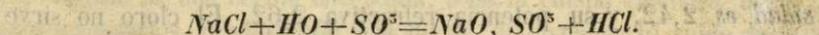
607. **Fluor.** El fluor es un cuerpo gaseoso casi hipotético, tan corrosivo que ataca y destruye todas las vasijas, oponiendo así dificultades, insuperables hasta el día, á su aislamiento.

608. **Cloro.** El cloro es un cuerpo gaseoso á la temperatura y presión ordinarias, de color amarillento verdoso, de sabor desagradable y de olor característico y picante que escita la tos; su densidad es 2,42, y su potencia refractiva 2,62. El cloro no sirve para la combustion de las sustancias orgánicas ni para la vida; apaga una cerilla encendida y mata los animales que lo respiran. Con algunos cuerpos inorgánicos tiene energías afinidades; echando en un matraz que le contenga polvo de arsénico, de antimonio, ó de estaño, se verifica la inflamacion antes de llegar al fondo. Sometido el cloro á la presión de 4 ó 5 atmósferas y á bajas temperaturas, se convierte en un líquido de color mas pronunciado y muy volátil, que vuelve de repente al estado gaseoso cuando aquellas cesan.

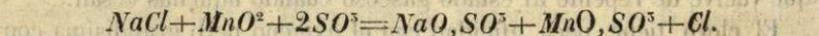
El cloro tiene poca afinidad con el oxígeno pero grandísima con el hidrógeno: la mezcla de estos dos gases en partes iguales se inflama instantáneamente con detonacion por el mero hecho de atravesarla los rayos del sol. El agua disuelve diferente cantidad segun la temperatura y la presión; á 40° disuelve tres volúmenes, pero la disolucion no se conserva pura sino en la oscuridad; bajo la influencia de la luz se descompone el agua y forma con el hidrógeno el ácido clorhídrico. El agua clorurada, llamada malamente cloro líquido, adquiere la facultad decolorante, y es muy empleada para el blanqueo de las telas de lino y algodón, de la pasta de papel, y para quitar las manchas de tinta. Úsase como desinfectante.

609. **Estraccion.** El cloro no se encuentra en la naturaleza mas que combinado: unido al sodio forma el cloruro de sodio ó sal comun. Para extraerlo en pequeñas porciones, segun se necesitan en

las esperiencias de una clase elemental, basta poner en un globo de vidrio (fig. 351), 1 parte de peróxido de manganeso reducido á polvo fino, 4 de sal comun y 2 de ácido sulfúrico concentrado estendido en su peso de agua, y agitarlo todo ligeramente. El globo se colora bien pronto con el gas que se desprende, que podemos recoger directamente, atendiendo á su densidad, en matraces ó pequeñas campanas. Favorécese el desprendimiento del gas aplicando al globo la llama de una lámpara de alcohol, ó elevando ligeramente la temperatura. La reaccion consta de dos partes: el cloruro de sodio y el agua en semejantes circunstancias se descomponen: el cloro se combina con el hidrógeno para formar el ácido clorhídrico, y el sodio con el oxígeno dá la sosa, que combinada con una parte del ácido sulfúrico forma el sulfato de sosa.



Ahora bien, los ácidos sulfúrico y clorhídrico, con el peróxido de manganeso, reaccionan otra vez; los dos últimos se descomponen de nuevo, el hidrógeno del ácido clorhídrico reduce el peróxido á protóxido, combinándose con el oxígeno para formar el agua, y el ácido sulfúrico apoderándose del protóxido dá el sulfato correspondiente, mientras que el cloro queda libre y se desprende. La última reaccion es pues:



610. **Bromo.** *El bromo es líquido á la temperatura ordinaria, de un olor característico y desagradable, su color es rojo oscuro mirado por reflexion y amarillo rojizo por refraccion, cuando el espesor es pequeño. La densidad es 2,97, y la del vapor, con relacion al aire, 5,59. A la temperatura de —20° se solidifica y presenta la estructura cristalina hojosa, de color agrisado. A 47° entra en ebullicion y sus vapores son empleados en los retratos daguerrianos. El bromo es un veneno enérgico y ataca con fuerza á los órganos de la respiracion.*

Las combinaciones del bromo con los cuerpos simples parécense bastante á las del cloro; así que tiene poca afinidad con el oxígeno y mucha con el hidrógeno, y por eso participa de la facultad decolorante, pero no en tan alto grado.

611. **Estraccion.** La estraccion puede hacerse del *bromuro de potasio* por un procedimiento igual al del cloro, y se esplica la reaccion cambiando una voz por otra. El recipiente tubulado (fig. 352) donde se dirige la alargadera que vá unida al cuello de la retorta, debe tenerse cubierta con paños mojados en el agua fria, á fin de condensar los vapores de bromo que se desprenden.

612. **Iodo.** El *iodo* es un cuerpo *sólido* que se presenta en laminitas ó pequeñas escamas de *color gris azulado* y de bastante brillo metálico; su *olor es desagradable* y algo parecido al del cloro; la *densidad es 4,95*, y la de su vapor 8,7 veces la del aire. Se funde á 107°, y entra en ebullicion á 180°, pero á 50 ó 60° ya esparche vapores abundantes de un hermoso color violado.

El iodo es poco soluble en el agua, y sin embargo bajo la accion de la luz la descomponé como el cloro. La disolucion de iodo es muy á propósito para reconocer la presencia del almidon, pues aunque sea en pequeñas porciones, le comunica un color azul bastante intenso. El iodo es empleado en el daguerrotipo y en medicina, no obstante que administrado interiormente en grandes dosis, obra como un veneno bastante activo.

613. **Estraccion.** Se estrae este cuerpo del *ioduro de potasio* siguiendo el mismo método que para el cloro y el bromo. Tambien se estrae de las aguas madres de la sosa que se obtienen lavando las cenizas de algunas plantas que lo contienen en el estado de ioduro de sodio ó de las aguas del mar, haciendo pasar por ellas una corriente de cloro, con lo cual el iodo se precipita y se lava y purifica despues.

LECCION CIII.

Azufre: sus propiedades físicas y diferentes medios de cristalizarle.—Estado y preparacion.—Fósforo; propiedades físicas, y afinidad con el oxígeno segun su pureza; aplicaciones.—Estado y preparacion.

614. **Azufre.** El *azufre* es un cuerpo *sólido*, de *color amarillo de limon*, insípido é inodoro, y cuya *densidad es 2,07*. Es mal conductor del calor y de la electricidad, y euando se calienta ó frota despide un olor particular y característico.

El azufre puede presentarse en los tres estados de sólido, líquido ó vapor, según la temperatura á que se le esponga, y esta propiedad sirve para purificarlo. En la naturaleza lo hay aislado ó nativo en vistosos cristales octaédricos de base romboidal; mezclado con sustancias terrosas; y combinado con los metales formando abundantes sulfuros. Es susceptible de cristalizar por las dos vías de fusión y de disolución, con la circunstancia de que por fusión forma pequeños prismas prolongados pertenecientes al 5.º tipo cristalino, y en el sulfuro de carbono cristaliza en octaédros rectos de base romboidal que son como los nativos. Sin embargo, los primeros cristales pierden con el tiempo su color amarillo, y transparencia, y se vuelven opacos y deleznales, y además examinando su polvo con el microscopio se ven cristales del 4.º sistema. Si el azufre disuelto en el sulfuro de carbono ha sido fundido poco antes, se depositan á la vez las dos clases de cristales; pero todavía ahora como entonces los del 5.º tipo pierden su color y transparencia con el tiempo, lo que prueba que no es la diferencia de temperatura la única causa del dimorfismo del azufre.

Al calentar con lentitud el azufre desde la temperatura ordinaria hasta la de ebullición, presenta las siguientes particularidades: aumentando la temperatura se oscurece y pierde su fluidez; á 160º ya no se mueve sino con dificultad, y su color es pardo; á 200º es tan viscoso que puede volverse la vasija sin derramarlo, y su color es pardo oscuro; calentándole mas, adquiere de nuevo su fluidez, y á 400º entra en ebullición y se destila. Estos estados del azufre se llaman *alotrópicos*.

615. **Estracción.** Estráese el azufre de las tierras que hay alrededor de los volcanes apagados llamados solfataras, del *bisulfuro de hierro*, y sobre todo, de los depósitos irregulares donde se encuentra algunas veces con mucha abundancia.

616. **Fósforo.** El *fósforo* es un cuerpo sólido á la temperatura ordinaria, *insípido*, de un olor ligeramente aliáceo, de color amarillo de topacio, aun cuando este carácter suele variar, y de una densidad de 1, 77. Es susceptible de cristalizar por disolución, y entonces toma la forma de dodecaédros romboidales.

A la temperatura de 44º se funde, y á la de 290º entra en ebu-

El fósforo despidiendo vapores incoloros, lo que permite destilarlo, pero es preciso tener mucho cuidado en estas operaciones por la gran facilidad con que se inflama. A la temperatura ordinaria se combina con el oxígeno y se trasforma en ácido fosforoso; así es, que metido en una campana con aire se apodera de todo su oxígeno. La combustion del fósforo es mucho mas viva en el oxígeno puro, y sin embargo á la temperatura ordinaria no se combina con él, á menos de disminuir su fuerza elástica, bien sea dilatándolo en la campana de la máquina neumática, ó mezclándolo con otro gas. La propiedad que tiene el fósforo de emitir luz en el aire, dá lugar á un experimento curioso; escribiendo en la pared con un trozo de fósforo algunas palabras, se hacen visibles en la oscuridad, y permanecen así mientras dura esta sustancia; la operacion requiere bastante cuidado, porque el fósforo se inflama por la frotacion y las quemaduras son muy peligrosas. Es de advertir, que la inflamacion del fósforo puro es mas difícil que cuando está mezclado con otras sustancias, por lo cual las cerillas necesitan de poquísima cantidad para ser buenas. El fósforo toma un color rojo en el vacío cuando está espuesto á la luz del sol, y debajo del agua adquiere una capa blanquecina. Si cuando está fundido se vierte de repente en agua fría y se calienta despues hasta cerca del punto de ebullicion, toma un color negruzco y se vuelve mucho mas pastoso que el fósforo ordinario.

617. **Estraccion.** El fósforo no se encuentra en la naturaleza mas que combinado; en el estado de *fosfato de cal* entra en la composicion de los huesos, y en el de *fosfato amónico* en la orina, de donde fué estraido la primera vez. Actualmente empléanse en su estraccion los huesos calcinados, con cuyo objeto, despues de pulverizados, se mezclan con agua y ácido sulfúrico hasta formar una papilla, para que el fosfato básico de cal pase á fosfato ácido; acto continuo se filtra esta papilla con un saco de lienzo bien tupido, y despues de evaporarla hasta la consistencia de jarabe y de mezclarla con polvo fino de carbon, se calcina todo junto hasta el rojo; metido despues en una retorta de barro y elevando mucho su temperatura, al cabo de algunas horas el fósforo desprendido en vapor se condensa en el cuello de la alargadera y en frascos preparados á

este fin. Para purificarlo, se encierra en una piel de gamuza y se mete en agua caliente hasta fundirlo, en cuyo caso comprimido así con unas pinzas, sale por los poros y toma la forma de los recipientes en que se reciba.

LECCION CIV.

Nitrógeno; propiedades principales; estado y preparacion.—Carbono; diamante, grafito y carbon mineral; carbones vegetal y animal; facultad absorbente y decolorante.

618. **Nitrógeno.** El nitrógeno ó azoe es un *gas permanente, sin olor, color ni sabor, poco soluble en el agua, y algo menos pesado que el aire*; su densidad es 0,971, y su potencia refractiva 0,02. Es impropio para la *combustion*, y *mata* los animales que lo respiran. Introduciendo una cerilla encendida en una campana llena de este gas se apaga al instante, y haciendo lo mismo con un pájaro deja pronto de vivir. Estas circunstancias son tanto mas notables cuanto que la atmósfera, donde tiene lugar la *combustion*, y en la que viven los animales, contiene 4½ partes de este gas.

619. **Estraccion.** El nitrógeno no se encuentra *libre* en la naturaleza, pero se estrae con facilidad del aire y de otros de sus compuestos. Se estrae del aire, inflamando un poco de fósforo puesto en una capsulita de porcelana que con un corcho flota sobre el agua y se cubre despues con una campana (fig. 355). La *combustion* del fósforo sigue hasta concluir con el oxígeno del aire, disolviéndose en el agua el ácido fosfórico formado. Cuando la *combustion* ha cesado, se ve que el gas de la campana está reducido á las cuatro quintas partes, lo cual prueba que el oxígeno ocupaba la restante. Este procedimiento no proporciona el gas enteramente puro, segun veremos al ocuparnos del aire, pero es suficiente para los usos experimentales ya mencionados.

620. **Carbono.** El carbono es un cuerpo sólido de propiedades físicas muy diferentes segun los estados de su agregacion molecular. Cuando está puro y cristalizado constituye el *diamante*, que no tiene olor, color ni sabor, y cuya forma es la de octaedros, de 3,55 de densidad y 3,19 de potencia refractiva. El carbono no cam-

bia de estado, porque no hay líquido que lo disuelva ni temperaturas que lo fundan; sin embargo, con las corrientes eléctricas de poderosas pilas, se ha conseguido un principio de fusión y hasta la reproducción artificial de pequenísimos diamantes. La fundición de hierro líquida disuelve á esta temperatura elevada mayor cantidad de carbono que la que puede contener al enfriarse, pero el depósito así obtenido, no obstante ser cristalino, tiene la forma de láminas negras poco coherentes, que tiznan, y que, en una palabra, forman el grafito, bien diferente por cierto del diamante. El diamante no es rayado por ningún cuerpo y él los raya todos, por ser más duro que los otros. Para *tallarlo*, es decir, para darle esta ó la otra forma, es necesario emplear su propio polvo; los diamantes pequeños y sucios se aprovechan para ello.

Mezclado el carbono con algunas centésimas de hierro, forma el *grafito ó plumbagina*, cuerpo de *color gris metálico, cristalino, untuoso al tacto, fácil de cortar con el cuchillo y que tizna con bastante regularidad*, propiedad de la que se saca partido para la construcción de *lapiceros*.

Mezclado con otros cuerpos forma el *carbon mineral ó la ulla, la antracita y el lignito*; del primero se extrae por destilación el *cok*, que es un carbon *poroso, de color gris de hierro y bastante sonoro*, muy empleado como combustible en las máquinas de vapor y en toda clase de fundiciones.

Calcinando la madera y los huesos, salen los carbones vegetal y animal, cuya forma es la de los cuerpos de que proceden. El carbon así obtenido está muy lejos de ser puro, porque contiene otros principios no siempre fáciles de separar. Si en lugar de trozos de leña y huesos se someten á la calcinación azúcar ó sangre, el carbon que proporcionan es más puro y está más dividido que antes. También se llega al mismo resultado recibiendo la llama de algunas sustancias resinosas sobre un cuerpo frío; pues verificándose la combustión de una manera imperfecta, la parte escudente, llamada *negro de humo*, queda depositada sobre él. Las propiedades más importantes de estos carbones son la *absorción de los gases, y la decoloración de los líquidos*. Hay carbon que puede condensar 90 ó 100 veces su volumen, pero varía esta cantidad según su naturaleza, la del gas,

la presión y el estado de los poros. Dejando por algún tiempo en contacto de carbon bien dividido, líquidos coloreados, filtrados después pasan incoloros. Estas propiedades hacen el carbon muy á propósito para *purificar las aguas*, para desinfectar el aire y para evitar la putrefacción de las carnes muertas.

LECCION CV.

CUERPOS COMPUESTOS.—*Agua: propiedades físicas. — Composición del agua por el análisis y por la síntesis; aguas potables y minerales. — Destilación del agua. — Aire: composición y razones que hay para decir que es una mezcla.*

621. Agua ó protóxido de hidrógeno. El agua es un cuerpo líquido á la temperatura y presión ordinarias, compuesto de *dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno*; cuando está pura carece de olor, sabor y de color en pequeñas cantidades, pero en grandes masas, en los ríos profundos y en el mar, presenta un *color verde oscuro* bastante mareado. Su densidad en el estado de pureza y á la temperatura de 4°, sirve de unidad de medida para la de los sólidos y de los líquidos, y bajo el volumen del centímetro cúbico pesa un gramo. Es uno de los cuerpos que cambian de estado más fácilmente; á 0° se solidifica, cristalizando en agujas prismáticas regulares de seis caras, pertenecientes al sistema romboédrico. Estas agujas son pocas veces visibles, y lo general es que se crucen y entrelacen de mil maneras diversas para formar las masas cristalinas, más ó menos transparentes según su espesor, á que llamamos *hielo*; pero aumentan de volumen con una fuerza grande, y á la que son debidos los fenómenos ya mencionados (271). El agua se combina en proporciones definidas con los ácidos y con las bases fuertes, haciendo de base con los primeros y de ácido con las segundas. Es además un gran disolvente, pudiendo contener, por regla general, en tanta más abundancia los sólidos, cuanto mayor es la temperatura, y los gases al contrario, en la relación combinada de las bajas temperaturas y de las fuertes presiones.

622. Composición del agua. De dos maneras podemos conocer la composición del agua: por el *análisis* y por la *síntesis*.

Uno de los medios de análisis lo dejamos espuesto al ocuparnos de los efectos de la pila (545), y por eso vamos á dar otro esencialmente químico. Póngase en una retorta cierta cantidad de agua pura, y hágase pasar su vapor por un tubo de porcelana enrojecido, lleno de alambres de hierro, y recibase el residuo en la parte opuesta (fig. 334) en una campana graduada, haciéndole pasar antes por un serpentín rodeado de agua fria. El hierro á esta temperatura descompone el vapor de agua, combinándose con el oxígeno, y dejando el hidrógeno en libertad. Pesando el hierro antes y despues de la operacion, la diferencia de estos pesos dará el del oxígeno absorbido; pesando el agua sobrante se conocerá el del agua descompuesta, y á la vez el del hidrógeno desprendido. Es de advertir que los alambres no descomponen toda el agua en vapor, y por eso es indispensable hacer pasar el sobrante que acompaña al hidrógeno por un serpentín rodeado de agua fria para condensarlo, y recoger y añadir el agua que de aquí resulta á la que haya quedado en la retorta. Si á una campana llena de mercurio se hace pasar una mezcla de oxígeno é hidrógeno puros, en la relacion de un volúmen del primero por dos del segundo, y se determina su combinacion con la chispa eléctrica, los gases desaparecen, y despues del enfriamiento se halla en su lugar una pequeña cantidad de agua; de manera, que ya sea por los métodos indicados ó por otros, resulta que de 100 partes en peso de agua 11,15 son de hidrógeno y 88,87 de oxígeno, y que el volúmen del primero es doble del segundo.

El agua no se encuentra pura en la naturaleza; pues hasta la de las fuentes y manantiales mas cristalinos tiene bastantes sustancias que la alteran. Las aguas suelen dividirse en *potables* y *minerales*, y estas últimas, á mas de ser *frias* y *calientes* ó *termales*, toman diferentes nombres segun los cuerpos ó *mineralizadores* que contienen. Las aguas potables son aquellas que sirven para beber y para cocer las legumbres, y no cortan el jabon. Si tienen sabor, se enturbian ó dejan mucho residuo suelen llamarse *crudas* ó *gruesas*, y no sirven para los usos domésticos.

625. **Destilacion del agua.** Para tener agua pura, es preciso *destilarla*; esto se consigue reduciéndola á vapor y condensándolo despues por medio de un cuerpo frio; tal sucede hirviendo

agua en un alambique (fig. 355), y haciendo pasar el vapor por un serpentín rodeado de agua fría, que concluye en una vasija donde se recibe la procedente de la condensación. Con el objeto de no recoger las sustancias muy volátiles, ni reducir á vapor las menos fijas, se deja perder un poco de la primera, y se suspende la operación cuando en la retorta está muy mermada. El agua de lluvia es bastante pura, aunque no tanto como la destilada, por arrastrar consigo algunas sustancias de las que hay en el aire; sin embargo, á no tener otra, puede emplearse en las operaciones que no exijan gran exactitud.

624. **Aire.** El aire es un cuerpo *gaseoso, permanente, sin olor, color, ni sabor*. Su potencia refractiva y su densidad á la temperatura de 0° y á la presión de 760 milímetros de mercurio, sirven de unidad para los gases y vapores, y un litro de aire en estas condiciones pesa 1,293 de gramo.

El aire atmosférico es una *mezcla* de oxígeno y azoe ó nitrógeno, de algunas porciones de ácido carbónico, de vapor de agua, y de varios otros gases y vapores que por todas partes y á todas horas se desprenden de la superficie de la tierra. La parte mas esencial y que constituye casi el todo, es la mezcla de los dos primeros elementos, cuyas proporciones son las mismas, con ligeras diferencias, en todos los puntos á donde el hombre ha podido llegar; entrando por cada 100 partes de aire 20,9 de oxígeno y 79,1 de nitrógeno. De ácido carbónico solo hay algunas milésimas, y de los otros gases nada puede asegurar todavia el análisis; en cuanto al vapor de agua ya sabemos las circunstancias físicas que le hacen cambiar (276, 2.º)

En el análisis del aire debemos propornernos dos cosas; recoger el ácido carbónico y el vapor de agua, y hallar la relación del oxígeno y del nitrógeno. Para lo primero se hace uso de un aspirador (fig. 356), de capacidad conocida, lleno de agua y en el que termina una serie de tubos encorvados A, B, C, D, E y F. En los tubos A, B, E y F, se pone piedra pomez empapada en ácido sulfúrico concentrado, que absorbe la humedad del aire, y en los C y D potasa cáustica que hace lo mismo con el ácido carbónico. Abierta la llave K del aspirador sale el agua y deja un vacío que ocupa el aire de la atmósfera; mas antes pasa por los tubos dichos, en los cuales deja todo

el ácido carbónico y el vapor de agua que contiene; de manera que pesando los tubos antes y despues de una ó de mas operaciones, el aumento de su peso será el del ácido carbónico y vapor de agua que hay en determinado volúmen de aire. Si en lugar del aspirador pusiéramos un globo de vidrio vacío, claro está que el aire se precipitaria en él tan luego como las llaves de comunicacion se lo permitieran. Fundados en esto se disponen las cosas de tal suerte que, despues de los tubos en V, hay otro en H con dos llaves R y S, lleno de pedacitos de cobre muy puro, y en el cual se hace el vacío de la propia suerte que en el globo Y. Este tubo se pone sobre un hornillo y se eleva la temperatura hasta el rojo, en cuyo caso el cobre adquiere la propiedad de combinarse con el oxígeno del aire. Abierta la llave R, el aire atraviesa todos los tubos y llena el H, en donde al cabo de poco tiempo su oxígeno se combina con el cobre y queda libre el nitrógeno, que al cerrar la llave R y abrir las S y T, se precipita en el globo vacío. En seguida se cierran estas llaves y se abre la R, para cerrarla de nuevo y abrir las otras, hasta tanto que el globo se llene de azoe. Hechas estas operaciones con las precauciones y el esmero que requieren, se pesa el cobre, y por el aumento que haya experimentado se conoce el peso del oxígeno combinado; pesando el globo vacío y con el azoe se conocerá tambien su peso. De manera que sabemos el peso del oxígeno, el del azoe, el del ácido carbónico y el del vapor de agua de cierto volúmen de aire atmosférico, y por consecuencia su composicion.

Ha sido cuestion en otro tiempo saber si el aire es una *mezcla* ó una *combinacion*, mas hoy es cosa resuelta. En efecto, en las combinaciones entran los elementos en una relacion sencilla que no se encuentra entre el oxígeno y el nitrógeno; además, aun cuando esta se admitiese, no se explicaria que siendo el aire el compuesto menos oxigenado de nitrógeno, prestará su oxígeno para otros compuestos del mismo cuerpo que en él se forman con bastante facilidad, como sucede con el bióxido de nitrógeno, que mezclado con el aire se transforma en ácido nítrico; por otra parte, en toda combinacion hay desprendimiento de electricidad, de calor y hasta de luz en algunas ocasiones, y nada de eso sucede cuando el oxígeno y el azoe se reunen en las cantidades que forman el aire. Si el aire fuese una combina-

cion y no una mezcla, el disuelto en el agua en vez de contener mayor parte de oxígeno como tiene, debería conservar su composición. A estas razones químicas, se añade la consideración física de que la potencia refractiva de un gas compuesto (325), siempre es mayor que la suma de las potencias refractivas de sus elementos, mientras que es igual en la mezcla, que es justamente lo que sucede en el aire.

LECCION CVI.

Acidos.—Acido carbónico, propiedades, estado y preparación.—Acido sulfúrico hidratado; propiedades principales.—Acido de Nordhausen.—Acido anhídrido.—Preparación.—Acido nítrico; influencia del calor y de la luz; acción sobre las sustancias orgánicas, piroxilina.—Acido anhídrido.—Estracción.

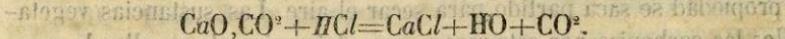
625. **Acido carbónico.** El carbono forma con el oxígeno dos compuestos gaseosos á la temperatura y presión media de la atmósfera, que son el *óxido de carbono* y el *ácido carbónico*. El *ácido carbónico*, en el estado de gas, es trasparente y sin color como el aire, de olor ligeramente picante, de sabor ácido agradable, y de una densidad de 1,52. Enrojece la tintura de tornasol aunque poco, y puesta una campanita de este gas sobre agua de cal, se forman pequeños copos blancos de carbonato de cal, que se precipitan al mas ligero movimiento. No sirve para la combustión ni para la vida, porque apaga los cuerpos encendidos y asfixia á los animales que lo respiran, sin causar lesión en sus órganos. El agua disuelve, á la temperatura y presión ordinarias, una vez su volumen, y muchas mas á fuertes presiones, constituyendo esta disolución las aguas llamadas *gaseosas*, tan refrigerantes y recomendadas en medicina. Al disminuir la presión, el ácido carbónico se desprende, formando muchas burbujas y una especie de ebullición.

El ácido carbónico, á fuertes presiones y bajas temperaturas se trasforma en un líquido muy volátil que se evapora repentinamente, produciendo un frío de -90° . Si un surtidor de este líquido se dirige contra las paredes de un vaso de vidrio, se deposita una materia blanca pulverulenta que es el *ácido carbónico sólido*. El ácido sólido mezclado con éter, que favorezca su conductibilidad y en el vacío de

la máquina neumática, dá una baja de temperatura aun mayor que la del ácido carbónico líquido.

626. Extraccion. El ácido carbónico existe en el aire, disuelto en las aguas de algunos manantiales y en cuevas y valles donde se desprende naturalmente; es arrojado en abundancia por los volcanes, y combinado con otros cuerpos, principalmente con los óxidos metálicos, forma compuestos abundantes.

En los laboratorios estráese el ácido carbónico, poniendo en un frasco de vidrio (fig. 529), agua y unos trocitos de mármol; vertiendo sobre ellos ácido clorhídrico se nota al instante gran efervescencia, y el ácido carbónico se desprende y recoge en una campana ó en un frasco invertido en una vasija con agua. La esplicacion de lo que sucede en el frasco es fácil de comprender. El carbonato de cal se descompone, el óxido de calcio cede su oxígeno al hidrógeno del ácido clorhídrico para formar agua, el calcio y el cloro se combinan para formar el cloruro de calcio y el ácido carbónico se desprende. El agua del frasco no es indispensable á la reaccion, pero la favorece disolviendo el cloruro y dejando el mármol espuesto á la accion del ácido clorhídrico. Conviene dejar salir á la atmósfera las primeras porciones de gas desprendido, para darle tiempo á desalojar por completo el aire del frasco. La fórmula es:



Quemando el carbono en una atmósfera de oxígeno puro, se forma ácido carbónico, pero si aquel está en exceso hay tambien formacion del óxido de carbono, gas que desprendiéndose de los braseros á medio encender, produce malestar y dolores de cabeza. Un medio fácil de ver que el diamante es carbono puro, consiste en quemarle en una campana con gas oxígeno, pues se transforma en un volumen igual de ácido carbónico.

627. Acido sulfúrico. El azufre se combina con el oxígeno en diferentes proporciones y forma con él siete compuestos bien definidos, de los cuales el mas importante es el ácido sulfúrico.

Las propiedades del ácido sulfúrico son diferentes segun que se le estudie *hidratado*, ó en combinacion de estas ó de las otras cantidades de agua, y *anhidro* ó privado de ella.

El ácido sulfúrico monohidratado es un líquido viscoso, de consistencia oleaginosa, de color blanco, sin olor, de sabor ácido tan marcado que basta una gota para acidular un vaso de agua, y de una densidad casi dos veces la del agua, 1,843 á la temperatura de 15°. Es poco volátil, y á la temperatura ordinaria no emite vapores sensibles; á la de 326° entra en ebullicion dando vapores blancos muy densos y que seria peligroso respirar, y á —35° se congela y cristaliza en prismas exagonales pertenecientes al sistema romboédrico.

Su mala conductibilidad para el calor, que acaso venga de la consistencia oleaginosa, hace que la ebullición tenga lugar con saltos capaces de romper las retortas de vidrio y derramarlo con peligro de accidentes graves, que se evitan en parte metiendo hilos de platino para establecer una temperatura uniforme en toda la masa.

El ácido sulfúrico es uno de los mas enérgicos que se conocen enrojece mucho la tintura de tornasol, aun cuando se halle estendido en algunas veces su volumen de agua, y bajo la influencia del calor desaloja y sustituye la mayor parte de los otros ácidos: ataca y destruye las sustancias orgánicas, así vegetales como animales, y es un veneno poderoso; puesta una gota de ácido sobre la piel, la desorganiza bien pronto y causa una quemadura peligrosa. Tiene tanta afinidad con el agua que absorbe el vapor de la atmósfera, de cuya propiedad se saca partido para secar el aire. Las sustancias vegetales; las carboniza por esta razon, pues determinando en ellas la combinacion del oxígeno con el hidrógeno para formar agua y combinarse con ella, queda en exceso el carbono y les dá el mismo aspecto que cuando son atacadas por el fuego. Esto explica el calor oscuro y negruzco que tiene el ácido del comercio, debido en su mayor parte á algun tapon de corcho que haya caido en él. Al combinarse el ácido sulfúrico con el agua hay bastante desprendimiento de calor para romper algunas veces los vasos de vidrio donde se verifica, y si se vierte el agua en el ácido concentrado, parte de esta se trasforma en vapor, arrastrando consigo y haciendo saltar fuera del vaso algo del ácido. Por eso es prudente echar el ácido por cortas porciones y mover el agua mientras dure la operacion. Mezclado con hielo es causa de calor ó de frio segun las proporciones en que se verifique; 4 partes de ácido y 1 de nieve elevan la temperatura á 100°, y 4 de

ácido con 4 de nieve la hacen bajar á -20°

628. **Acido sulfúrico de Nordhausen.** Este ácido, usado en las artes y preparado muy en grande en la ciudad de la que toma su nombre, es una disolucion del ácido sulfúrico anhidro en el mono-hidratado, que espatee vapores abundantes en contacto del aire, de donde sale el nombre de ácido *fumante* con que tambien se conoce. Las propiedades de este ácido son las mismas, con pequeñas diferencias, que las del ácido monohidratado.

629. **Acido sulfúrico anhidro.** El ácido sulfúrico *anhidro* es sólido á la temperatura ordinaria, fúndese á 25° y entra en ebullicion á los 35° . En el estado líquido espatee en el aire vapores blancos que caen en forma de ligeras nubecillas; tiene aun mas afinidad con el agua que el ácido monohidratado, así que, en el acto de verter sobre ella algunas gotas, mete un ruido parecido al que hace un hiërro candente en el agua. Si por el contrario, en un frasco de ácido anhidro se deja caer una gota de agua, es causa de una esplosion con desprendimiento de luz. Enfriándolo ligeramente pasa al estado sólido, cristalizando en forma de agujas delgadas, blancas y sedosas, que entrelazadas presentan todas las apariencias de las fibras del asbesto. El ácido anhidro se obtiene por destilacion del ácido de Nordhausen.

630. **Estado y preparacion.** El ácido sulfúrico no se encuentra *libre* en la naturaleza, mas que disuelto en pequeñas porciones en algunos rios próximos de los volcanes. La fabricacion del ácido sulfúrico se hace hoy día muy en grande en establecimientos mentados espresamente con este fin, y se siguen en ella estos ó los otros métodos segun los paises y las sustancias empleadas: lo que vamos á decir refiérese el ácido monohidrato ó inglés. La reaccion principal puede esplicarse de la manera siguiente: en el recipiente M (fig. 337), se pone alguna cantidad de agua para saturar de vapor el aire que contiene, y se hacen pasar por su cuello tres tubos: el del medio sirve para renovar el aire, y los de los lados van á parar á las matraces *m* y *n*. En el primero hay ácido nítrico estendido y cobre, que por su reaccion dán bióxido de nitrógeno, que se dirige al globo; y en el segundo cobre tambien y ácido sulfúrico que dán, favorecidos por el calor, gas sulfuroso que va á parar al mismo punto. En

el globo sucede: que el bióxido de nitrógeno, en contacto del aire saturado de vapor, pasa en parte á ácido nítrico hidratado y en parte á bióxido de nitrógeno; que el ácido nítrico monohidratado y el ácido sulfuroso dán los ácidos hiponítrico y sulfúrico; y que el ácido hiponítrico con el contacto del agua se transforma en ácido nítrico y bióxido de nitrógeno. Encontrándose ahora el bióxido de nitrógeno en las mismas circunstancias que antes, dá lugar otra vez á las mismas cosas y se repiten sin cesar.

En la fabricacion del ácido sulfúrico, el bióxido de nitrógeno y el ácido sulfuroso no provienen de la descomposicion de los ácidos nítrico y sulfúrico, sino de la combustion de una mezcla de azufre y nitrato de potasa ó salitre, dirigidos á estensas cámaras de plomo donde tienen lugar las reacciones de que hemos hablado.

631. **Acido nítrico.** El nitrógeno y el oxígeno se combinan en tales proporciones que en cinco compuestos que forman, para una misma cantidad del primero, las del segundo son como los números naturales 1, 2, 3, 4 y 5.

El ácido nítrico puede obtenerse con mas ó menos cantidad de agua, y anhidro: en el primer caso suele llamarse tambien *agua fuerte*.

El *ácido nítrico concentrado* es un líquido sin color, de olor fuerte y característico, de sabor ácido muy marcado y cáustico, y que enrojece con fuerza la tintura del tornasol; es mas volátil que el sulfúrico, porque esperece vapores blancos en el aire; ataca con fuerza las sustancias orgánicas, tinte la piel de amarillo y la destruye despues, comportándose como un veneno corrosivo muy poderoso. Entra en ebullicion á los 86°, y elevando mas la temperatura puede destilarse; á —50 se solidifica presentando el mismo aspecto que la manteca. Su densidad es 1,52.

El ácido nítrico se descompone por el calor y la luz: haciéndole pasar en vapor por un tubo de porcelena enrojecido, se convierte en ácido hiponítrico, desprendiéndose oxígeno; y esponiendo á los rayos directos del sol un frasco de ácido concentrado, toma un color amarillo que le dá el ácido hiponítrico disuelto en él, y queda oxígeno en libertad. El hidrógeno á una temperatura elevada lo descompone con detonacion, forma agua y deja al nitrógeno desprenderse. Hay ade-

más otras sustancias que le descompenen apoderándose de una parte del oxígeno con el cual se combinan, á cuya circunstancia debe el ser uno de los *oxidantes* mas enérgicos que se conocen; ataca, si no está muy concentrado, la mayor parte de los metales, los oxida y despues se combina con estas bases para formar sales.

Metido algodón en rama en el ácido concentrado, sacándolo al poco tiempo y lavándolo bien acto continuo, y enjugándolo despues, no presenta grande alteracion, y sin embargo goza de la propiedad de inflamarse con suma rapidez sin dejar residuo, llamado por esta propiedad *piroxilina* ó pólvora de algodón. Algunas otras sustancias adquieren igual propiedad.

Mezclado al ácido nítrico con el clorhídrico, forma el agua *régia*, llamada así por los alquimistas, por su propiedad de disolver el oro, considerado y tenido por ellos como el rey de los metales. El agua régia disuelve tambien el platino y es un oxidante poderoso.

652. Acido nítrico anhidro. Es *sólido* hasta la temperatura de 27°, 5, que se funde, y se presenta cristalizado en prismas romboidales de color blanco; entra en ebullicion á los 46°, y calentándole mas se descompone en ácido hiponítrico y en oxígeno.

655. Estado y preparacion. El ácido nítrico no se encuentra libre en la naturaleza; es pues necesario estraerlo de alguna de sus combinaciones. Poniendo en una retorta (fig. 338) el nitrato de potasa, el nitro ó el salitre, con ácido sulfúrico, y elevando la temperatura, se desprenden vapores blancos de ácido nítrico que se condensan en el globo M, para lo cual está rodeado de paños mojados en agua fria, que se renueva sin cesar por medio de un aparato semejante al frasco de Mariotte. Se conoce cuando principia y concluye la operacion por los vapores rojizos que llenan el globo en estas ocasiones. La reaccion es muy sencilla: el ácido sulfúrico desaloja el ácido nítrico que se desprende, para combinarse con la potasa y formar el nitrato que queda en la retorta. Hay además en la operacion otras reacciones, pero como menos importantes las pasamos en silencio, representándose la primera por la fórmula siguiente:



El ácido preparado de este modo no sale puro: contiene por punto

general ácido nitroso disuelto, que le tinte de amarillo, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico arrastrado por la destilación. El primero se convierte en ácido nítrico con el nitrato de plomo reducido á polvo fino, y se precipitan, por su órden, los otros dos con los nitratos de plomo y de barita. En las artes se reemplazan la retorta y el globo de vidrio con cilindros de hierro y con vasijas de barro.

LECCION CVII.

Hidrácidos.—Ácidos clorhídrico y sulfhídrico; sus propiedades, estado y preparacion de las disoluciones; aplicaciones.

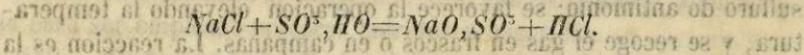
654. **Hidrácidos.** Ya hemos dicho en otra ocasion (597), que algunos metaloides formaban con el hidrógeno compuestos ácidos muy enérgicos, y que se les habia dado la denominacion de hidrácidos, en la falsa inteligencia de que desempeñaba en ellos este cuerpo análogo papel al que desempeña el oxígeno en los otros ácidos, ó en los oxácidos; vamos á ver ahora cuales son las propiedades de los que consideramos mas empleados en las nociones de mineralogia.

655. **Acido clorhídrico.** El ácido *clorhídrico* es, á la temperatura y presion ordinarias, *un gas sin color, de olor fuerte, y picante; esparce abundantes humos en el aire, y es su densidad 1,24.* No sirve ni para la *combustion* ni para *sostener la vida*; las luces se apagan en él y mata á los animales que lo respiran. A bajas temperaturas y á fuertes presiones se liquida sin que hasta ahora se le haya hecho pasar al estado sólido.

El agua disuelve 500 veces su volumen, y por eso enrojece la tintura de tornasol y adquiere las mismas propiedades que el ácido gaseoso. A esta disolucion se le dá con impropiedad en el comercio el nombre de *ácido clorhídrico liquido*. Invirtiendo un frasco lleno de este gas sobre una vasija de agua, al quitar el tapon, se precipita en él con la misma fuerza que en el vacio, no siendo de estrañar que con el choque haga el frasco pedazos.

646. **Estado y preparacion** El ácido clorhídrico es uno de los productos desprendidos de los volcanes, si bien en pequeñas cantidades. Estráese haciendo reobrar en un globo de vidrio el ácido

sulfúrico concentrado sobre el cloruro de sodio ó sal común, y recogiendo el gas sobre la cuba de mercurio. La teoría de la operación es como sigue: parte del cloruro de sodio y del agua del ácido sulfúrico se descomponen; el sodio y el oxígeno forman la sosa, con la cual se combina el ácido sulfúrico para formar el sulfato de protóxido de sodio, mientras que el cloro y el hidrógeno producen el ácido clorhídrico que se desprende.

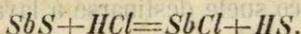


Para preparar la disolución del ácido clorhídrico se usa el aparato de Woolf (fig. 539); cuyos frascos comunican unos con otros del modo que se ve, y por ellos va pasando el gas no disuelto en los anteriores. El primer frasco suele destinarse á lavar el gas, y los restantes á preparar la disolución.

637. **Acido sulfhídrico.** El ácido *sulfhídrico*, á la temperatura y presión ordinarias, es un gas incoloro, de muy mal sabor, de un olor fétido y semejante al de las cloacas y huevos podridos, que sirve para reconocerlo al instante, enrojece debilmente la tintura del tornasol, y su densidad es 1,19. Los cuerpos inflamados se apagan en él, señal muy á propósito para saber si en el fondo de los pozos ó en las alcantarillas hay este gas en mucha abundancia y evitar la asfixia, demasiado frecuente por desgracia, de los trabajadores que tienen necesidad de entrar en ellas. Este gas es bastante venenoso, pues en una atmósfera que contenga 1/1500 no viven los pájaros, con 1/900 hace morir á los perros, y con 1/200 mata en poco tiempo un caballo. El cloro descompone de repente este gas, forma ácido clorhídrico y deja libre el azufre, reaccion utilizada para desinfectar el aire de las cloacas, valiéndose de cuerpos que desprenden el cloro. La mayor parte de los metales lo descomponen tambien, se combinan con el azufre para formar los sulfuros y dejan desprenderse al hidrógeno; los metalóides, bromo y iodo, por el contrario, al descomponerle se apoderan del hidrógeno y se deposita el azufre; lo cual sirve por una parte, para extraer los ácidos bromhídrico y iodhídrico, y por otra, para conocer con los mismos cuerpos la porción de azufre de las aguas sulfurosas. El agua disuelve cerca de tres veces su volúmen á la temperatura ordinaria, y la disolución tiene la

mayor parte de las propiedades químicas del gas; enrojece la tintura de tornasol aunque con poca intensidad, por ser un ácido débil. Para conservar la disolución es indispensable llenar con ella los frascos, para evitar el contacto del aire, cuyo oxígeno descompone el gas con formación de agua y dejando libre el azufre.

638. Estado y preparacion. Este gas se estrae haciendo reobrar en un matraz (fig. 540), el ácido clorhídrico sobre el sulfuro de antimonio; se favorece la operacion elevando la temperatura, y se recoge el gas en frascos ó en campanas. La reaccion es la siguiente: el cloro y el antimonio forman el cloruro de este metal, y el azufre con el hidrógeno dán el ácido clorhídrico que se desprende; la formula es como sigue:



Para tener la disolución saturada se hace uso del mismo aparato que en la del ácido clorhídrico (fig. 539).

LECCION CVIII.

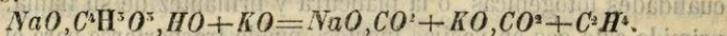
Hidrógeno protocarbonado; aplicaciones del gas natural.—Hidrógeno bicarbonado ó gas del alumbre.—Estado y preparacion.—Hidrógeno fosforado, Amoniaco; propiedades y preparacion de su disolución.

639. Hidrógeno protocarbonado El carbono forma con el hidrógeno numerosos compuestos sólidos, líquidos y gaseosos, pero aqui solo vamos á ocuparnos de los últimos.

El *hidrógeno protocarbonado*, ó *gas de los pantanos*, carece de olor, color y sabor; es insoluble en el agua, impropio para la vida y para la combustion, y su densidad viene á ser la mitad de la del aire é igual á 0,559. En el aire arde con llama aunque pálida, transformándose en agua y ácido carbónico; mezclado con el oxígeno, con el aire y con el cloro, detona bajo la influencia de la chispa eléctrica ó de la presencia de la luz. Desprende naturalmente de los pantanos, de donde toma su segunda denominacion; de algunas montañas, y de las minas de carbon de piedra, en donde mezclándose con el aire é inflamado con la luz de las lámparas, producía detonaciones que causaban muchas desgracias en los trabajadores; des-

gracias que Davy supo precaver con una lámpara que lleva su nombre, y consiste en cubrir la llama con un enrejado cilíndrico de metal, que la impide pasar al exterior y deja salir la luz. Dos cilindros de vidrio concéntricos, con agua en el espacio anular y con la luz en el primero, cuyas bases son de tela metálica, dán mejores resultados, porque no interceptan tanta luz. En algunos puntos de la falda setentrional de los Apeninos se desprende este gas en bastante abundancia para ser empleado en cocer ladrillos y hacer cal.

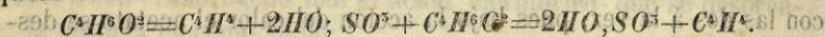
640. **Estraccion.** En los laboratorios puede obtenerse este gas mezclando acetato de sosa con la cal ó con la potasa, ó mejor con las dos á la vez; pues bajo la accion del calor el acetato se descompone, se forman en su lugar los carbonatos de las bases que hay en la retorta, desprendiéndose el hidrógeno protocarbonado. La fórmula es:



641. **Hidrógeno bicarbonado.** El hidrógeno bicarbonado, gas oleificante, ó gas del alumbrado, no tiene color ni sabor; el olor es ligeramente impireumático, y su densidad igual á 0.978. No sirve para la combustion ni para la vida, pero arde en el aire con una llama blanca y brillante, convirtiéndose en ácido carbónico y agua. En el cloro arde tambien, resultando de esta combustion ácido clorhídrico y carbono que se deposita. El aire y el oxígeno le descomponen combinándose con sus elementos, y mezclados detonan con la presencia de una bujía encendida, lo cual puede ser causa de fuertes esplosiones, si las mezclas son en grandes cantidades.

642. **Estraccion.** El gas del alumbrado público se estrae de la ulla ó carbon de piedra, pero pueden emplearse tambien las resinas y el aceite. En el primer caso el gas viene acompañado de otros muchos que es preciso separar, con cuyo objeto se dirige la corriente por tubos bien dispuestos á un gran depósito llamado *condensador*, y tanto en aquellos como en este el enfriamiento separa algunos cuerpos; los restantes van á otro depósito donde hay agua de cal que absorbe una buena parte de ellos, recibiendo por esta consideracion el nombre de *depurador*. De él se dirige el gas ya casi puro al depósito general ó *gasómetro*, para conducirlo despues por tubos de hierro colado á los sitios que se han de alumbrar. Cuando el gas está

mal purificado dá un olor desagradable y molesto, debido en su mayor parte al ácido sulfhídrico. En los laboratorios se hace la estraccion de este gas, en pequeñas porciones, poniendo en una retorta alcohol y ácido sulfúrico concentrado, en la relacion de una parte en peso del primero por cuatro del segundo. Elevando poco á poco la temperatura hasta la ebullicion, el hidrógeno bicarbonado se desprende; la reaccion es un poco complicada, pero puede esplicarse elementalmente de este modo: el alcohol se descompone en agua, con la que se combina el ácido sulfúrico, y en hidrógeno bicarbonado que queda en libertad:



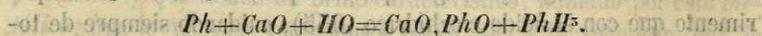
Recogido el gas en una campana de llave y trasvasado á una vejiga con sirtidor é inflamado, se hacen bien patentes sus excelentes cualidades fotogénicas, ó la blancura y brillantéz de su llama. Comprimido este gas en vasijas fuertes, puede trasportarse para el alumbrado doméstico en las mismas condiciones que los otros medios que empleamos habitualmente.

643. **Hidrógeno fosforado.** El fósforo y el hidrógeno se combinan en tres proporciones para formar igual número de compuestos, uno sólido, otro liquido y el tercero y mas importante gaseoso.

El gas hidrógeno fosforado no tiene color, su sabor es amargo, su olor muy fétido y característico, y su densidad es igual á 1,183. En contacto del aire se inflama espontáneamente, dando una llama brillante, que desmenuza humo blanco y espeso, de ácido fosfórico y vapor de agua. Si se hace salir el gas en pequeñas burbujas á medida que se verifica su inflamacion, los vapores blancos que resultan se elevan en el aire bajo la forma de coronas, cuyos diámetros aumentan poco á poco hasta que se deshacen. Estas coronas llaman la atención tanto por la forma como por estar dotadas de dos movimientos uno de rotacion y otro de traslacion ó de ascension. Haciendo pasar algunas burbujas de este gas á una campana de oxígeno, la combustion es aun mas fuerte que en el aire, y el resplandor de su llama tan grande que apenas la vista puede soportarlo.

644. **Estraccion.** Estráese este gas introduciendo en un pequeño matraz pedacitos de fósforo envueltos en papilla de cal, y des-

pues se calienta ligeramente con una lámpara de alcohol. Es conveniente elevar algo la temperatura del matraz antes de poner el tubo de desprendimiento para desalojar parte del aire y evitar las explosiones. La reacción se esplica de la manera siguiente: el agua bajo la acción combinada de una base energética, de la elevación de temperatura y del fósforo se descompone; el oxígeno y una parte del fósforo se combinan para formar el ácido hipofosforoso, que con el óxido de cal hacen el hipofosfito de cal; el hidrógeno se combina con la otra parte del fósforo, y su compuesto gaseoso se desprende. La reacción puede representarse de la manera siguiente:



Quando las campanitas en donde se recoge el gas, se dejan por algun tiempo en el agua, pierde este la propiedad de inflamarse espontáneamente, y deja un depósito sólido de color moreno, que es un sulfuro mas rico en fósforo, sin cambiar por ello su composición. La propiedad de inflamarse en el aire parece debida mas bien á los vapores de otro compuesto liquido, porque todos los gases combustibles la adquieren cuando se les añaden algunas gotas de él; así es, que introduciendo en una campana llena de hidrógeno un poco de vapor de fósforo liquido, se forma una mezcla gaseosa espontáneamente inflamable al contacto del aire.

El gas hidrógeno fosforado puede formarse en aquellos parajes donde hay sustancias animales en descomposición que tengan fósforo, el cual unido con el hidrógeno del agua que humedece la tierra produce el gas, y al salir por las hendiduras dá margen á los fuegos fatuos y á las supersticiones que tanto eco encuentran entre las personas sencillas y poco versadas en las ciencias naturales.

645. **Amoniaco.** El azoe y el hidrógeno en el estado gaseoso no se combinan directamente, aun en el caso de elevar su temperatura, pero bajo el influjo de las chispas eléctricas, y sobre todo, en el estado naciente, se combinan y forman el azouro de hidrógeno, llamado mas comunmente *amoniaco ó álcali volátil*.

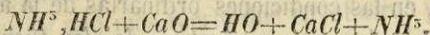
El amoniaco, en las condiciones ordinarias de la atmósfera, es un gas sin color, de sabor acre y cáustico, de olor fuerte y picante que escita el lagrimeo y cuya densidad es de 0,597. Es impropio para la combustion y asfixia en poco tiempo los animales que lo respiran.

Enrojece la tintura de la cúrcuma, enverdece el jarabe de violetas, devuelve el color azul á la tintura de tornasol enrojecida por los ácidos, y combinándose con ellos neutraliza sus efectos como una base poderosa. A la temperatura de -40° cambia de estado, convirtiéndose en un líquido sumamente volátil, que al evaporarse produce bastante frío para congelar el mercurio.

El agua disuelve en frío cerca de 500 veces su volumen, y la disolución, llamada en el comercio *amoníaco líquido*, goza de las mismas propiedades químicas que el gas, y es la empleada en los laboratorios. Con este gas y el agua puede reproducirse el mismo experimento que con el ácido clorhídrico (655), cuidando siempre de tomar las precauciones oportunas á fin de evitar los daños que pueden causar los cascos del frasco. Un trozo de hielo se funde de repente en un frasco de amoníaco, por la gran afinidad del gas para con el agua.

El calor y la electricidad descomponen el amoníaco duplicando su volumen. Con el auxilio del calor le descomponen también algunos metaloides y metales, sirviendo la reacción de los últimos para teorías químicas de alguna consideración.

646. **Estado y preparacion.** El gas amoníaco se desprende naturalmente de aquellos sitios donde hay sustancias animales en descomposición, las cuales conteniendo azoe é hidrógeno, al encontrarse libres y en el estado naciente, se combinan. Para prepararla se pone en un matraz (fig. 540) sal amoníaco ó clorhidrato de amoníaco, que es lo mismo, y cal, se eleva ligeramente la temperatura y el gas se desprende. Con efecto, la cal presta oxígeno al ácido clorhídrico para formar agua con su hidrógeno, el cloro con el calcio dá el cloruro de calcio y el amoníaco se desprende. Cuando se quiere obtener la disolución, emplease el aparato (fig. 539) de que hemos hecho uso en otras ocasiones. El amoníaco es muy empleado como reactivo, y en medicina sirve para combatir las mordeduras de los animales rabiosos. La reacción es como sigue:



LECCION CIX.

Generalidades de los metales. — Accion del oxígeno sobre los metales. —

Clasificación de los metales y propiedades principales de cada seccion. — Aleaciones; propiedades físicas y químicas.

647. Generalidades de los metales. Ya sabemos que los metales son cuerpos simples, buenos conductores del calor y de la electricidad y malos de la luz; que son susceptibles de buen pulimento y que tienen un brillo característico, llamado por esto *metálico*, que lo pierden reducidos á polvo fino y lo recobran por la fricción contra cuerpos duros, y que son más electro-positivos que los metaloides. Todos son sólidos, excepto el mercurio, que se solidifica á -39° ; tienen el color, generalmente hablando, blanco gris, mas ó menos oscuro segun la naturaleza, el estado de agregación molecular y el pulimento de cada uno; el oro es amarillo y el cobre y el tántalo son rojizos. Carecen de olor y sabor la mayor parte de ellos, no obstante que el hierro, el cobre, el plomo y el estaño, adquieren por la fricción un olor y un sabor bastante desagradables. La densidad de los metales, fuera del potasio y del sódio, es mayor que la del agua, varia de unos á otros entre límites mas estensos, y crece en todos ellos por punto general con el forjado; el platino es unas veinte veces tan pesado como el agua. Todos los metales son fusibles y algunos hasta susceptibles de reducirse á vapor; el punto de fusión ofrece en ellos grandes diferencias; el potasio se funde á los 58° , el plomo y el estaño lo hacen antes del color rojo, mientras que el platino necesita de temperaturas muy elevadas, como las producidas por la combustión de la mezcla detonante, ó por las corrientes eléctricas. Los metales fundidos cristalizan al solidificarse, y la forma que suelen tomar es el cubo ó el octaedro regular del mismo sistema; sin embargo, el antimonio cristaliza en romboedros. Las cristalizaciones se obtienen por decantación, porque los cristales se forman dentro de la masa, lo cual explica la estructura cristalina de la mayor parte. La cristalización tiene tambien lugar bajo la influencia de las corrientes eléctricas, cuando son descompuestas por ellas las combinaciones que los contienen. Su dureza es tan escasa en el

potasio y el sódio, que se amasan con igual facilidad que la cera; el plomo y el estaño se rayan con la uña; pero ya el hierro y el antimonio presentan mucha resistencia á la separacion de sus moléculas. La maleabilidad, la ductibilidad y la tenacidad siguen la misma ley, y de la reunion de estas propiedades en un mismo cuerpo penden en gran parte el uso y las aplicaciones que de ellos se hacen en la industria y en las artes. El estaño, el plomo y el oro son maleables; dúctiles, el cobre, el hierro, la plata y el platino, y tenaces todos estos menos los dos primeros, si bien en diferentes grados y no igualando ninguno al hierro.

648. **Accion del oxígeno sobre los metales.** Todos los metales son susceptibles de combinarse con el oxígeno, con tal que se les coloque en circunstancias convenientes; la combinacion se opera directamente en unos, y solo tiene lugar auxiliada por medios indirectos en otros. El sódio y el potasio absorben el oxígeno á todas las temperaturas, el hierro y el cobre lo hacen al calor rojo, y el oro y el platino no tienen con el oxígeno libre y puro afinidad ninguna, y por eso sus combinaciones son hijas siempre de la influencia de circunstancias ó condiciones especiales. Algunos metales que no se combinan con el oxígeno del aire si está seco, lo hacen cuando interviene la humedad. El hierro que se conserva inalterable en el primer caso, se enmohece y cubre de una sustancia rojiza, que es el hidrato de sesquióxido del mismo metal, en el segundo. Los vapores ácidos predisponen aun mas las combinaciones, por la afinidad ó tendencia que tienen á combinarse con las bases resultantes. El estar mas ó menos divididos es una circunstancia influyente entre el oxígeno y los metales, pues el hierro, que no se combina con el oxígeno seco sino á fuertes temperaturas, reducido á polvo y arrojado al aire se inflama repentinamente. Otros metales, como son el cloro, bromo, iodo, azufre y fósforo, se combinan con facilidad con todos los metales, para dar los compuestos binarios correspondientes, muy abundantes en la naturaleza; y la afinidad es, en ciertas ocasiones, mucho mayor que con el oxígeno: varios metales reducidos á polvo fino se inflaman en frío al echarlos en una atmósfera de cloro, y el cobre y otros arden ó se vuelven incandescentes en el vapor de azufre.

649. **Clasificación de los metales.** La mayor ó menor afinidad que tienen los metales por el oxígeno del agua y del aire, sirve de base para dividirlos ó clasificarlos en seis grupos ó secciones.

PRIMERA SECCION. Metales que absorben el oxígeno á todas las temperaturas, y que descomponen el agua hasta en frío, dando un desprendimiento abundante de hidrógeno, y cuyos óxidos son irreductibles por la acción del calor. Son seis, á saber: *potasio, sodio, litio, bario, estroncio y calcio.*

SEGUNDA SECCION. Metales que absorben el oxígeno á temperaturas elevadas, pero que no descomponen el agua sino desde 50° en adelante, y cuyos óxidos no se reducen por la influencia del calor. Son doce, á saber: *magnesio, manganeso, aluminio, glucinio, zirconio, irio, torio, cerio, lantano, didimio, erbio y terbio.*

TERCERA SECCION. Metales que absorben el oxígeno al calor rojo, y descomponen el agua desde 100°, ó á la temperatura ordinaria bajo la influencia de los ácidos, y cuyos óxidos son irreductibles por la acción del calor. Son ocho, á saber: *hierro, níquel, cobalto, erio, vanadio, zinc, cadmio y urano.*

CUARTA SECCION. Metales que absorben el oxígeno al calor rojo, y descomponen el vapor de agua á esta temperatura, pero que no lo verifican en frío bajo la acción de los ácidos, y cuyos óxidos no se descomponen por el calor. Son diez, á saber: *tungsteno, molibdeno, osmio, tántalo, titano, estaño, antimonio, niobio, ilmenio y pelopio.*

QUINTA SECCION. Metales que absorben el oxígeno al calor rojo, que no descomponen el agua sino débilmente y á temperaturas muy elevadas, que no ejercen en frío sobre ella ninguna acción con la presencia de ácidos fuertes y bases poderosas, y cuyos óxidos tampoco son reductibles por la acción del calor. Son tres, á saber: *cobres, plomo y bismuto.*

SESTA SECCION. Metales que no descomponen el agua bajo ninguna circunstancia, y cuyos óxidos son reductibles por la sola acción del calor. Son ocho, á saber: *mercurio, plata, rodio, iridio, paladio, platino, rutenio y oro.*

De aquí resulta que los metales de las cinco primeras secciones absorben el oxígeno y descomponen el agua, formando óxidos irre-

ductibles por la sola influencia del calor, mientras que los de la sexta seccion, á más de no descomponer el agua, sus óxidos se reducen por la elevacion de temperatura. Los metales suelen dividirse tambien en *alcalinos*, en *alcalino-térreos*, en *térreos* ó *tierras metálicas*, y en *metales propiamente dichos*. Corresponden á la primera division el potasio, sódio y el litio; á la segunda el calcio, bario y el estroncio; á la tercera el pelopio, niobio y todos los de la segunda seccion excepto el manganeso; y á la cuarta este último metal y los de las cuatro secciones restantes.

650. **Aleaciones.** Las combinaciones de los metales entre sí, en proporciones cualesquiera, dan los compuestos denominados *aleaciones*, que son los estados en que mas se emplean en la industria y en el comercio, pues puros, fuera del hierro y del platino, casi no se consumen. Las aleaciones son, por punto general, sólidas, mas duras y sonoras que los metales constituyentes, y cuya densidad puede ser mayor ó menor que la densidad media; sin embargo, la aleacion de tres partes de potasio y una de sódio es líquida, y pueden serlo todas las amalgamas donde entra el mercurio en mucha cantidad. Bajo la influencia del calor se funden, y la temperatura á que lo verifican es menor que la del metal menos fusible; así es que, eligiendo los metales y combinándolos en ciertas proporciones, se hacen aleaciones fusibles á muy diferentes temperaturas, segun los usos á que se destinan; en las máquinas de vapor reciben útil y frecuente empleo. El oxígeno y el aire tienen mas afinidad con las aleaciones que con sus metales, debido sin duda á la tendencia que hay entre los óxidos formados á combinarse unos con otros. Cuando entra en la aleacion un metal muy oxidable, ó que se oxida con mucha dificultad, se emplea la oxidacion como medio de separarlos. Tambien pueden separarse con el auxilio del calor fundiéndolos ó volatizándolos. Si los metales se funden á temperaturas muy diferentes, la separacion es fácil; en el caso de que el punto de fusion sea igual ó casi igual, se alea uno de ellos con otro mas fusible, del cual se separa despues. Si contienen metales volátiles, la descomposicion se hace en todo ó en parte; el mercurio desaparece por completo y el potasio y el arsénico lo hacen parcialmente. Las aleaciones se encuentran bastante abundantes en la naturaleza, y se

preparan otras muchas en los laboratorios; el método seguido depende del número, naturaleza y proporciones de los metales según para que se destinan, pero el método general consiste en fundirlos reunidos y agitarlos sin cesar, para que se unan por todas partes en las mismas proporciones.

LECCION CX.

Oxidos metálicos; su clasificación.—Propiedades físicas y químicas de los oxidos metálicos.—Generalidades de las sales; su division en binarias y ternarias; caractéres que deben emplearse en reconocer su neutralidad.—Influencia del calor; fasion ignea y acuosa.—Solubilidad; deliquesencia y eflorescencia; aplicaciones.

651. **Oxidos metálicos.** *Llámanse óxidos metálicos las combinaciones binarias del oxígeno con los metales. Las propiedades de estos compuestos son bastante diferentes de unos á otros, y de aquí el dividirlos en cinco clases á saber: óxidos básicos, óxidos ácidos, óxidos indiferentes, óxidos singulares y óxidos salinos.*

Los óxidos básicos son todos aquellos que se combinan fácilmente con los ácidos, formando sales definidas y cristalizables, y que reaccionan del modo explicado (590). Los óxidos más energicos pertenecen á los metales de la primera seccion; los protóxidos de potasio, sodio, calcio, etc.

Los óxidos ácidos metálicos son aquellos que, además de reaccionar como ácidos, se combinan con las bases fuertes y forman sales bien caracterizadas. Los ácidos crómico, CrO^2 , mangánico, MnO^2 , estánnico SnO^2 , plúmbico PbO^2 , pertenecen á este número.

Los óxidos indiferentes son los que no reaccionan sobre las tinturas colorantes, pero pueden desempeñar el papel de ácidos con las bases energicas, y el de las bases con los ácidos poderosos. La alúmina Al^2O^3 , es un cuerpo de esta especie.

Los óxidos singulares son aquellos que no se combinan ni con los ácidos ni con las bases, y experimentan con frecuencia bajo la accion de los unos y de las otras, una descomposicion, reduciéndose á óxidos inferiores y dejando libre parte del oxígeno ó del metal. El bióxido de manganeso calentado con el ácido sulfúrico, se convierte en protóxido, y con la potasa cáustica en sesquióxido y en ácido mangánico.

Los óxidos salinos se consideran como producto de la combinación de dos óxidos del mismo metal, uno básico y otro ácido. El óxido magnético de hierro Fe^2O^3 corresponde á esta clase, y puede formularse FeO , Fe^2O^3 , y otro tanto sucede con los de manganeso Mn^2O^4 , y cromo Cr^2O^4 .

652. **Propiedades de los óxidos metálicos.** Los óxidos metálicos todos son sólidos, deleznales y de un aspecto terroso; carecen de maleabilidad, ductibilidad y tenacidad; están sin brillo metálico á no ser algunos cristalizados, los cuales son muy raros: tienen mas densidad que el agua y meaos que la del metal que los forma, escepto los de potasio y sódio donde sucede todo lo contrario; los hay inodoros, insolubles é insipidos, y otros que se disuelven en el agua y dan un sabor cáustico ó metálico.

El calor no obra de la propia manera sobre todos los óxidos: reduce los de la sesta seccion, trasforma algunos óxidos de las primeras secciones en otros de un orden inferior, como sucede con el protóxido de manganeso; volatiliza el de osmio, el protóxido de antimonio y el ácido arsenioso, mientras que está sin influencia con otros muchos. Las corrientes eléctricas descomponen los óxidos y sucede en ellos lo que en el agua: el oxígeno, como mas electro-negativo, se dirige al polo positivo, y el metal, como mas electro-positivo, lo hace al negativo. La descomposicion es difícil en la mayor parté de los que corresponden á los metales de las dos primeras secciones, siendo necesario tomar con ellos mas precauciones y corrientes mas intensas, y de mayor duracion que con los demás.

Tratados los óxidos metálicos por los metaloides, bien sea directamente, bien con el auxilio del calor, del agua ó del aire húmedo, ofrecen resultados de importancia. El hidrógeno descompone, ayudado por el calor, muchos óxidos, forma agua y deja los metales enteramente puros, lo cual sirve para aislarlos; y una cosa bastante parecida sucede con el carbono, debiendo añadir que este cuerpo descompone algunos irreductibles por el hidrógeno; el azufre y el cloro tambien descomponen los óxidos: dá el primero, por regla general, sulfatos y sulfuros, y añadiendo carbon, sulfuros solamente; y el segundo, cloruros si está seco, y si lo hace por el intermedio del agua, hay además hipocloritos ó cloratos, segun que la disolucion

esté mas ó menos concentrada, y á esta ó á la otra temperatura. El bromo, el iodo y el fósforo ofrecen, con ligeras escepciones, las mismas propiedades que las del cloro y del azufre. Los metales á su vez descomponen algunos óxidos, se oxidan con el oxígeno y dejan libre el metal; ó reducen parte del óxido y forman una aleacion; ó determinan la combinacion de dos óxidos entre sí.

Los óxidos metálicos se combinan en su mayor parte con el agua, que hace veces de ácido, para formar los compuestos salinos, llamados *hidratos*, habiendo en muchas ocasiones un desprendimiento de calor muy notable.

653. Estado y preparacion. Pocos son los óxidos que se encuentran *libres* en la naturaleza; la mayor parte están combinados. Pueden prepararse los óxidos metálicos: 1.º combinando directamente el oxígeno con el metal, si tiene desde luego afinidad bastante, ó favoreciéndola con la elevacion de temperatura; 2.º descomponiendo ciertas sales por el calor; otras por las bases enérgicas; otras por las corrientes eléctricas, y otras por el agua oxigenada; 3.º tratando los metales por cuerpos que les cedan parte del oxígeno que contienen.

654. Generalidades de las sales. Las combinaciones conocidas hoy dia con el nombre de *sales*, son *binarias* y *ternarias*. Las primeras pueden resultar de la combinacion de un hidrácido con un óxido metálico y se llaman sales *haloideas*; los cuerpos que forman hidrácidos enérgicos y por consecuencia sales binarias, se llaman *halógenos*. Segun lo espuesto se consideran como sales los *fluoruros*, *cloruros*, *bromuros*, *ioduros*, etc. Las segundas provienen de la combinacion de un ácido con una base y se llaman *sales ánfidas*. En las sales ternarias hay un elemento comun al ácido y á la base, y cuando este elemento es el oxígeno, las sales se llaman *oxisales*, y *clorales*, *sulfosales*, etc. si resultan de la combinacion de un *clorácido* con una *clorobase*, de un *sulfácido* con una *sulfobase*, ó en general de un cloruro ó un sulfuro, ácidos, con un cloruro ó un sulfuro, básicos. Sin embargo, las sales mas importantes y de las que vamos á ocuparnos mas especialmente son las oxisales.

655. Neutralidad. Estando formadas las oxisales por la combinacion de un ácido con una base, pueden quedar ambos completamente neutralizados, ó en *exceso* parte del ácido ó de la base: en el

primer caso las sales se llaman *neutras*, *ácidas* en el segundo, y *básicas* en el tercero. Esta división, fundada en las reacciones que producen sobre algunas materias colorantes, principalmente sobre la tintura de tornasol y el jarabe de violetas (390), dista mucho de dar resultados exactos en todos los compuestos salinos; pues si bien puede admitirse en aquellos que tengan ácidos y bases energicos, no sucede lo mismo cuando un ácido ó una base fuertes, se combinan con una base ó con un ácido débiles; pues en el primer caso enrojece la tintura de tornasol ó se portan como ácidos, y en el segundo le devuelven su color, enverdecen el jarabe de violetas ó lo hacen como bases. A esto debemos añadir que una sal no se conduce de la propia manera con todas las disoluciones coloradas; da en unas señales de ácido; da en otras señales de base, ó es enteramente indiferente, lo que ha obligado á elegir otro carácter de neutralidad. Este carácter ha sido tomado de ciertas sales consideradas como tipos en cada género sirviendo para clasificar las demás la relación que hay entre el oxígeno del ácido y el de la base, ó la relación entre las cantidades ponderables del principio electro-negativo de los dos compuestos binarios. Supongamos para entender esto mejor, que se unen con todo cuidado las disoluciones de ácido sulfúrico y de potasa, hasta que la combinación no produzca efecto alguno sobre la tintura de tornasol y tendremos una sal KO, SO^2 cuyo ácido contiene tres veces tanto oxígeno como el de la base, ó que la relación entre el oxígeno del primero y el de la segunda es como 3 : 1. Pues ahora bien, todas aquellas sales formadas por el ácido sulfúrico en que la relación del oxígeno del ácido y el de la base sea mayor que el de 3 : 1, se miran como ácidas; si es menor como básicas y como neutras si es igual; siendo todo esto independiente de su reacción sobre las tinturas vegetales, una sal puede ser ácida, básica ó neutra, aun cuando enrojezca la tintura de tornasol, ó enverdezca el jarabe de violetas, ó no produzca efecto alguno.

Haciendo iguales consideraciones con otros ácidos, podemos decir que la relación del ácido con el de la base en las sales neutras es en los nitratos de 5 : 1; en los carbonatos de 2 : 1; en los cloratos de 5 : 1, etc.

Tratando las sales por la acción del calor, algunas se descompo-

nen, otras se funden, y un pequeño número de ellas se volatiliza: la fusión puede ser *acuosa* ó *ígneas*; sucede lo primero cuando tienen bastante agua de cristalización, en la cual se disuelven con la elevación de temperatura, y lo segundo si el calor sigue hasta desecarlas, y fundirlas otra vez; las sales de potasa y de sosa se funden al calor rojo. Sucede que el agua se encuentra interpuesta en algunas sales, y entonces al calentarlas se rompen y saltan de ellas algunas particulitas, produciendo un ruido llamado *decrepitation*. Se cree que este fenómeno es debido á la dilatación del agua encerrada, ó á la mala conductibilidad de la sustancia.

Las corrientes eléctricas descomponen las sales, y llevan el metal como mas electro-positivo al polo negativo, y el oxígeno y el ácido como mas electro-negativos al polo positivo. Puede suceder que el ácido, la base y el agua que las humedece ó disuelve, se descompongan en todo ó en parte, pero en este caso y siempre, el oxígeno y el residuo en que prepondera, se dirigen al polo positivo, y los cuerpos simples con que estaba combinado, y los demás en que entre en menor cantidad, al polo negativo.

656. **Propiedades químicas.** El agua disuelve muchas sales así en frío como en caliente, y la cantidad disuelta varia en cada una con algunas circunstancias. Cuando el agua no puede disolver mas cantidad de una sal, se dice de ella ó de la disolución que está *saturada*. Las sales que se disuelven mejor en el agua caliente que en la fría cristalizan con facilidad; dejando enfriar una disolución saturada, á medida que baja la temperatura, la sustancia sólida libre se deposita y forma los cristales; algunas veces es indispensable la ebullición ó cierto grado de calor para que el fenómeno tenga lugar. Si las sales son mas solubles en el agua fría, que no es lo común, la cristalización se consigue con la evaporación. Los cristales formados de la manera que acabamos de explicar, pueden combinarse con cierta cantidad de agua, que se llama de *cristalización*, ó mantenerla mecánicamente entre sus partículas, y entonces se llama de *interposición*; en el primer caso no es posible reconocerla aun cuando la sal se pulverice y envuelva en papel, porque no lo moja; mientras que en el segundo lo hace de un modo bastante perceptible. El que una disolución esté saturada no quiere decir que

no disuelva otra sal, pues aun cuando no es comun, puede hacerlo hasta favorecer con ella la que ya contiene.

En la disolucion acuosa hay un descenso de temperatura, á no ser que la sal se combine con cierta cantidad de agua, que suele haber desprendimiento de calor. Si la sal tiene mucha afinidad con el agua y se envuelve en nieve ó hielo machacado, acelera la fusion y aumenta el frio; fenómeno que esplica las mezclas frigorificas.

Hay sales que tienen mucha afinidad con el agua y absorben la del vapor atmosférico hasta disolverse en ella y se llaman *delicuescentes*, y otras que pierden la que contienen reduciéndose á polvo, denominadas *eflorescentes*.

Las sales pueden ser descompuestas en general por los metaloides; pero el efecto producido depende á la vez de la naturaleza de las unas y de los otros, y de las condiciones en que se encuentren: circunstancias que no pueden estudiarse sino en cada sal en particular. Los metales las descomponen tambien cuando un metal más electropositivo se introduce en una disolucion salina de otro más electronegativo; pues el primero desaloja y sustituye al segundo, el cual al depositarse forma en algunos casos cristalizaciones muy vistosas, como el árbol de Diana ó de Saturno.

657. Estado y preparacion. Las sales se encuentran en mucha abundancia en la naturaleza, pero tambien se preparan en los laboratorios en gran número; para ello: 1.º Se combinan directa ó indirectamente los ácidos con las bases, ó con los metales, valiéndose, si es preciso, de la elevacion de temperatura: 2.º Por la descomposicion de los carbonatos con los ácidos cuyas sales se buscan: 3.º Por doble descomposicion entre sales cuyas bases se cambian: 4.º Por la influencia de bases anérgicas.

658. Clasificacion de las sales. Las sales suelen dividirse en *familias, géneros, especies, y variedades*. Las sales son de una *especie* si tienen los mismos ácidos y bases, y en iguales proporciones; las diferencias de los cristales dan las *variedades*. Los *géneros* los forman las especies del mismo ácido, y las *familias* la reunion de géneros muy análogos.

ÍNDICE

do las materias que por lecciones contiene esta obra, con indicacion de los aparatos en cada una de ellas.

INTRODUCCION.	Pág.	Pág.
Lecion 1. ^a —Fisica, causa y efecto, ley, teoria, sistema; observacion, esperiencia y experimento; cuerpos, propiedades y estados.	5	Lec. 12.—Balanza, romana y medios de pesar. 52
Lec. 2. ^a —Estension, Nonius; impenetrabilidad; campanas de buzos, aplicaciones.	9	Lec. 13.—Poleas, trocuelas y polipastos. 55
Lec. 3. ^a —Porosidad, lluvia de plata, divisibilidad, lambrador, bilera.	14	Lec. 14.—Torno, torno chino, carbresante, cabria y grua, engratajes, cruk. 59
Lec. 4. ^a —Compresibilidad, eslabon neumático, tubo de Mariotte, aparato de Ersted.	19	Lec. 15.—Plano inclinado, cuna. 64
Lec. 5. ^a —Elasticidad, movilidad, movimiento y reposo absolutos y relativos, inercia, sus leyes.	23	Lec. 16.—Tornillo, tornillo sin fin, cuerdas. 66
Lec. 6. ^a —Gravedad, sus propiedades, gravitacion, cohesion, afinidad; propiedades particulares.	28	Lec. 17.—Rozamiento, aparato de Coulomb, plano inclinado, adherencias. 70
MECANICA.		DINÁMICA.
Lec. 7. ^a —Estática, fuerzas y sistema, componentes y resultante de las que obran segun una recta.	33	Lec. 18.—Unidad de fuerza, caballo de vapor, cantidad de movimiento, movimiento uniforme. 75
Lec. 8. ^a —Paralelogramo de las fuerzas, descomposicion de una fuerza, paralelepipedo.	36	Lec. 19.—Fuerzas continuas; movimiento uniformemente variado. 76
Lec. 9. ^a —Fuerzas paralelas, pares de fuerzas, descomposicion de una fuerza, aplicaciones.	40	Lec. 20.—Descenso de los graves; caida en el vacio; martillo de agua, máquina de Atwod. 80
Lec. 10.—Peso, masa, densidad, centro de gravedad, equilibrio, aparato correspondiente.	44	Lec. 21.—Descenso de los cuerpos por planos inclinados, cicloide. 85
Lec. 11.—Maquinas, su clasificacion, palanca, velocidades virtuales. 48		Lec. 22.—Movimiento curvilineo; aparato de las fuerzas centrales. 87
		Lec. 23.—Valor de la fuerza centrifuga en un punto de la tierra, manómetro de resorte, aparato de la figura de la tierra. 91
		Lec. 24.—Péndulo, fórmula del tiempo de una oscilacion, aplicaciones; péndulo compuesto. 94

Pág.	
Lec. 25.—Choque de los cuerpos, fórmulas, choque oblicuo, aparatos.	98
HIDROSTÁTICA.	
Lec. 26.—Principio de presión, condiciones de equilibrio, presiones que ejercen los líquidos, aparato de Haldat.	105
Lec. 27.—Principio de Arquímedes, balanza hidrostática, ludion.	108
Lec. 28.—Densidades ó pesos específicos; frasco de Klaprot, gravímetros de Nicholson y de Fahrenheit.	112
Lec. 29.—Areómetros, su clasificación; pesa licore de Beaumé, alcoímetro de Gay-Lussac, pesa sales de Beaumé; volúmetros y densímetros.	116
HIDRODINÁMICA.	
Lec. 50.—Problemas del movimiento de los líquidos, teorema de Torricelli; flotador de Prony, gasto teórico y práctico.	119
Lec. 51.—Tubos adicionales, coeficientes del gasto; medir el agua de un río; ariete.	124
AEREOSTÁTICA.	
Lec. 52.—Elasticidad y peso del aire, barómetro; rompe-vejigas, hemisferios de Magdebourg, tubo de Torricelli.	129
Lec. 53.—Barómetros, barómetro de Fortin, idem de Gay Lussac, barómetro aneroides, idem de Bourdon, barómetro-balanza.	154
Lec. 54.—Aplicaciones del barómetro al peso que sostiene el hombre y á medir alturas; variaciones barométricas, indicación del tiempo.	157
Lec. 55.—Máquina neumática, proleta, máquina y fuente de compresión, manómetros.	141
Lec. 56.—Bombas y su división, prensa hidráulica.	146
Lec. 57.—Teoría y uso de los sifones, vasos de Tántalo, pipetas, fuentes intermitente y de Heron.	149

AERODINÁMICA.	Pág.
Lec. 38.—Frasco de Mariotte; velocidad de los gases, globos.	152
Lec. 59.—Atracción molecular, capilaridad, aparato de tubos capilares; endosmosis.	157
ACÚSTICA.	
Lec. 40.—Movimiento vibratorio, cualidades del sonido, velocidad del sonido.	164
Lec. 41.—Forma de las ondas sonoras, interferencias, intensidad del sonido, reflexion y refraccion.	169
Lec. 42.—Aparatos de acústica, órganos de la voz y del oído; trompeta, bocina, sonómetro, diapason.	174
CALÓRICO.	
Lec. 43.—Propiedades del calor, efectos generales, hipótesis.	179
Lec. 44.—Termómetros, equivalencias de las escalas, termómetros diferenciales de Leslie y de Rumfor, termómetros de máxima y mínima, pirómetros.	182
Lec. 45.—Calórico radiante, velocidad; enfriamiento, influencia del estado superficial; ley de la distancia y de la inclinacion.	188
Lec. 46.—Reflexion del calor, espejos conjugados, diffusion calorífica.	194
Lec. 47.—Transmision del calor, aparato de Melloni, diatermancia.	197
Lec. 48.—Conductibilidad, caja de Ingenhousz; barra prismática.	201
Lec. 49.—Dilatacion de los sólidos; anillo de S'Gravesande, pirómetro, coeficiente de dilatacion.	204
Lec. 50.—Dilatacion de los flúidos, máxima densidad del agua, dilatacion de los gases.	207
Lec. 51.—Aplicaciones de la dilatacion á los volúmenes y densidades; á los barómetros y á los péndulos.	211
Lec. 52.—Capacidad calórica; método de las mezclas; calorímetro de Lavoisier.	214
Lec. 53.—Método del enfriamiento; capacidades caleríficas de los gases.	217
Lec. 54.—Cambio de estado; calorífico latente de la fusion; mezclas frigoríficas.	220

	<u>Pág.</u>
Lec. 55.—Calórico latente de la vaporización; congelación del agua en el vacío.	224
Lec. 56.—Propiedades de los vapores en el vacío; tensiones á diferentes temperaturas; barómetro de vapor.	226
Lec. 57.—Mezcla de los vapores y los gases; aparato de Gay Lussac.	229
Lec. 58.—Ebullición, marmita de Papin, hipsómetro.	232
Lec. 59.—Máquinas de vapor; partes de que se componen, su división y clasificación; caminos de hierro; buques de vapor.	256

METEOROLOGÍA.

Lec. 60.—Temperaturas medias, climas, orígenes del calor; vientos.	245
Lec. 61.—Higrometría, higrómetros de Saussure, de Daniell, de Regnault, psychrómetro.	252
Lec. 62.—Hidrometeoros, pluviómetro.	257

ÓPTICA.

Lec. 65.—Hipótesis del lumínico, cuerpos luminosos, sombra y penumbra, velocidad.	262
Lec. 64.—Intensidad de la luz, fotómetros de Bouguer, Rumford, Wheatstone.	267
Lec. 65.—Reflexión, espejos planos, medición de alturas.	269
Lec. 66.—Espejos esféricos, posición de los focos é imágenes y de los cuerpos luminosos.	275
Lec. 67.—Refracción y leyes de Descartes; refracción terrestre.	277
Lec. 68.—Refracción en los prismas; índices de refracción.	280
Lec. 69.—Lentes, ejes y focos, relación de los focos é imágenes con los objetos.	284
Lec. 70.—Descomposición de la luz, propiedades del espectro; acromatismo.	288
Lec. 71.—Fenómenos meteorológicos de la luz, espejismo, arco iris, halos, parhelios.	295

	<u>Pág.</u>
Lec. 72.—Órgano de la visión, marcha de la luz en el ojo, claridad, diámetro y distancia de los objetos, accidentes de la vista.	300

APARATOS DE ÓPTICA.

Lec. 73.—Porta luz, cámara oscura, fotografía; cámara lúcida, microscopios, anteojos, telescopios.	306
--	-----

DOBLE REFRACCION.

Lec. 74.—Marcha del rayo extraordinario, método de Malus, cristales positivos y negativos, doble refracción del vidrio comprimido.	315
--	-----

POLARIZACION.

Lec. 75.—Propiedades de la luz polarizada, pilas polarizantes, polarización por doble refracción, polariscopos de turmalina, prismas de Nicol, colores de la luz polarizada, interferencias.	318
--	-----

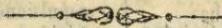
MAGNETISMO.

Lec. 76.—Piedra imán, atracciones y repulsiones, péndulo, polos y línea neutra, hipótesis.	325
Lec. 77.—Magnetismo de la tierra, polos boreal y austral, agujas imantadas, brújula, variaciones de la aguja.	329
Lec. 78.—Medios de imantación, imanes saturados, armaduras.	354
Lec. 79.—Medir la fuerza magnética; magnetismo en movimiento, diamagnetismo.	357

ELECTRICIDAD.

Lec. 80.—Origen del fluido eléctrico, cuerpos buenos y malos conductores, de las dos electricidades, hipótesis.	341
Lec. 81.—Leyes de las atracciones y repulsiones, distribución de la electricidad, molinete.	346

	<u>Pág.</u>		<u>Pág.</u>
Lec. 82.—Electricidad por influencia, choque por retroceso, poder de las puntas; campanario, granizo y danza eléctricos.	550	Lec. 95.—Imantacion por las corrientes, hélices; electro-iman, aparato de Clark; flotadores, solenoides.	597
Lec. 83.—Máquinas eléctricas, electróforo, electrómetros y electróscopos.	554	Lec. 94.—Telegrafía, manipulador, receptor, avisador, hilos conductores, telégrafos escribientes, relojes.	401
Lec. 84.—Condensadores, electricidad latente, escitadores, botella de Leyden, electrómetro condensador de Volta.	558	Lec. 95.—Electro-dinámica, aparato de Amper; corrientes inducidas; hipótesis del magnetismo.	409
NOCIONES DE QUÍMICA.			
Lec. 85.—Efectos fisiológicos de la chispa, efectos caloríficos, inflamaciones; efectos luminosos, huevo eléctrico, efectos mecánicos, termómetro de Kinnersley.	563	Lec. 96.—Definicion, moléculas constituyentes é integrantes, combinacion, mezcla, ley de las proporciones; afinidad, caracteres, isomeria, alotropia.	417
Lec. 86.—Origenes de electricidad, presion; electricidad debida al calor; acciones químicas; evaporacion, vegetacion.	567	Lec. 97.—Medios de cristalización, tipos cristalinos, dimorfismo, isomorfismo.	420
Lec. 87.—Fenómenos meteorológicos de la electricidad; granizo, rayos, trombas, auroras boreales.	571	Lec. 98.—Division de los cuerpos en metaloides y metales; tabla de los cuerpos simples, análisis, síntesis.	425
GALBANISMO.			
Lec. 88.—Electricidad del contacto; pilas de Volta, de artesa, de Wallaston.	577	Lec. 99.—Fundamentos de la nomenclatura y reglas para todos los casos, hidrácidos, aleaciones.	427
Lec. 89.—Efectos de las corrientes eléctricas, incandescencias; luz eléctrica; efectos magnéticos, idem químicos, voltmetro, galvanoplastia.	583	Lec. 100.—Signos y fórmulas químicas; equivalentes; teoría atómica.	451
Lec. 90.—Electricidad química; pilas de corriente constante, de Becquerel y Daniell, de Bunsen y de Grove.	588	Lec. 101.—Oxígeno é hidrógeno; su estado y preparacion.	454
Lec. 91.—Pilas secas de Zamboni; electrómetro de Bohnemberger; corrientes termoeléctricas, pilas de Nobili.	591	Lec. 102.—Fluor, cloro, bromo, iodo, aplicaciones.	457
ELECTRO-MAGNETISMO.			
Lec. 92.—Esperimento de Ørstedt; reómetro multiplicador, aparato de Molloni.	595	Lec. 103.—Azufre y fósforo.	459
		Lec. 104.—Nitrógeno y carbono.	442
		Lec. 105.—Agua y aire.	444
		Lec. 106.—Acidos carbónico, sulfúrico y nítrico.	448
		Lec. 107.—Hidrácidos, clorhidrico y sulfhidrico.	454
		Lec. 108.—Hidrógenos proto bicarbonados; hidrógeno fosforado, amoniaco.	456
		Lec. 109.—Generalidades de los metales, y su clasificacion; aleaciones, amalgamas.	461
		Lec. 110.—Oxidos metálicos, su clasificacion y preparacion; sales, preparacion y clasificacion.	465



FE DE ERRATAS.

PÁG.	LÍN.	DICE.	LÉASE.
37	4	ABC	BAC
44	31	emanacion $P=Mg$	ecuacion $P=Mg$
50	11	R	Q
51	27	L_n	L^n
66	10	P F	P' F
72	21	concurrir	incurrir
74	11	45 kilogramos	75 kilogramos
78	16	<i>Aah</i>	<i>Aab</i>
110	14	Fig. 81	Fig. 81 (2. ^a)
123	24	llama atencion	llama la atencion
127	2	Fig. 93	Fig. 93 (2. ^a)
138	10	menos	mas
149	1	A C	A B
176	1	oval	redonda
224	10	de origen	de un origen
225	1	<i>c</i>	<i>c'</i>
244	3	del	el
269	33	alto	acto
318	14	hechos	hemos
363	19	chipa	chispa
382	25	Fig. 281	Fig. 301
383	1	Fig. 282	Fig. 302

FIGURAS.

Algunas figuras llevan la nota que corrige el error.

En la figura 79 la *m* y la *n* están cambiadas.

En la fig. 199 las flechas van al revés.

En la fig. 320 la rueda A tiene doble número de dientes.

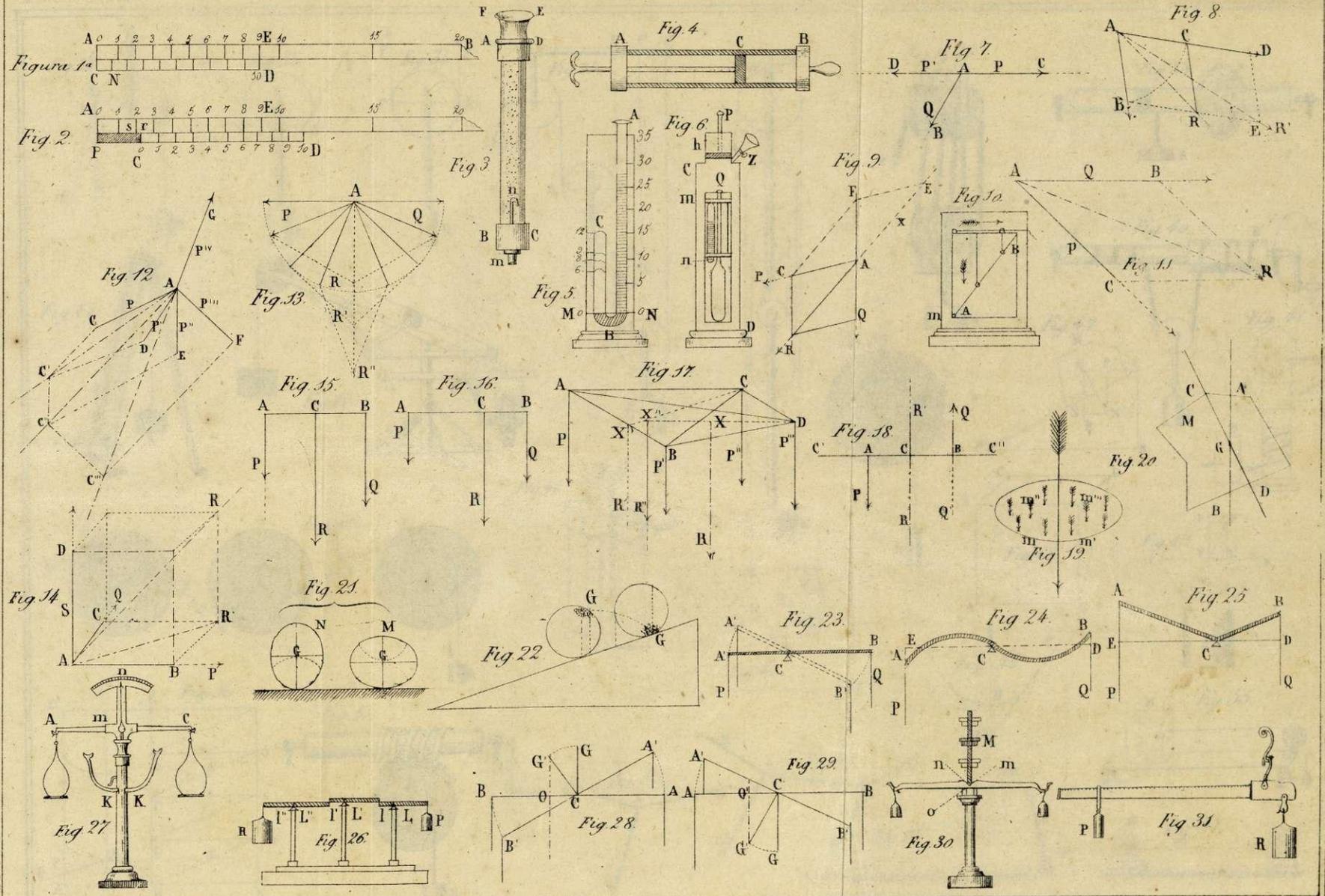


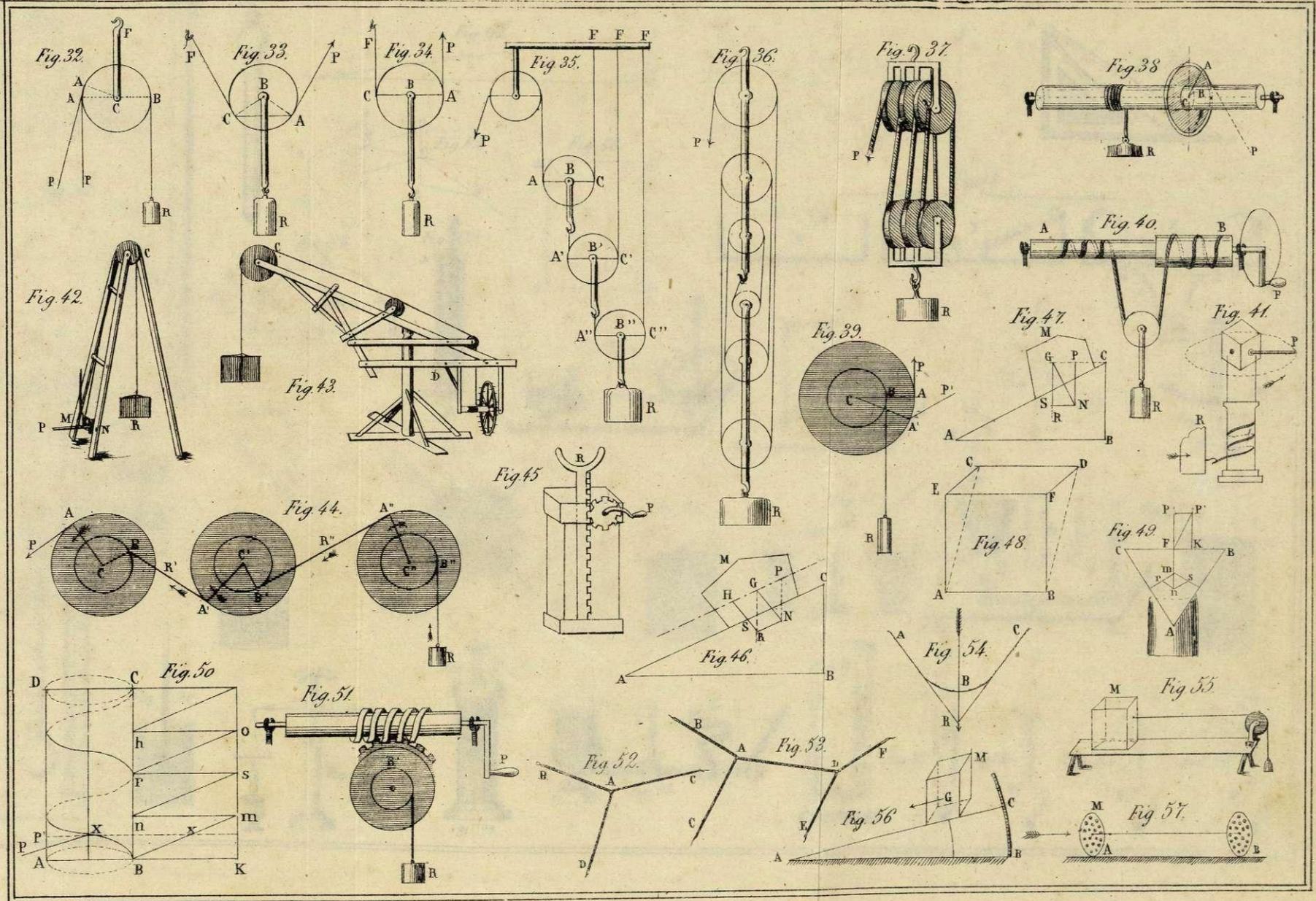
ÍNDICE DE ERRATAS

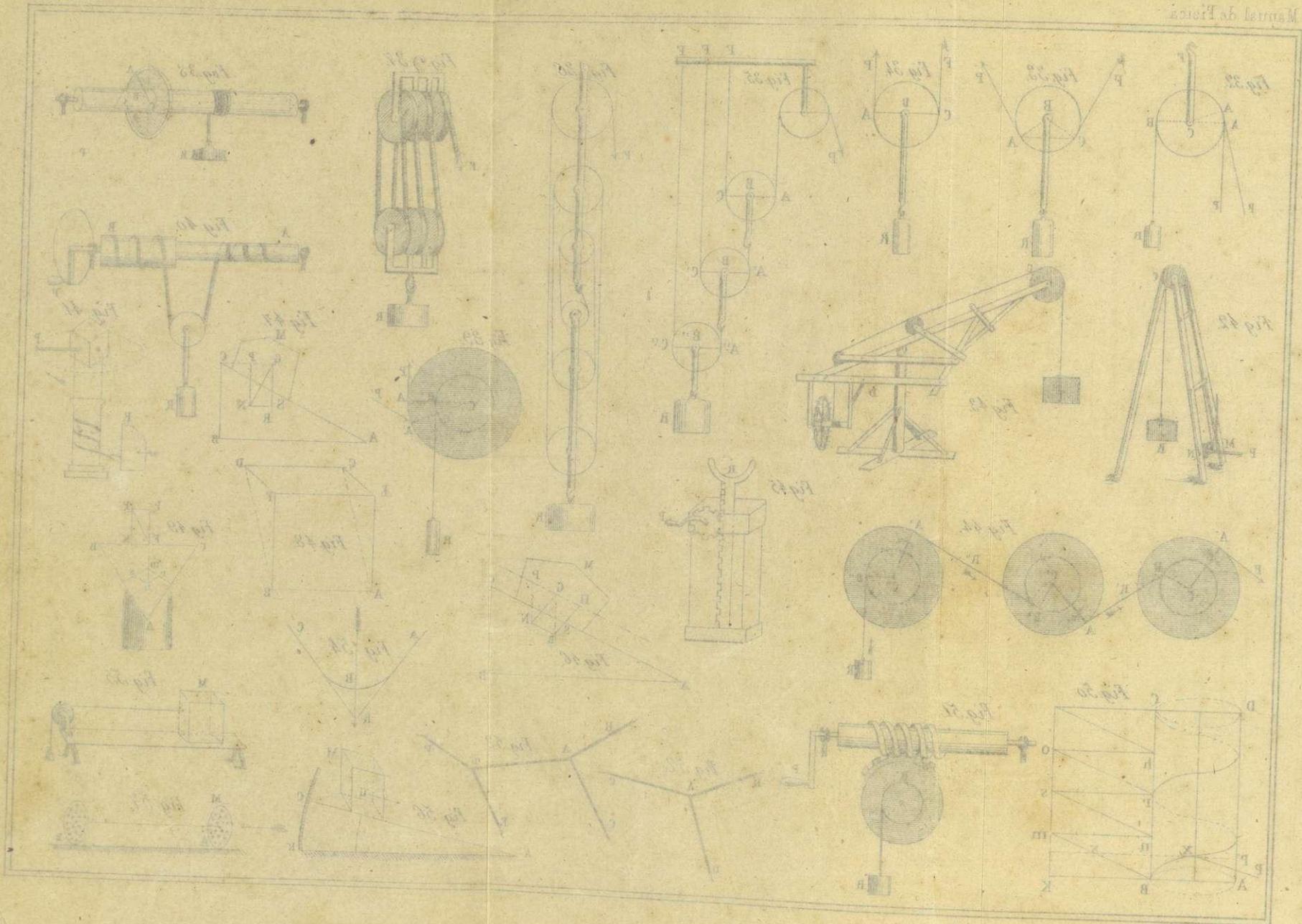
PÁG.	INDICE	CLASE
37	A	BAC
44	31	emancipación P.—M
50	11	O
51	37	La
56	10	P. P.
72	31	incumbit
74	11	15 kilogramos
78	10	A. A.
110	11	Fig. 81
132	31	hans la emancip
137	3	Fig. 07 (2.º)
154	10	mas
170	1	A. B.
170	1	redonda
221	10	de otro
228	1	o
244	3	del
260	25	ello
278	14	hocas
282	18	chips
282	23	Fig. 281
287	1	Fig. 282

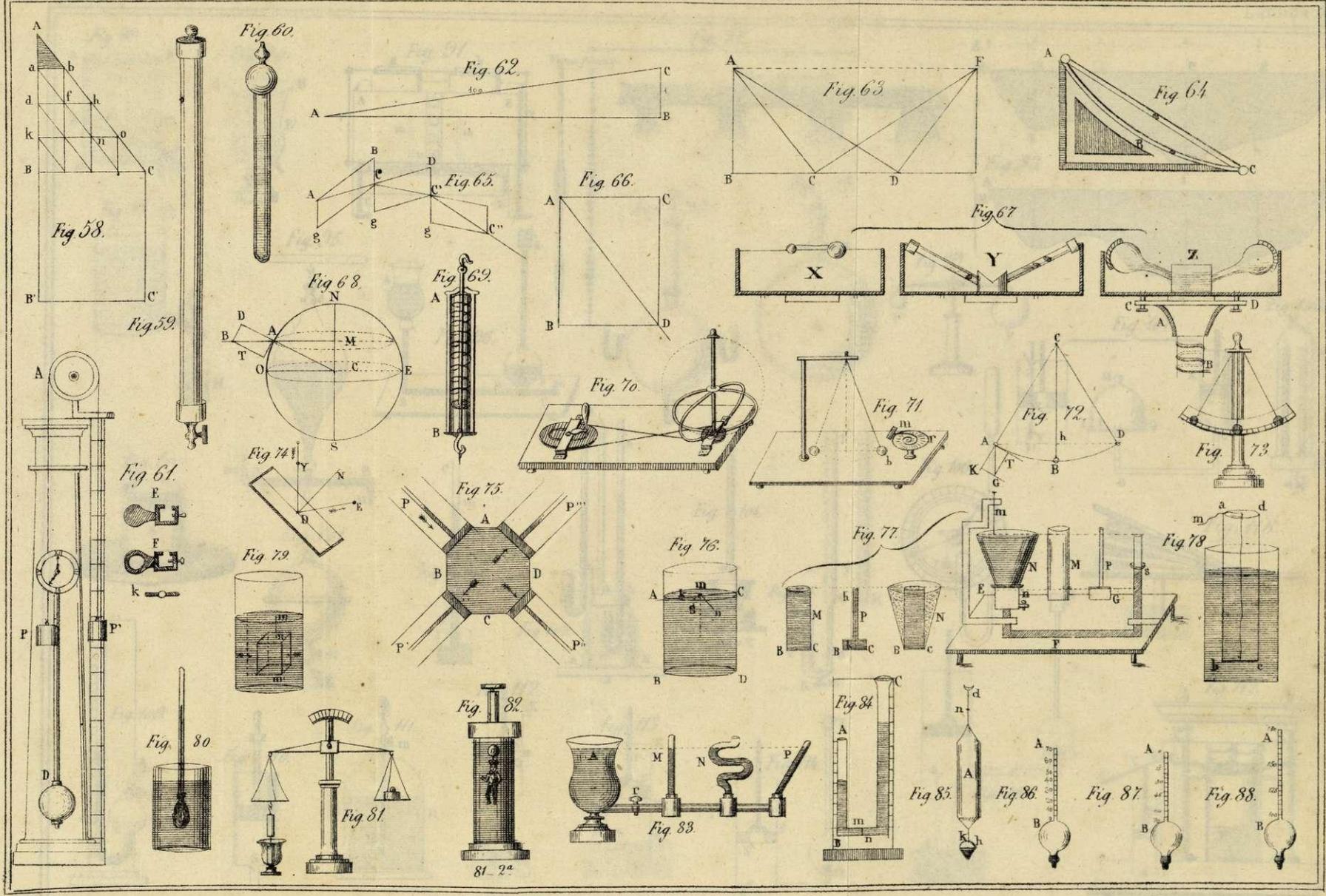
FIGURAS

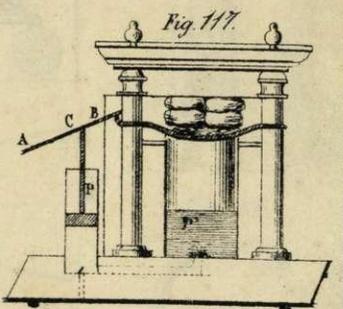
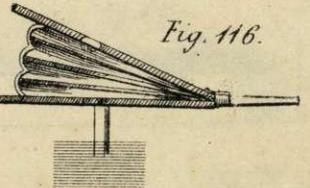
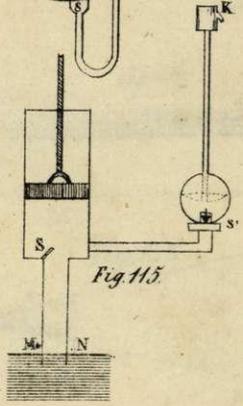
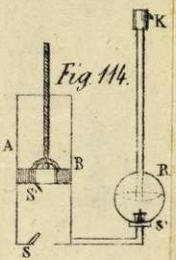
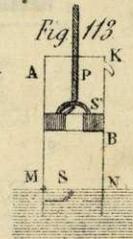
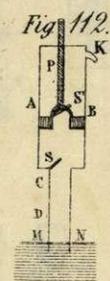
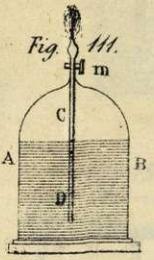
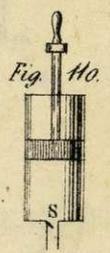
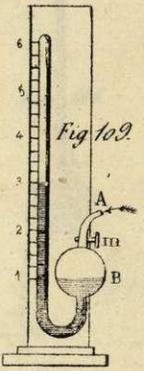
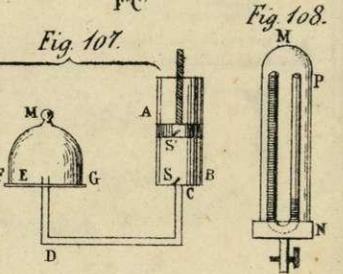
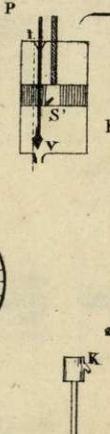
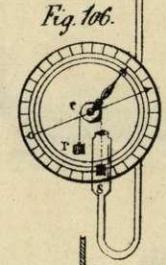
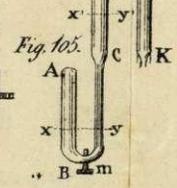
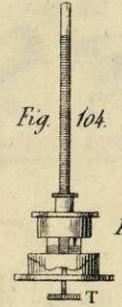
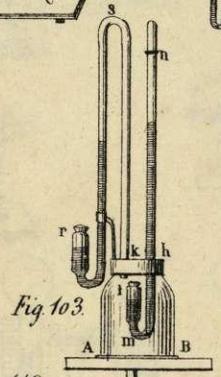
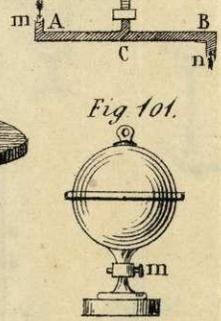
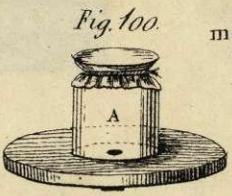
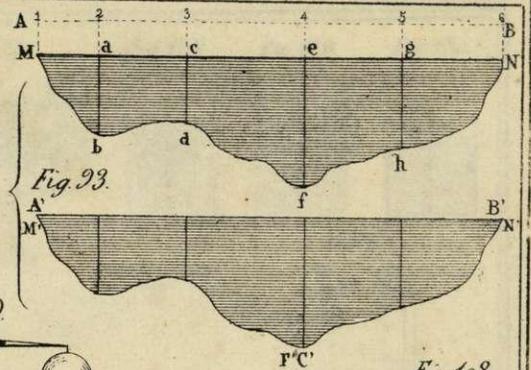
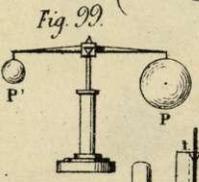
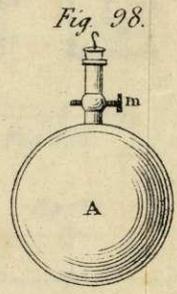
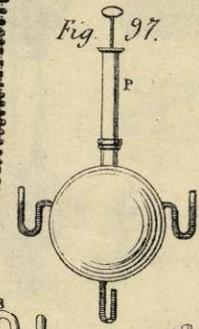
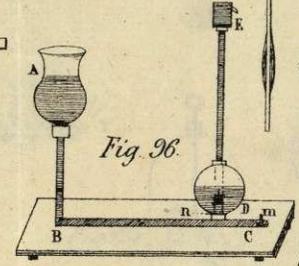
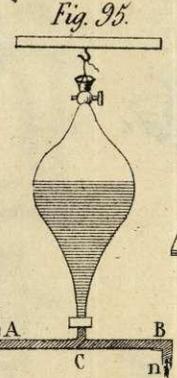
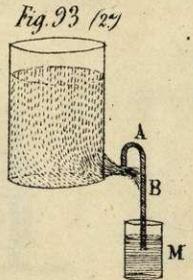
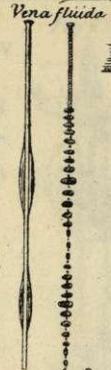
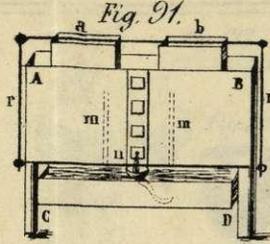
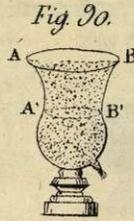
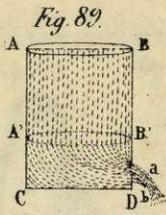
Algunas figuras llevan la nota que corrige el error.
 En la figura 79 se y la están cambiadas.
 En la fig. 199 las flechas van al revés.
 En la fig. 220 la rueda A tiene doble número de dientes.

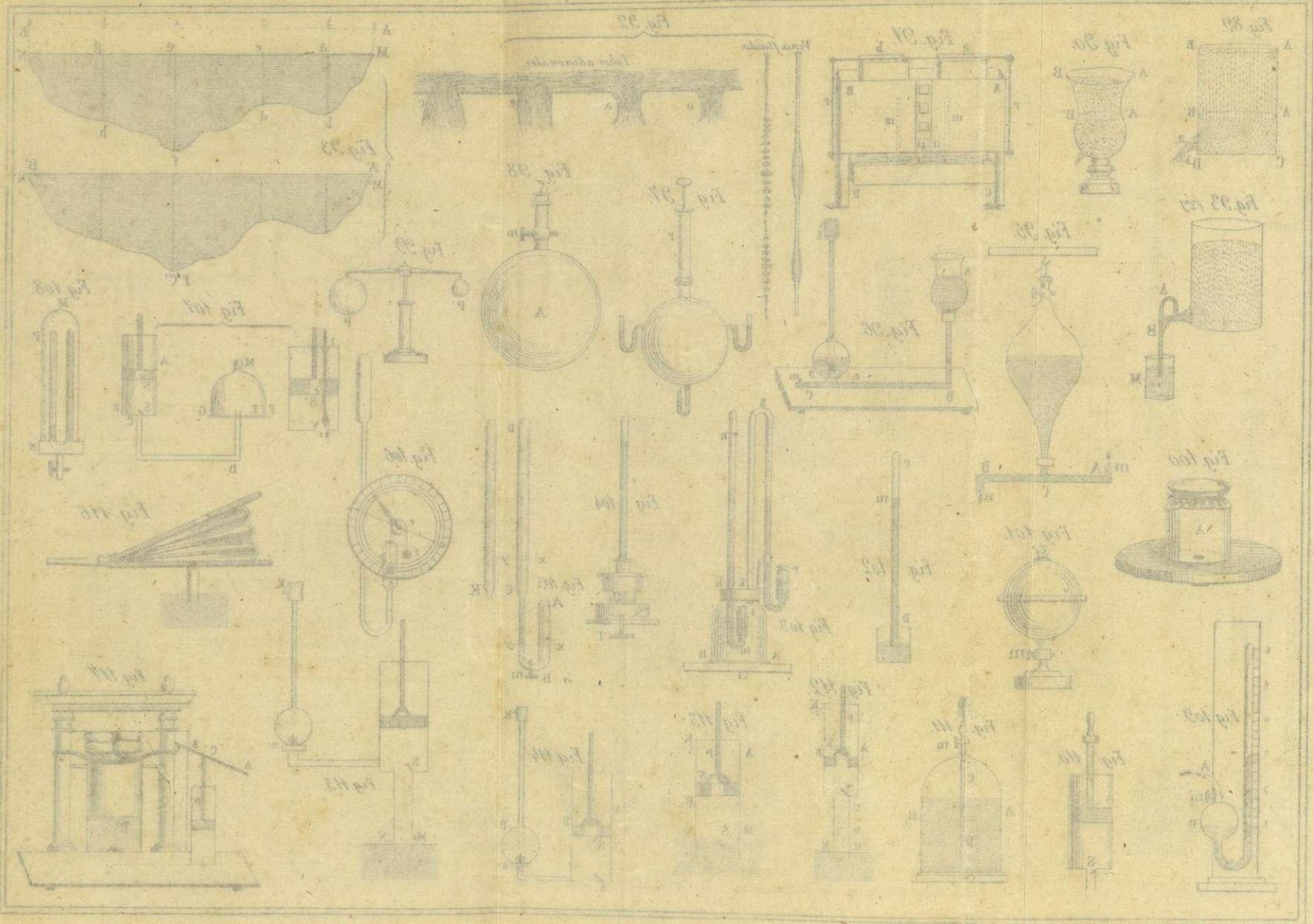


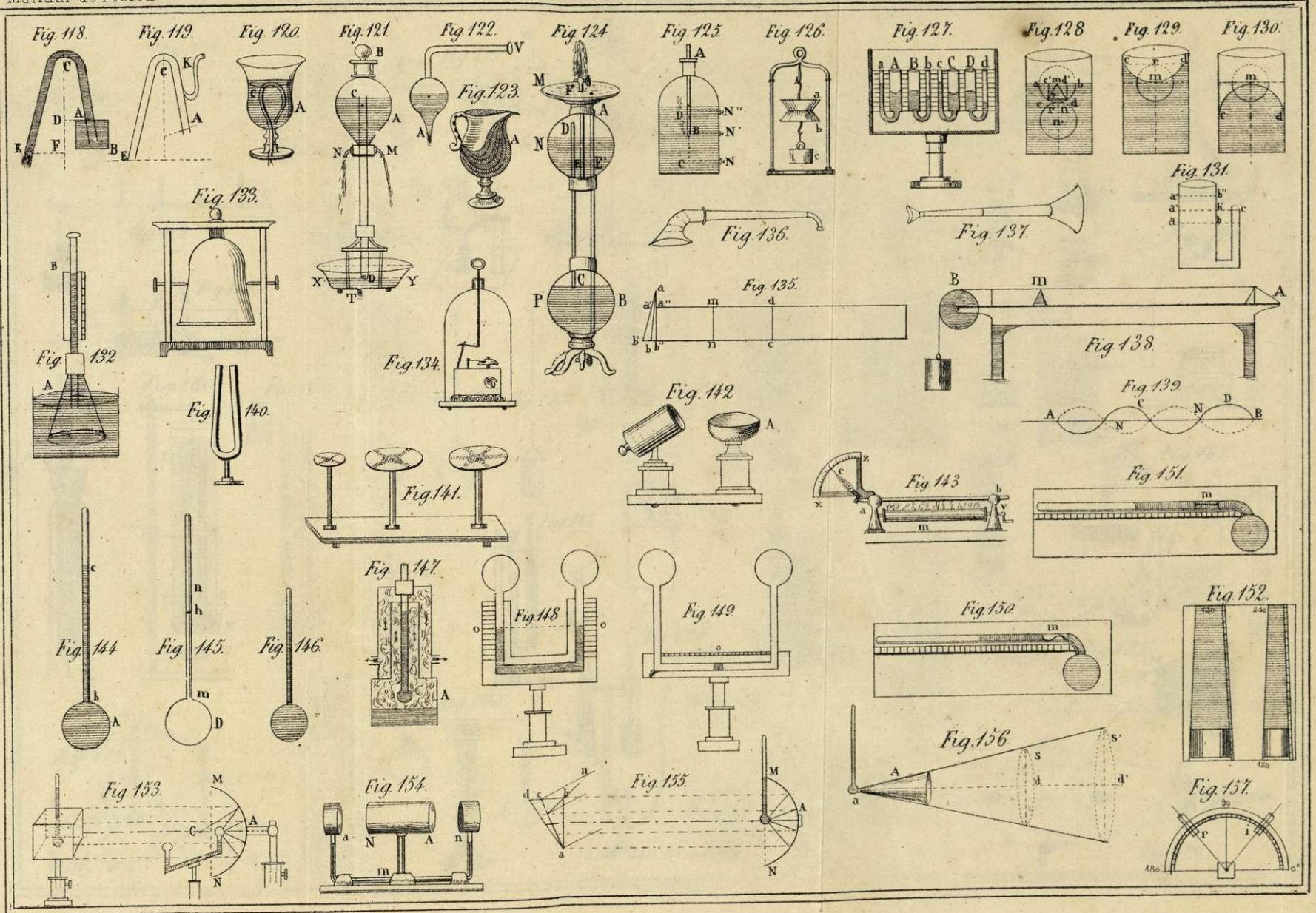


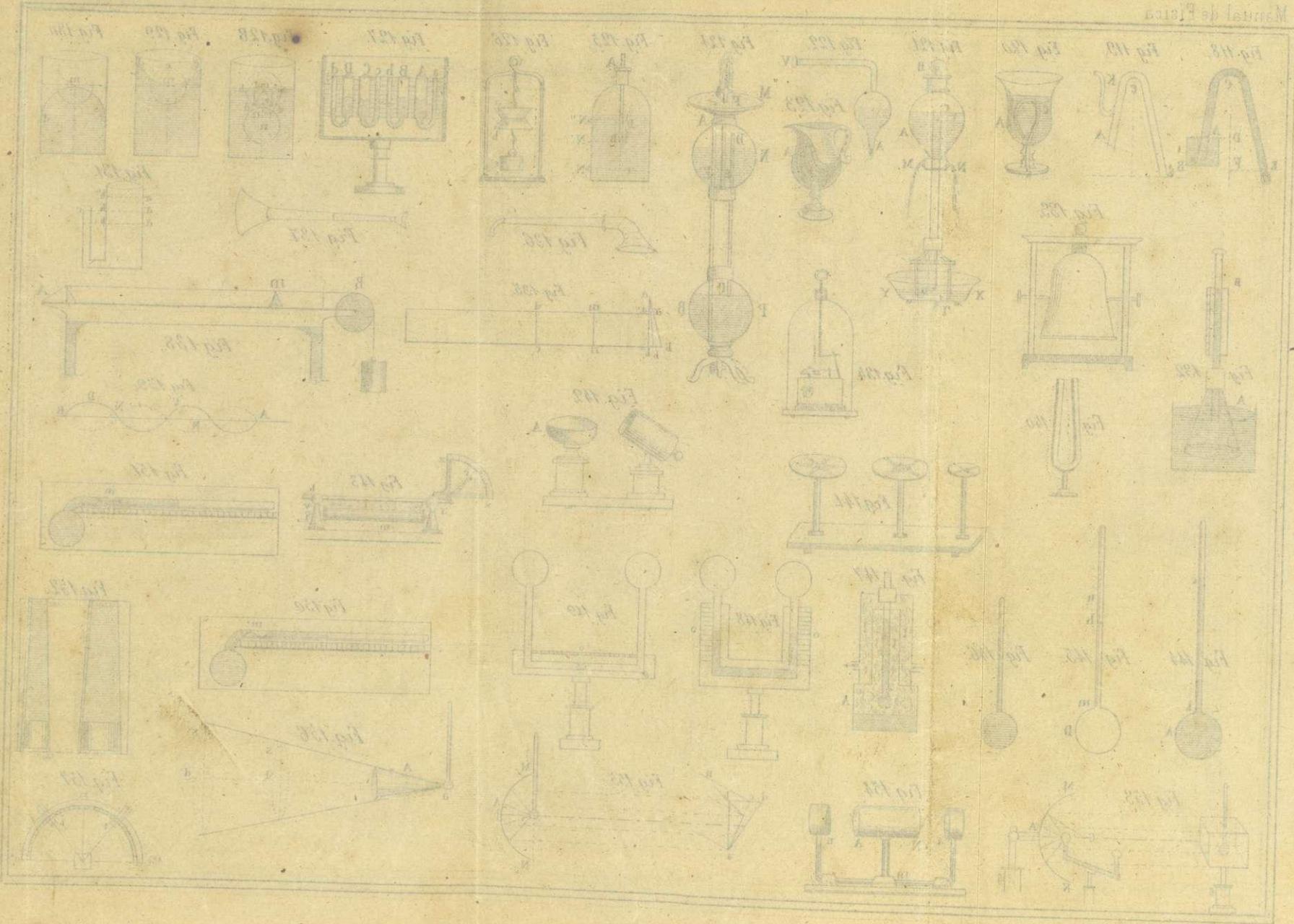


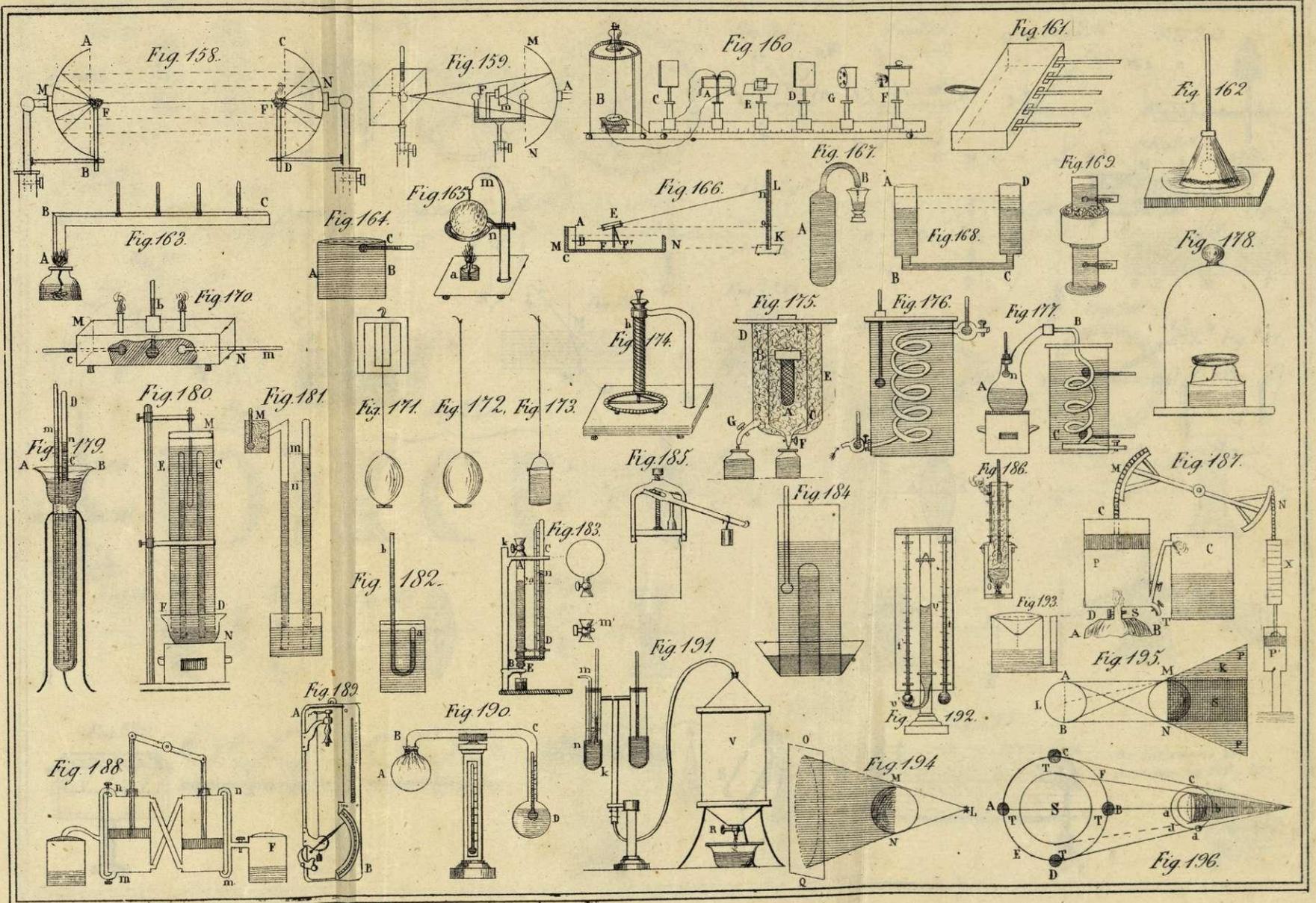


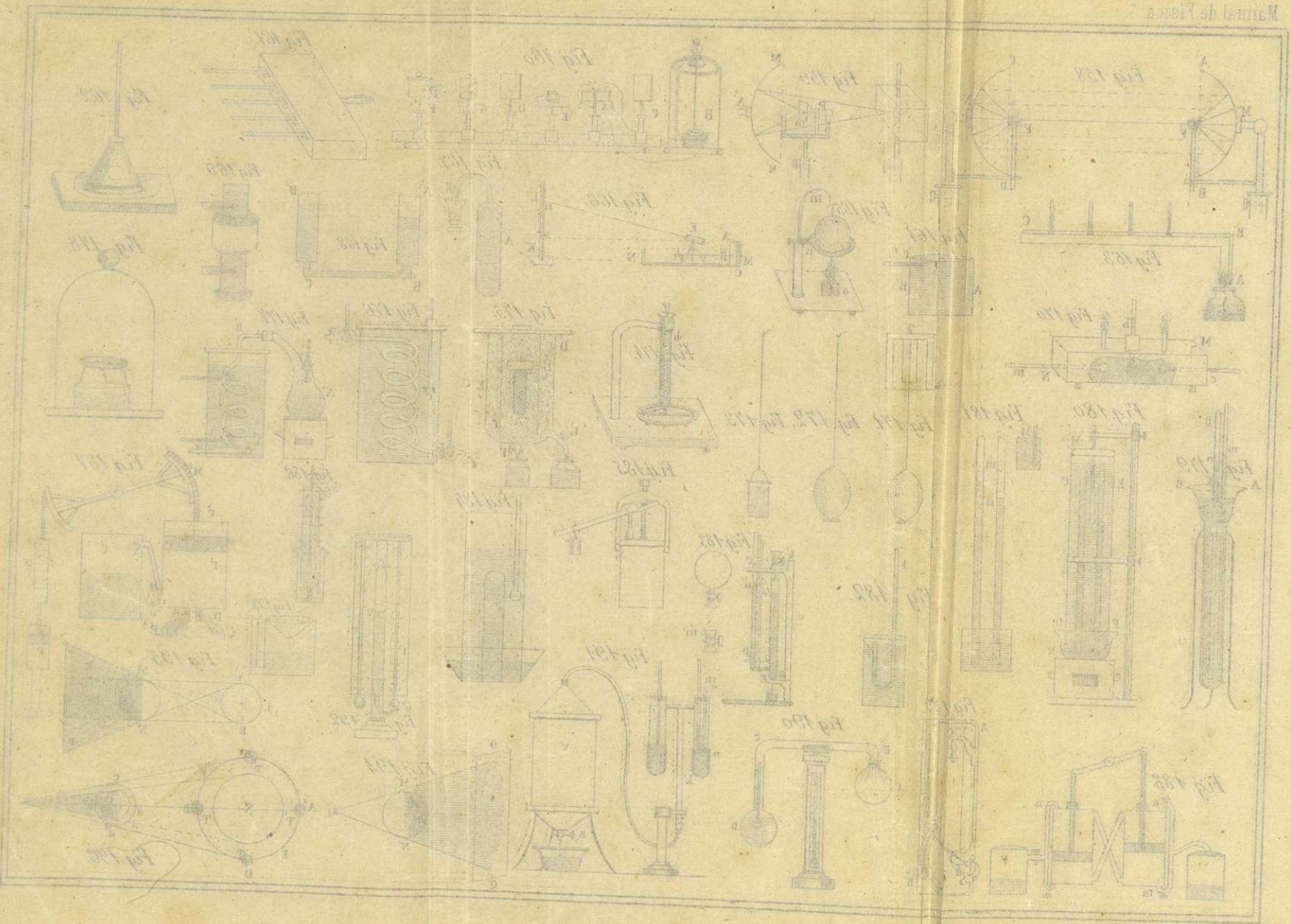


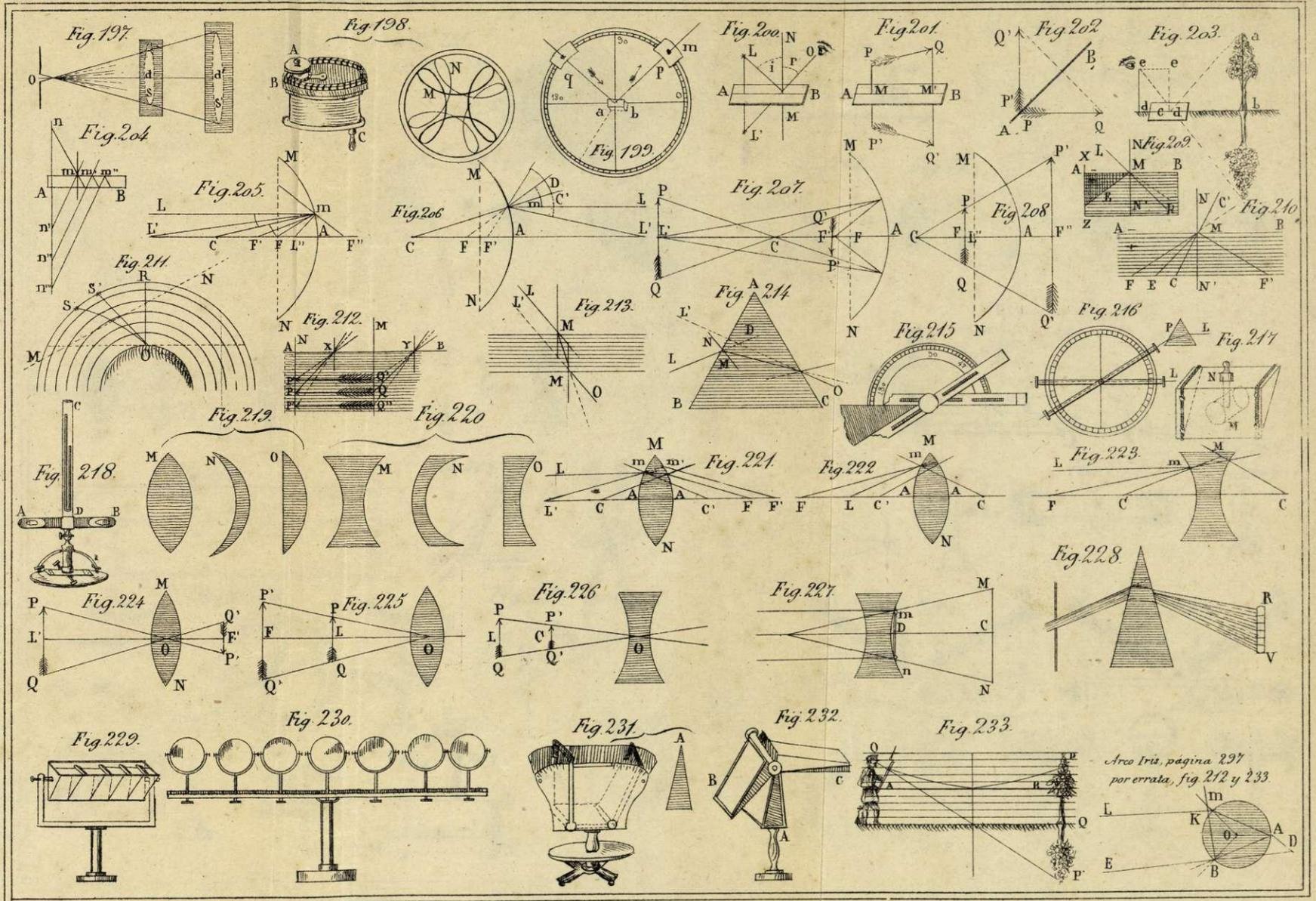












Arco Iris, página 297
 por errata, fig. 212 y 233

