



No. 2
31-7099

8=9 4=16 11=9

2-31-7099

Biblioteca Universitaria	
GRANADA	
Sala	B
Estante	74
Tabla	
Número	79

BIBLIOTECA	REAL
Sala:	B
Estante:	22
Número:	470

M. 1010

NUEVO
MANUAL COMPLETO
DE
FÍSICA Y METEOROLOGIA

POR

J. B. F. STEPH. AJASSON DE GRANDSAGNE

Y

J. M. L. FOUCHE.

ADORNADO DE SEIS LAMINAS

QUE CONTIENEN MAS DE TRESCIENTAS FIGURAS.

TRADUCIDO AL CASTELLANO

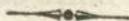
POR

D. FERNANDO SANTOS DE CASTRO

DOCTOR EN MEDICINA Y FILOSOFIA

E INDIVIDUO

DE VARIAS CORPORACIONES LITERARIAS Y CIENTIFICAS.



SEVILLA.—1840.

IMPRESA DE LA REVISTA ANDALUZA.

1870

LIBRO

MANUAL COMPLETO

PRÁCTICA Y METROLOGÍA

J. H. F. STEIN, MAISON DE CHAMBERLAIN

J. M. L. POTCHER

Esta obra es propiedad del traductor, quien demandará en juicio al que la reimprima sin su licencia. Todos los ejemplares llevan la rùbrica siguiente.

S.



REVISTA

IMPRESA DE LA REVISTA

PRÓLOGO DEL TRADUCTOR.

Al ocuparme de la traduccion de este Manual de Física y Meteorología, recientemente publicado en Francia, no he llevado otro objeto, que el de proporcionar á los jóvenes, que se dedican á adquirir estos conocimientos, una obra en que se encuentren todos los adelantos, que las ciencias físicas han hecho en estos últimos tiempos en los países mas cultos, tratados con la conveniente estension y claridad, espuestos en un orden adecuado, y espresados en un estilo el mas claro y conciso.

La falta de obras didácticas, tan notable en nuestro país, es uno de los graves obstáculos, que tienen que superar los que se dedican a la difícil, pero honrosa tarea de la enseñanza, supliendo aquella, por medios siempre imperfectos, ya con sus esplicaciones ó apuntes, ó ya haciendo que los mas aventajados de los discípulos consulten algunas otras obras, que ó por los conocimientos que suponen ó por lo voluminoso de ellas, ó bien por su escesivo costo, no es posible generalizar en clases nu-

merosas. A este grave inconveniente se agrega, que el verdadero y sólido fundamento de las demostraciones físicas, son las ciencias matemáticas, y no estando aun perfeccionada la instruccion elemental, de manera que los jóvenes, que cursan la Física, hayan podido adquirir el suficiente caudal de conocimientos en las ciencias exactas, para hacer de ellas útiles aplicaciones, las demostraciones de aquella caducan por el cimiento. En tal estado, y mientras que no se reforma la educacion elemental, los que siguen la penosa tarea de enseñar deben elegir aquellos tratados en que se haga el menor uso posible de las demostraciones geométricas, eligiendo para ello un testo en que los hechos se hallen espuestos de una manera puramente experimental, y sus consecuencias deducidas de un modo racional sin el auxilio del cálculo algébrico.

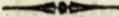
De esta forma los elementos de la física se ponen al alcance de la juventud, que solo procura en las clases adquirir nociones generales de las ciencias, bien como una útil ó necesaria preparacion para estudios superiores, como la historia natural, ó la medicina, ó bien solamente como complemento de su educacion; y al mismo tiempo se dá á esta ciencia un mayor interes, que facilita extraordinariamente su estudio. En este concepto ninguna de las obras que han llegado à mis manos llena mas completamente el objeto, que la que hoy presento á los jóvenes. En ella se encuentra, despues de la exposicion de las propiedades generales de la materia, el tratado del equilibrio de los cuerpos sólidos y las maqui-

nas, que es lo que constituye la estática, el del equilibrio de los líquidos, y de los sólidos flotantes y sumergidos en ellos, ó sea la hidrostática, el de la composición de las fuerzas ó la dinámica, y el de los líquidos en quietud ó movimiento, ó la hidrodinámica é hidráulica. La esposición de las propiedades interesantes y curiosas de algunos cuerpos particulares ocupa una gran parte de esta obra, tales son las del calórico de que tan útiles y ventajosas aplicaciones se han hecho á la industria y á las artes adoptando la inmensa potencia del vapor como poderoso motor de las máquinas; tales son tambien las del fluido magnético y galvánico. En esta parte de la obra se halla la historia de la electricidad y sus curiosos y agradables fenómenos. El lumínico con las maravillosas é interesantes leyes que observa en sus reflexiones y refracciones, ó sea la catóptrica y dróptrica, y la descripción de los instrumentos que dan á conocer estas propiedades viene en seguida á dar mas interés á este Manual. Finalmente se encuentra como complemento de la Física un tratado de Meteorología, ó de los fenómenos maravillosos ó mutaciones diversas, que se verifican en el seno de la atmósfera, describiendo en él un gran número de instrumentos inventados por la sagacidad de Mr. Leslie por medio de los cuales se está en estado de apreciar las mas pequeñas alteraciones ó vicisitudes del fluido en que vivimos.

No entraré en pormenores acerca de las ventajas de este Manual que los profesores instruidos, ó los alumnos estudiosos estan en es-

tado de apreciar á su vez; pero si no llenare el objeto de la enseñanza, que es el que principalmente me propongo en la traduccion, tendré al menos la satisfaccion de haber vertido á mi lengua, y necesariamente familiarizado, una obra que contiene tan preciosos y útiles conocimientos.

Introduccion.



Los cambios y metamorfoses que suceden á nuestra vista, escitan desde luego nuestra curiosidad, pero la esperiencia atestigua bien pronto la constancia y regularidad de ese espectáculo, y conocemos entonces que el vasto movimiento del universo consiste simplemente en la repeticion de acontecimientos entre sí semejantes. Eternamente se ocupará en vano la sagacidad humana en descubrir los ocultos resortes, por cuyo medio están unidos los eslabones de la inmensa é indisoluble cadena que abraza todas las cosas; sin embargo, como el mas complicado fenómeno es siempre el resultado de un pequeño número de principios, marchamos al objeto que nos proponen las ciencias, estableciendo las diferencias y clasificaciones de estos hechos elementales.

Los hombres no obstante poco satisfechos á veces de adelantos tan moderados, han sufrido frecuentemente grandes humillaciones, y crueles desengaños, queriendo, en su audacia y temeridad, penetrar los secretos de la naturaleza. El primer deber del filósofo investigador es estudiar con cuidado las esterioridades que vienen sucesivamente á herir sus miradas, y señalar sus mútuas relaciones.

Todos nuestros conocimientos acerca de los objetos esteriores nos vienen por medio de los sentidos, y de aquí es que solo dos medios tenemos de examinar los fenómenos físicos, que son la observa-

cion y la esperiencia. La primera, se limita á inquirir y ecsaminar atentamente los hechos que nos presenta la marcha de la naturaleza: la segunda consiste en una especie de eleccion y combinacion artificiosa de las circunstancias, que pueden favorecer la indagacion minuciosa de los diferentes resultados sobre que se fija la atencion.

El dominio de la observacion está limitado por la posicion del espectador, el cual rara vez puede alcanzar la naturaleza, escudriñarla, y sorprenderla como quien dice, en el acto: estas observaciones, comprendiendo relaciones de tiempo y de espacio, son de un grande interes, y reciben una esactitud rigurosa con la repeticion de los mismos acontecimientos, de aquí es que la astronomia es entre todas las ciencias la mas prócsima á una completa perfeccion.

La esperiencia es un medio mas eficaz que la observacion para conocer los secretos de la naturaleza. Sin ecsigir como esta el continuo trabajo de la vigilancia, adquiere y merece una gran confianza, por la comprobacion que el observador puede hacer frecuentemente de los fenómenos, retardando ó acelerando á su arbitrio los resultados que desea. Aunque los tiempos modernos puedan atribuirse el honor de haberla empleado con frecuencia, no ignoraron enteramente los antiguos sus procedimientos, y parece que han ocultado las nociones que tenían de ella bajo el velo encantador de la alegoria.

Proteo designaba los cambios y metaforses de los objetos materiales, y los poetas aconsejaban al filósofo escrutador esperarse el momento en que el diablo ástuto vendria á dormirse en la ribera para encadenarle, y obligar al rebelde cautivo á revelar sus secretos; pintura espresiva de la conducta prudente, pero atrevida, de un hábil esperimentador. Este debe en efecto aplicarse á encadenar la naturaleza, distinguir las diferentes causas de una accion producida, para dar á conocer el agente predominante, y á eliminar en cuanto sea posible, las causas

perturbadoras. Con todas estas precauciones llegará á obtener un resultado simple y despojado de toda confusion, y no misto como los que nos presenta la variedad de efectos confundidos en el curso ordinario de las circunstancias: por este medio la accion de cada causa se hace clara, y capaz de desenvolverse separadamente.

El punto principal en las investigaciones fisicas es separar, por los procedimientos analiticos, los diversos efectos que la naturaleza nos presenta confundidos. La historia de la astronomia desde sus tiempos mas remotos, nos presenta egemplos notables de estas inducciones sucesivas. El verdadero filósofo trabaja por reducir el número de los principios ó hechos primitivos: á medida que estiende sus conocimientos, descubre nuevas relaciones, que todas convergen hácia un centro comun; pero debe cuidar de entregarse á este gusto de simplificar. Remontándose al origen de cualquier potencia es evidente que hallará unos limites insuperables, y la prudencia le aconsejará cuando debe detenerse, ó bien inventar instrumentos para continuar sus investigaciones.

Todo engrandecimiento en los conocimientos matemáticos, cualquier aumento hecho á las riquezas de la fisica, y toda perfeccion en la construccion de los aparatos fisicos, es un preludio de adelantamientos en la ciencia. Aun de ligeras alteraciones en la práctica de las artes se han seguido á veces resultados importantes para las consecuencias teóricas. La envidia concede frecuentemente á la casualidad todo el honor de un descubrimiento científico, mas la intervencion de la casualidad en estas investigaciones no debe rebajar en nada el mérito de la invencion. En efecto, tales acontecimientos serian imperceptibles á los ojos de los hombres vulgares; solo es dado á la vista del genio percibir facilmente los rayos de una luz inesperada, y discernir la serie de consecuencias que revelan. En todas las edades se han visto con indiferencia caer al suelo los frutos, y sin embargo el espectáculo

accidental de la caída de una manzana fué bastante para despertar en una inteligencia profunda aquella serie de reflexiones sublimes, que condujeron á Newton al descubrimiento del sistema universal. La atracción de la electricidad por medio de las puntas metálicas, que servia solo para recreo, condujo al inmortal Franklin al descubrimiento del para-rayo, á cuyo fisico se hace alusion pintando su conducta diciendo.

Eripuit cælo fulmen sceptrumque tyrannis.
Arrancó el rayo al Cielo, y el cetro á los tiranos.

Despues que nuevos hechos han sido conocidos, y por una observacion severa, ya por esperiencias cuidadosamente hechas, se debe recurrir á los procedimientos, y consecuencias que nos dá la sintesis. Mas, para recorrer con suceso todos los eslabones de la cadena de consecuencias, es necesario estar dotado de un juicio recto, de una inteligencia superior, conducida por una lógica prudente y moderada. El instrumento mas propio para favorecer y aumentar estas operaciones es la geometria, á cuya ciencia debemos todo lo que hay de mas positivo en la fisica, y por su poderoso auxilio han sido elevados los principales ramos de las ciencias á un grado sublime en los tiempos modernos.

Sin embargo las aplicaciones mas rigurosas de los racionios matemáticos no son siempre utiles para conocer los secretos de la naturaleza. El filósofo investigador debe muchas veces contentarse con buscar alguna aprocsimacion á la verdad, y la analogia, en este caso, puede servir de guia fiel para asegurar su marcha. Algunos talentos, mas felices que otros, avanzan en efecto, con una sagacidad que rara vez los engaña, y proporcionan la celeridad de su paso con la porcion de luz que los ilumina prestándoles un auxilio eficaz la geometria.

Las hipótesis, aunque espuestas á frecuentes abusos, no deben absolutamente desterrarse del dominio

de la física, porque sugieren á menudo nuevos medios de investigacion, y producen entonces resultados felices. Ellas pueden tambien servir de preludios á las investigaciones, pero son generalmente muy seductoras, y muy engañosas para que se les deje mucho tiempo en posesion del espíritu.

El don de una imaginacion activa es necesario á todo experimentador, pues esta facultad ha presidido siempre á todos los grandes descubrimientos. La imaginacion del filósofo difiere de la del poeta en que produce imágenes menos vivas, pero es como aquella tan creadora, y tan facil en comprender las escenas pasajeras de la naturaleza. Ella provee sin cesar al observador de nuevos espedientes, ella le proporciona medios de multiplicar los puntos de ataque, y le da un brillo mágico á los cuadros que contempla. ¿No era la imaginacion de Arquimedes, por ejemplo, tan poderosa y ardiente como las de Corneille, Racine ó Moliere, cuando transportado de un entusiasmo sublime, y desgarrando, por decirlo asi el velo de la naturaleza, vió con toda su claridad, y en todas sus consecuencias, aquella verdad fecunda y fundamental de toda la Hidrostatica? ¿cuando inventando su espíritu nuevos procedimientos, y como separado de su cuerpo, meditaba aquellas combinaciones de máquinas por cuyo medio un solo hombre era formidable á todo un ejército, y despreciaba las amenazas del bárbaro? feliz él soñando la salvacion de su pais, que tanto tiempo habia conservado inmortalizado por sus pasadas acciones, y mas feliz muriendo por no sobrevivir á la libertad de su cara patria!

Pero la imaginacion tiene necesidad de sujetarse al freno de un recto juicio. El filósofo sigue sus investigaciones con ardor, y sin embargo conserva la prudencia, y la reflexion en las consecuencias que de ellas debe deducir, y su atencion es atraida á veces por la apariencia de alguna anomalía. Mientras duda y reflexiona, sabe en medio de su inquietud, contener su deseo con la espe-

ranza del placer de investigar algun nuevo principio. La demostracion de un solo error es un paso seguro hácia un descubrimiento.

Tal es el ventajoso metodo de interrogar la naturaleza, pero los filósofos de todos los tiempos se han engañado por la impaciencia de someterse á un plan de investigacion tan tímido en apariencia, tan lento y laborioso. Mas agradable era á la indolencia y presuncion humana formar hipótesis que pudieran, al menos imaginariamente, ordenar la serie de sus opiniones.

Empresas tan temerarias arrullaron la dormida curiosidad, y fueron muy fatales al progreso de la verdadera ciencia, dejando por siglos enteros los primeros rayos de la aurora de los conocimientos estender su luz incierta sobre el espíritu humano.

Las ciencias nacieron y tuvieron su cuna en aquellas comarcas de donde nos parece que el sol nace entre las olas del oceano. La Grecia, aunque no es mas que un punto sobre la superficie de nuestro globo, empezó la brillante carrera de su gloria, y estendió la primera los beneficios de aquellas ciencias, que estaba destinada á verter sobre el género humano, harto tardio en manifestar su reconocimiento á los nietos de sus bienhechores. Los sabios de aquel pais cogieron frutos, poco numerosos, viajando en paises estraños, y por las ciudades mas famosas: ellos reunian las estinguidas cenizas de las ciencias, las reanimaban al soplo de su genio, y saliendo velozmente de aquel estado de infancia, ostentaron las riquezas de una imaginacion vivificante, y todos los recursos de un talento fértil é inventor.

Thales, fundador de la secta jónica, gastó un rico patrimonio, y muchos años en largos viages, y traslado á la Grecia los conocimientos de los sacerdotes del misterioso Egipto. Anaximandro y Anaximenes, sus sucesores, enseñaron las mismas doctrinas ligeramente modificadas, y sus conocimientos aunque superficiales en realidad, aspiraban á gran-

des esplicaciones. Ellos se entregaban con placer á sus sistemas cosmológicos, por cuyo medio pretendian explicar el origen, y creacion de todas las cosas. Tan temerarias especulaciones alhagaban el orgullo humano, y embelesaban la imaginacion, presentándole un brillante fantasma, que parecia la verdad. Aquellos primeros sabios pretendian que todas las sustancias de la naturaleza eran el resultado de la combinacion, en diversas proporciones, de cuatro elementos distintos que eran el aire, el agua, el fuego, y la tierra; esta y el agua se consideraban como graves é inertes, mientras que atribuian al fuego y al aire una virtud elástica, causa de su ligereza y movilidad: la materia terrestre y grave ocupaba el centro, el agua surcaba la superficie del globo en rios y torrentes, que se perdian en el Oceano, de donde tomaban sus manantiales, y cuyas olas circundaban la tierra; el aire y el fuego, ó el éther, se exalaban á lo alto, ocupando el primero toda la region sublunar, y el segundo la inmensa extension del espacio, en donde este fluido puro y sutil engendraba en su condensacion los luminares de la bóveda celeste: sin embargo algunas porciones de esta divina esencia descendian á la tierra, para animar los seres, comunicándoles una chispa vivificante. Estas visiones y sueños fantásticos asi ordenados, fueron las delicias de los primeros tiempos: despues se recibieron por el vulgo, y aun hoy mismo dan alguna fuerza al language poético.

Anaxagoras, que continuó la escuela jónica, se elevó á mayor altura; abandonando una pingüe fortuna, consagró la mejor época de su vida á la adquisicion de conocimientos entre los sacerdotes del Egipto, y los Magos de la Persia, y vuelto á Grecia, se vió obligado por temor de las invasiones extranjeras á trasladar su escuela de Jonia á Atenas: su elocuencia y saber hizieron grande impresion en aquella ciudad espiritual; pero anticipandose, en su obscuro language, á los modernos descubrimientos, se atrajo el odio de los ignorantes y pobres talen-

tos, desenvolviendo sus ideas contrarias á las opiniones acreditadas.

Entonces tuvo la Isla de Samos el honor de producir á Pytágoras, el primer sabio que tomó el nombre modesto, pero recomendable de filósofo ó *amigo de la sabiduria*. La naturaleza le favoreció con sus mas preciosos dones, y un asiduo trabajo relevaron aquellas cualidades, que dan imperio sobre las almas de los demas hombres. Pytágoras sacrificó su grande fortuna, y la mayor parte de su vida en adquirir conocimientos: fué admitido à participar de los misterios de Memfis; permaneció algun tiempo en Fenicia; visitó la Persia y continuó sus viajes en Oriente hasta las orillas del Indo de donde transportó el sistema de la metempsychosis, que algunos sabios, entre los cuales se cuenta con honor el modesto Mr. de Chezy, han encontrado esacto, y aun quiza mas perfecto, en la lengua sagrada de la India, el samskrit. Despues de una ausencia de treinta años volvió enriquecido con el caudal de sus variados conocimientos, y se presentó á la admiracion y respeto de sus conciudadanos reunidos en los juegos olímpicos. Al principio enseñó en su isla natal; pero bien pronto se trasladó á una colonia griega, fundada en Tarento sobre las costas de la Calabria. En esta voluptuosa ciudad tuvo un gran número de discípulos, y fundó el instituto Itálico, que subsistió muchos siglos despues de su muerte.

Para no chocar con las preocupaciones de sus compatriotas, juzgó Pytágoras conveniente dividir su doctrina en dos partes, *exotérica y esotérica*; la primera consistia en discursos dirigidos al pueblo en los templos y otros lugares públicos, para reformar sus costumbres y sus malas inclinaciones; la segunda contenia los principios secretos, que solo comunicaba á un pequeño numero de discípulos, á quienes juzgaba dignos depositarios de aquellas verdades, despues de largas y severas pruebas. El siguió con empeño el estudio de las matemáticas especialmente las partes que tratan de los números y de

las proporciones; llena su imaginacion de relaciones numéricas, fundó la teoria de la música, que cultivó como artista y como sabio; en seguida trasladó sus ideas de la música á la harmonia de los movimientos celestes, y elevándose á la sublime concepcion del verdadero sistema del universo, parece haber ocultado este gran descubrimiento tras el velo, de una ingeniosa alegoria. Bajo el emblema de Apolo modulando su flauta, enseñaba á sus discipulos escogidos, que todos los planetas, son como la tierra, mundos habitados, que ruedan sin cesar al rededor del sol su centro comun, y sostenia que estos cuerpos, circulando al rededor de la gran antorcha del universo, formaban los mas armoniosos acentos, aunque tan divinos y encantadores sonidos escaparan á nuestros groseros oidos como ahogados en alguna manera por el discordante tumulto que reina aquí bajo.

”El pensó verosimilmente, dice el sabio y desgraciado doctor Bailly, que las sensaciones de los objetos infinitamente grandes, como la de los infinitamente pequeños, escapaban á nuestros sentidos limitados: determinaba la distancia de la tierra á la luna por un tono (esta distancia la estimaba en 126000 estadios de Italia); la de la luna á Mercurio en medio tono; igual distancia de Mercurio á Venus; desde este al Sol, tono y medio; del Sol á Marte un tono; de este á Júpiter, medio tono, y de Júpiter á Saturno, tono y medio, formando esta escala la octava de siete tonos, ó el diapason. No es necesario decir que estas relaciones de distancias son falsas. Se ignora si Pytágoras fué conducido á esta idea por desconocer las verdaderas distancias de los planetas ó si, preocupado con la armonía quimérica de los astros, dedujo la proporcion de sus distancias por los intervalos que hay en los tonos.”

El discipulo mas distinguido de Pytágoras fué Empedocles natural de Agrigento en Sicilia; consideraba este los cuerpos como compuestos de partículas infinitamente pequeñas en un estado de continuo mo-

vimiento, á las cuales sujetaba la fuerza inherente á la materia, y las separaba otra fuerza opuesta á aquella. Este hizo dar un gran paso á las ciencias físicas introduciendo dos principios opuestos, que designaba en su lenguaje figurado, con los nombres de *amistad* y *enemistad*, cuya accion es en un todo análoga á las de nuestras fuerzas de atraccion y repulsion, que tan grandes servicios prestan á las teorías físicas de los tiempos modernos.

Xenophanes trasladó un gran número de ideas pitagóricas á la secta poco numerosa, que fundó en Elea en Campania; fué el primero que tuvo el honor de sentar el principio de geología de que la corteza exterior de nuestro globo existió primitivamente en estado líquido, que las conchas fosiles, y demas despojos descubiertos en las entrañas de la tierra, y en el vértice de las mas elevadas montañas, habian sido formadas bajo las olas del occéano en una epoca muy remota.

Leucipo, que salió de esta escuela, no solamente sostuvo la doctrina de los átomos, sino tambien la existencia del *lleno* anticipando ideas sobre el conocimiento de la fuerza centrífuga. Estas doctrinas fueron estendidas y perfeccionadas por Demócrito su discipulo, que floreció en tiempo de la guerra del Peloponeso, y puede considerarse como uno de los mayores ingenios de la Grecia, tan fértil en producir grandes talentos.

Para adquirir un gran número de conocimientos visitó el Egipto, trató á los magos de Babilonia, y parece haber continuado sus viajes orientales hasta las orillas del Ganges. Los gastos que le ocasionaron estos viajes consumieron su patrimonio, y nuestro filósofo se contentó á su vuelta con disfrutar un pequeño jardin situado cerca de Abdera, en el cual pasó una larga vida en la pobreza y el retiro ocupado asiduamente en hacer esperimentos para descubrir las operaciones de la naturaleza. Rectificó muchos errores acreditados en física, y demostró que la existencia del *lleno* era incompatible con las tras-

laciones de lugar; rechazó la ligereza atribuida al aire y al fuego, sosteniendo que el peso de los cuerpos, es siempre proporcional á su masa ó á la cantidad de materia, y que por consiguiente en el *vacio* todos descenderian con igual velocidad; tambien tenia ideas generales, y muy exactas, sobre la naturaleza del fuego, y de la luz que se hallan espuestas en el hermoso poema de Lucrecia, que aplicaba á este gran filósofo los nombres de *pater*, y de *rerum inventor*.

Numerosas eran en Grecia las sectas filosóficas, cuando Sócrates vino á dar una direccion mas útil al espíritu humano: ridiculizó los miserables sofismas, y los sueños fantásticos de los charlatanes de su época, pensando que el primer paso, que debia darse en los conocimientos reales, era conocer bien toda la estension de nuestra ignorancia. Su gran deseo no era tanto perfeccionar la educacion de un corto número de individuos, quanto estender una sólida instruccion en toda la juventud entera de Atenas: enemigo de vanas especulaciones, recomendaba aquella filosofia que se funda sobre los hechos y la esperiencia. Tenia costumbre de despreciar profundamente todo genero de hipocresia y presuncion; pero su valiente conducta, y su gran celebridad, le atrajeron una infinidad de enemigos ocultos, y murió al fin aquel sábio venerable víctima de la verdad, y de la virtud.

Platon, el mas ilustre de los discípulos de Sócrates, salió de la ciudad infame, que se habia manchado con el asesinato de su venerado maestro, y visitó el establecimiento de los Pitagóricos en Tarento, donde fué iniciado en todos los secretos de la escuela Itálica, despues se puso bajo la direccion de Teodoro distinguido matemático de Cyrena en Libia; enriquecido su entendimiento con los tesoros de estas escuelas célebres, viajó disfrazado por todo el Egipto ecsaminando con cuidado todos los objetos, y recogiendo cuantos informes podian darle. La guerra le impidió continuar su camino, y volviendo á su patria, compró en las inmediaciones de Atenas los bos-

ques de Academus, bajo cuya sombra y retiro, en medio de una llanura alumbrada por los primeros rayos del sol, daba sus elocuentes lecciones á los mas escogidos jovenes griegos, que acudian de todas partes atraidos por la fama de aquel genio extraordinario.

La filosofia de Platon estaba profundamente llena del misticismo de la escuela Itálica; sin embargo le debemos un reconocimiento eterno por su buen modo de análisis geométrico, que proporciona un instrumento tan poderoso para dirigir los procedimientos de la investigacion. Esta invencion, que en manos de sus sucesores en la Academia, era empleada continuamente en estrechar los limites de las ciencias, condujo inmediatamente al descubrimiento de las secciones cónicas, que aunque cultivadas durante siglos como una curiosa especulacion, sugirió en fin á Galileo las leyes del movimiento, y ayudó á Kepler en sus investigaciones sobre la verdadera forma de las órbitas de los planetas. Desgraciadamente la academia en esta disposicion, al tomar su vuelo, abandonó el estudio de los cuerpos materiales inclinándose á estraviarse, y perderse en las congeturas.

Aristóteles, que por tanto tiempo conservó una autoridad despótica en el mundo literario, nació en Estagira, ciudad situada en los confines de la Tracia y de la Macédonia, 385 años antes de la era cristiana, estudió 20 años con Platon á cuya muerte se retiró á Misia ó Mitilena donde permaneció hasta que Filipo de Macedonia le rogó dirigiese la educacion de su hijo el joven príncipe. Cuando Alejandro marchó vencedor contra la Persia, volvió Aristóteles á Atenas, donde abrió la escuela peripatética en un lugar llamado *Liceo*; conservó siempre relaciones amistosas con el héroe macedonio, que le prodigó los mas generosos recursos, para llevar á cabo su proyectada obra sobre la historia de los animales. De cualquier modo que sea, el Estagirista pasó solo doce años en Atenas, y temiendo la tempestad de una persecucion, se retiró á Chalcis, donde termi-

nó los dos últimos años de su vida, arrojándose después, según se cree, en el Euripo.

Por espacio de un siglo después de su muerte, se dejaron enmohecer en un subterráneo húmedo los voluminosos escritos de Aristóteles, que no parecen haber sido muy estimados de los autores griegos y latinos. Jamás filósofo alguno antiguo ni moderno ha recorrido tan vasto campo de investigaciones, y sin embargo su genio universal lo marcaba todo con un juicio sólido, con una gran exactitud de pensamiento, y con una gran penetración, que á veces degeneraba en sutileza. Aunque ambicioso de conservar el carácter de originalidad en sus pensamientos, procuraba fundar toda su filosofía en una escrupulosa observación de los hechos, y sujetando el vuelo atrevido de su imaginación, aplicó sus observaciones á las circunstancias de la vida real, y á la constitución actual del universo: por esta razón sus conclusiones son de un gran valor, toda la vez que el pudiera obtener datos exactos sobre que ejercitar su penetrante sagacidad. La historia natural de Aristóteles debe considerarse como una producción maravillosa para los tiempos en que fué escrita. El fué el creador de la anatomía comparada, y según Mr. Cuvier, el juez más competente en tales materias, las divisiones que estableció son las mejores de cuantas podían hacerse. Fué igualmente el primero que distinguió los nervios de los tendones, señalando los nervios óptico y acústico del topo, los olfáticos y ópticos de los pescados, y describiendo con admirable precisión el modo de incubación de los huevos y el desarrollo de los polluelos. Su meteorología está llena de observaciones delicadas, y concisiones exactas, y aun su física, y su obra *Del Cielo*, contienen, en medio de especulaciones vanas y extravagantes, algunas opiniones que merecen escogerse y separarse de las demás: sus ideas particulares son igualmente dignas de consideración, por la influencia que han tenido sobre la historia y la filosofía. Nosotros debemos tachar á Aristóteles, que seducido

por el atractivo de la sutileza, y las ilusiones de las hipótesis generales, haya permitido á su severo talento estraviarse de la senda de la observacion rigurosa de los hechos. Si los Peripatéticos hubieran cultivado el analisis geométrico con la misma constancia que los sectarios de Platon, hubieran hecho infaliblemente grandes adelantos en la fisica.

Un acontecimiento sobrevino entonces, que contribuyó poderosamente á la estension progresiva de todos los ramos de las matemáticas. Despues de la prematura muerte de Alejandro, se dividieron sus conquistas entre sus compañeros de armas: el Egipto tocó á Ptolomeo, que elijiendo para residencia la Alejandria ocupada por una colonia griega, se dedicó á embellecer la ciudad, y hacerla una distinguida escuela. Fué construido para ello un magnifico edificio llamado *Museum*, en el cual, los sabios traídos de todas partes, eran sostenidos á espensas del tesoro público, y provistos de los libros, é instrumentos convenientes para continuar sus estudios. Este establecimiento fué engrandecido por la munificencia de sus sucesores, que establecieron en él una vasta biblioteca, y construyeron un espacioso observatorio bien surtido de instrumentos astronómicos. Este instituto real sobrevivió á todas las vicisitudes de la fortuna en un período de 900 años, y derramó sobre la especie humana inmensos beneficios. Una serie de hábiles matemáticos dió por espacio de 300 años un brillo continuo á la escuela de Alejandria. Euclides organizaba en sistema los elementos de geometria, y publicó entonces una obra, que sin duda alguna no está ya al nivel de la ciencia, pero que era excelente para su tiempo. Apolonio enriqueció las secciones cónicas, y perfeccionó el analisis geométrico, en el cual le siguió ventajosamente Pappus; Diocles y Nicomedes determinaron algunas curvas de las mas elevadas; Diofanto hizo investigaciones semejantes en los problemas de aritmética, y el pequeño número de signos que empleaba, puede considerarse como el precursor de el perfecto sistema de caracteres

ó lenguaje escrito, que nos presenta el álgebra moderna.

Durante este tiempo, se aumentaron nuestros conocimientos sobre la superficie del globo por una atrevida navegacion en que fué explorada la mar de las Indias por Nearco, que siguió la expedicion de Alejandro al Oriente. La república de Marsella, colonia griega situada al sur de la Francia, tiene el mérito de haber emprendido la primera viajes y descubrimientos. Entyménes se hizo á la vela hacia el ecuador, mientras que Pytéas habil astrónomo dirigiendo su rumbo hacia el Norte descubrió á Thulé, y observó los climas inmediatos al polo, describió el fenómeno de las mareas, desconocido en las costas del Mediterráneo, y determinó á su vuelta la oblicuidad de la eclíptica, que halló entonces de 28° . $48'$. Algunos sabios, y entre ellos Mr. Gosselins disputan á Pythéas el honor de los descubrimientos que se le atribuyen. La Sicilia vió nacer entonces en sus costas uno de los genios mas grandes de la antigüedad. Arquimedes desde su infancia manifestó grande aptitud para las ciencias, y despues de recibir toda la instruccion que pudo en Siracusa su patria, visitó la famosa Alejandria, y las sociedades extranjeras de los sacerdotes. A su vuelta se entregó enteramente al encanto de los estudios abstractos continuando sus profundas investigaciones con la mas viva y constante aplicacion. Perfeccionó bastante el modo de escribir los números; halló la teoría de los números primos, que le condujo á los mas bellos descubrimientos en geometría; dió á conocer la cuadratura de la parábola, la aproximacion de la del círculo, y las relaciones que existen entre la esfera y el cilindro circunscripto. Arquimedes debe considerarse como el primero que estudió la fisica segun métodos exactos, y sus descubrimientos son admirables en este género. Él encontró los principios que sirven de base á la mecánica y la Hidrostática, y supo ilustrar esta ciencia con la antorcha de la geometria; enseñó las propiedades del centro de grave-

dad cuya posición determinó en cuerpos de diversas figuras; demostró las leyes de los cuerpos flotantes, y trazó de este modo los elementos de las construcciones navales: puso en práctica sus principios, y construyó máquinas tan perfectas, que por espacio de tres años permitieron á los Siracusanos resistir todos los esfuerzos del ejército romano, que asediaba la ciudad. Mas como al fin, el furor y la barbarie vencen muchas veces, Siracusa sucumbió á los horrores de un asalto, y fué envuelta en una noche fatal. En medio del tumulto y la carnicería, un soldado furioso entra en el lugar donde estaba Arquímedes, y sin consideración á sus pacíficas ocupaciones, asesinó al grande hombre á los 75 años de su edad, y 212 antes de la venida de J. C.

Los conocimientos geométricos habían adquirido entonces mas regularidad y consistencia; y la astronomía había estendido su dominio. Aristarco de Samos inventó un método ingenioso para valuar las distancias relativas del sol á la luna, y aunque provisto de instrumentos imperfectos, y de inciertos resultados, no dejó de derivar conclusiones capaces de desenvolver inmensamente nuestras ideas sobre el sistema solar. Erathosteno observó con exactitud la oblicuidad de la eclíptica, y determinó la circunferencia de la tierra, midiendo el arco del meridiano entre Syena, en el alto Egipto, y Alejandria; pero Hiparco era un hombre de una capacidad mas elevada. Este determinó la verdadera longitud del año, la distancia de la tierra á la luna, el valor aproximado de la del sol, y distinguió la desigualdad de los intervalos que pasan entre los dos equinoccios, asignándoles su precesion, ó los movimientos retrógados de los puntos equinocciales; este hermoso descubrimiento le suministró el modo de determinar y describir la posición de las principales estrellas fijas.

Bien pronto aplicó el mismo método á las observaciones terrestres, y fué el primero que determinó la posición de un lugar en la tierra por su longitud y latitud. Sin desechar el antiguo axioma de que

solo un movimiento uniforme y circular podia dar esa apariencia á los cuerpos celestes, hubiera procurado explicar las desigualdades aparentes, por la ingeniosa hipótesis de la ecentricidad, sin los epiciclos que en lo sucesivo tanto embarazaron los adelantos de la ciencia. Ptoloméo, que residia en Alejandria, despues que el Egipto se hizo una colonia romana bajo los emperadores Adriano y Antonino, era uno de los observadores mas infatigables que jamas han existido; genio menos creador que Hipparco, dedicó todo su zelo á la perfeccion de la astronomia; y no solo perfeccionó á cada una de las partes de esta ciencia, sino que la redujo á un gran sistema, segun los diversos datos que poseia: descubrió el movimiento de la luna, y la refraccion celeste ó astronómica, compuso tambien un tratado general de geografia; y aplicó á la construccion de los mapas, la teoría de las proyecciones debida á Hipparco. El estudio de la trigonometria esférica hecho por este último, y continuado por Teodosio y Menelao, fué introducido en la práctica por Ptolomeo.

Otros filósofos de Alejandria se aplicaron á la mecánica; Ctesibio perfeccionó la clepsydra, inventó la bomba, y construyó una máquina para lanzar flechas por la elasticidad del aire condensado: Heron no solamente fabricó la grua, sino imaginó otras máquinas que obraban por el resorte del aire que contenian, elasticidad que variaba segun el frio ó el calor. Este principio condujo mas tarde á Saccario y Galileo, y algunos quieren que á Debbrel, á la construccion del termómetro.

Oprimido el genio de la Grecia, se perdia al fin en disputas inútiles: los Romanos eran entonces los dueños del mundo, y ningun pueblo mereció menos los favores de la fortuna, y el reconocimiento de la posteridad: en todo el curso de su tiránica existencia no dieron un solo paso hacia la perfeccion de las ciencias; todos sus conocimientos los habian recibido inmediatamente de los griegos, y su

instruccion no se elevaba á ninguna teoria, ni se dirigia sino á formar solamente oradores y hombres de estado.

Otra nacion, cual fué la de los Arabes, adquirió entonces una grande influencia; inflamada con el entusiasmo de su nueva religion, estendió el terror de sus armas en todas direcciones; subyugó el Egipto, la Siria, la Persia, y estrechó los límites de los imperios orientales; al oeste ocuparon los arabes la España, y penetrando hasta el centro de la Francia, intentaron ahogar hasta el nombre de cristiano; pero, calmado su furor, y restringidos sus planes de ambicion, se convirtieron con el tiempo en amantes de las artes pacificas. Se aficionaron apasionadamente á las ideas de los griegos, recogieron todas las obras filosóficas de aquel pueblo admirable, y las tradujeron á su lengua. Una sucesion de ilustrados principes animaron aquellos esfuerzos con una munificencia sin limites, y desconocida aun en nuestros dias; y los Califas adornaron sus palacios con bibliotecas públicas, y los embellecieron con magestuosos observatorios.

Los árabes cultivaban particularmente la geometria y la astronomia, pero sin descuidar la botánica y la química; menos inclinados que los griegos á las especulaciones teóricas, dirigieron sus mayores conatos á la práctica de las ciencias, y no tardaron en hacerse muy buenos matemáticos, y mas hábiles observadores; sustituyeron en la trigonometria los *senos* á las *cuerdas*, y perfeccionaron este ramo del cálculo con la introduccion de las *tangentes*, que aplicadas á la Gnomónica se llamaron *sombras*; pero el mayor beneficio que han hecho al genero humano es la introduccion del sistema de numeracion decimal: este método, tan hermoso como sencillo, llamado por ellos *indiano* ecsistia entre los indios como nos lo enseñan los que han estudiado el lenguaje sagrado: pero solo se practicaba en aquel pais de donde no hubiera llegado fácilmente á nosotros por otro conducto; sin em-

bargo no parece haber estado en uso antes de fines del siglo decimo de nuestra Era: la costumbre de contar por los dedos fué trasladándose desde los moros á España, y desde esta á las diversas naciones de la Europa hácia el principio del siglo XIV, aunque no fué adoptado generalmente hasta 200 años despues.

Sin embargo de que los Arabes tienen pocos derechos á una originalidad diferente de la que creó las *Mil y una noches*, tienen con todo el mérito de haberse ocupado siempre en recoger con zelo todos los procedimientos útiles: conocian la destilacion, y cerbezeria, artes desconocidos entre los griegos y romanos, pero que parece haberlas aprendido de las ordas de los tártaros; inventaron por fin otros procedimientos químicos, y dieron á las vasijas ciertas formas y nombres que han conservado todavia.

Durante este periodo espesas tinieblas se estendieron por las mas hermosas partes del mundo cristiano: la nave naufraga de los conocimientos humanos encalló en las playas de los monasterios, mientras los espíritus mas activos agotaban sus fuerzas en luchas desastrosas, ó en atrozes rapiñas: sin embargo en la edad media la antorcha del talento no se estinguió del todo, aunque su estado de agonía llevo á hacerlo temer. En Europa la supersticion fomentaba las peregrinaciones, y todo convento abria sus puertas hospitalarias al fatigado viajero. Roma fué siempre el centro de la república cristiana, y de todas partes se veia afluir hácia aquella Metrópoli numerosos viajeros, por medio de los cuales la Italia reflejaba sobre las partes mas lejanas de Europa la luz bienhechora de su civilizacion.

Las Cruzadas emprendidas contra los Sarracenos desde el siglo XII al XVI aunque ocasionadas por un terrible fanatismo, y por la pasion sanguinaria y salvaje de las hazañas militares, pueden considerarse como la principal causa de la restauracion del espíritu humano. Aquellos dispendiosos armamentos, agotando la fortuna de sus gefes orgullosos, contri-

buyeron á ensanchar, y limar las cadenas del feudalismo, y dando mas libre circulacion á la riqueza, manifestaron gradualmente que el baluarte de un estado libre, consiste en esa clase media, muchas veces zelosa de las prerogativas, que dan la casualidad y alguna vez el mérito; pero de las cuales se manifiesta vanamente satisfecha, cuando ha llegado á adquirirlas á precio de oro, ó por medio de bajezas. Los Cruzados durante los armisticios, no podian dejar de adquirir, tratando á los Sarracenos que les escedian en conocimientos y urbanidad, nociones importantes en las ciencias y las artes; á esta causa se debe la mayor parte de los adelantos hechos por las sociedades europeas en la brillante carrera de la civilizacion.

El genio no permaneció enteramente sumergido en la inaccion durante la edad media, pues vió nacer algunas artes útiles: los curiosos procedimientos para convertir el algodón en papel fueron inventados en el siglo XI: 300 años despues el trapo de hilo se convirtió en esta sustancia, que sustituida ventajosamente al pergamino ó vitela, contribuyó mucho á la perfeccion de la escritura. Hacia la misma época fueron mejorándose mucho los caracteres, por la introduccion de las lentes que Salvino degli Armati construyó por los años de 1285. Pequeñas esferas de cristal habian usado desde las épocas mas remotas, para ayudar su vista, los gravadores de piedras preciosas; pero el paso de estos globos á las lentes conexas, aunque de poca importancia al parecer, condujo á los mas grandes resultados.

Aunque la fuerza atractiva del iman fué conocida de los griegos, se ignoraba su mas curiosa propiedad, la de dirigirse al norte, esta potencia directiva nos parece haber sido descubierta por los chinos, y que de ella nos trageron algunas nociones los cruzados de Oriente: por eso es que recibio el iman los nombres de *piedra directiva*, *piedra de la Osa* &c. La primera brújula que se construyó en Europa fué

en Génova hácia el siglo XIII: esta bella invencion dió un gran aumento á la navegacion, y á las empresas mercantiles, y condujo á Gama al cabo de las tempestades, y á Cristobal Colon hacia unas nuevas playas, descubrimiento que debia inmortalizar otro nombre que el suyo, cosa muy comun entre las humanas miserias.

De mucho tiempo há tenian los Orientales conocimiento de la deflagracion del Nitro ó Salitre; pero cuando se introdujo en Europa por los cruzados esta sustancia maravillosa, se confundió por sus apariencias con el anatron ó sosa boratada. Mas de dos siglos pasaron antes de conocerse su fuerza de explosion: este importante descubrimiento, que hizo probablemente Schwartz, monge aleman, hacia el año de 1382, estendió el poder del hombre, haciendole dueño de una fuerza nueva é imponente que, aunque empleada en la destruccion por el hombre, siempre ingenioso en destruir, debia hacer las guerras menos encarnizadas y sangrientas.

Un trofeo mas noble ilustró el mismo período: los Romanos habian empleado para diferentes usos planchas de metal: los chinos habian grabado en trozos de madera; pero el arte moderno de conseguir el mismo objeto por medio de caracteres movibles, fué inventado hacia la mitad del siglo XV. El genio y la perseverancia de Guttemberg y de Schoeffer, ayudado por la riqueza de Faust habitante de Mayensa, hecho despues objeto de tantos escritos, hicieron al genero humano el mayor beneficio que jamas ha recibido. En el corto espacio de 30 años llegó este arte inestimable á un alto grado de perfeccion.

La Alemania vanamente pretende que Schoeffer por el año 1491 egecutó para Arndes, magistrado de la ciudad, una coleccion de grabados de plantas y animales, por que hoy se sabe que somos deudores á la Italia de la invencion del grabado que hallaron los Nielleses. Esta emulacion del genio estaba en armonía con el es-

tado de las sociedades europeas. El gusto á los conocimientos se habia propagado mucho: el clero romano estendia con actividad la instruccion como medio de engrandecerse; en todos los monasterios y cabildos se abrieron escuelas, y una gran parte de las pingües rentas de la Iglesia se destinaba á la educacion gratuita de la juventud. Otras escuelas se establecieron para la comunicacion de un alto grado de instruccion grandemente facilitada por la adopcion del idioma latino estendido en toda la cristiandad: estos seminarios aumentaron sus estudios hasta abrazar el de las artes liberales, tomando el nombre de estudios generales; y habiendo obtenido despues la sancion del Papa por sus Bulas, y la proteccion de las leyes tomaron el titulo de Universidades.

Se fijó un curso de siete años, imitado despues en las profesiones mecánicas, para completar la carrera de la educacion, y formaba el *Trivium* seguido del *quadrivium*. Los preceptos de Aristóteles se esplicaban con una constancia infatigable, pero sus opiniones, traducidas del Arabe, habian sido por desgracia corrompidas en una doble version. La fuerza del genio, que mejor dirigida, habria podido elevarse á sublimes descubrimientos, era fatigada y consumida en vanas disputas, y en inútiles sutilezas.

Una época mas brillante empezó entonces para la Europa: Petrarca, subiendo al manantial puro de la antigüedad, y lleno de un entusiasmo vigoroso y de uná elocuencia ardiente, hizo una impresion profunda en el espíritu de sus contemporáneos. El estudio del griego fué sucesivamente introduciendose en la Italia por las frecuentes embajadas despachadas de Constantinopla, para implorar los socorros de la Santa Sede contra las usurpaciones de los turcos. La munificencia protectora de la familia de los Medicis despertó y estendió el gusto por los conocimientos liberales. Los encargados regios no omitieron gasot alguno, para recolectar y reunir los manuscritos diseminados, é invitaban á todos los sabios de Levan.

te á enseñar el lenguaje puro de la antigua Grecia por un honorario conveniente. La toma definitiva de Constantinopla por los turcos en 1453, produjo una dispersion general de todos los literatos, que trasladarou á Italia los restos del naufragio de la filosofía griega, cuya perdida evitó para siempre el nuevo arte de la imprenta.

Todo conspiraba á escitar una fermentacion general; la rapidez de las prensas multiplicaba los monumentos de la antigua literatura, pero era necesario el trabajo de un siglo para ordenar y corregir aquellos preciosos restos. La veneracion concedida á tan incomparables composiciones, satisfizo por cierto tiempo la actividad de la curiosidad natural al hombre. Las cuestiones religiosas, aunque debian producir un gran beneficio á la sociedad, retardaron algunos años el ejercicio de las facultades intelectuales. En fin el genio de la invencion animado con un nuevo poder, se lanzó con impetuosidad; así es que el siglo XVI puede considerarse como el principio de la aurora de la razon, desde cuya época los torrentes de descubrimientos han formado un rio rápido, profundo y magestuoso. Las artes y la filosofía marchan pues de consuno iluminándose mutuamente con sus antorchas; pero mas de dos siglos pasaron en cuya época era extraordinaria la actividad con que se buscaban las medallas.

El siglo de la ciencia sucedió á el de la erudicion; el estudio de los clásicos antiguos habia despertado el gusto, pero los hombres conocieron bien pronto sus propias fuerzas, y se apresuraron á ostentarlas; espíritus enérgicos sacudieron el yugo de la autoridad clásica, pusieron en cuestion las ideas recibidas de mucho tiempo, y contemplaron con ojo imperturbable el inmenso campo de los conocimientos humanos. Copernico restableció en parte el verdadero sistema del mundo: Purback y Muller abreviaron los cálculos astronómicos por su notable perfeccion en la trigonometria; Ubaldi, y mas especialmente Stevin, ampliaron los principios de mecáni-

ea é hidrostática : el perspicaz ingenio de Galileo descubrió y aplicó las leyes del movimiento, inventó y construyó el telescopio, que se habia hallado tambien en el norte de la Holanda : este maravilloso instrumento fué dirigido hácia los cielos, dió á conocer las fases de los planetas, y mostró la armonía de los nuevos mundos. La enérgica y fértil imaginacion de Kepler, trábajando sobre los catálogos de las cuidadosas observaciones hechas por *Ticho de Brahé*, y ausiliada por el asiduo trabajo de los cálculos y de las combinaciones, desgarró el velo, y aparecieron á nuestra vista las leyes á que se sujetaban las revoluciones de los cuerpos celestes. Un poderoso recurso faltaba todavia á los calculadores, y Napier se inmortalizó con el descubrimiento de los Logaritmos.

Los alquimistas, aunque estravagantes en sus pretensiones, contribuyeron á los adelantos de la ciencia, Juan Bautista Porta no solo recogió los hechos curiosos, que observó en sus viages, sino que vuelto á Nápoles, fundó una sociedad cuyo objeto era explorar la naturaleza ; aquella sociedad obscura fué la madre de todos los institutos, y academias erigidas despues en Italia para las investigaciones físicas de aquella tierra clásica ; egemplo que se estendió rápidamente en toda la Europa.

En fin la luz de las ciencias penetró en Inglaterra, y el siglo XVII nació con los felices trabajos de Gilbert de Colchester cuyo gran mérito no ha sido justamente elogiado : su tratado del iman, es un modelo de la aplicacion del analisis filosófico : él redujo con discrecion los hechos numerosos á muy pocos principios generales, y dió al mismo tiempo, alguna luz sobre los demas ramos de la ciencia : por ultimo Gilbert ademas de la teoría del magnetismo terrestre contribuyó á dar las bases á las de la electricidad.

Kepler habia reducido á sistema los principios comunes de la óptica ; en seguida Snelluis descubrió la ley de incidencia y reflexion, que Descar-

tes simplificó aplicándola desde luego á la esplicacion de las diferentes propiedades de la luz, y del brillante fenómeno del arco-iris; pero la penetracion de este mismo genio, aplicando el álgebra á la geometria, produjo una revolucion memorable en las investigaciones matemáticas, que fué acompañada de las mas transcendentales consecuencias.

La Italia presentó el termómetro que no se perfeccionó hasta un siglo despues: tambien presentó el barómetro que Toricelli inventó despues de la muerte de su maestro Galileo. Otto de Guerrick en Alemania, siguiendo un camino diferente, imaginó la máquina Neupmática, que empleó en la investigacion de diversos fenómenos interesantes. Estos dos instrumentos sirvieron para establecer la ecsistencia de la presion atmosférica, y refutaron los antiguos errores que infestaban la fisica. Las doctrinas de Aristóteles habian sufrido frecuentes ataques aunque en particular, y no inspiraban ya la misma confianza y veneracion; pero estaba reservado al genio penetrante de Descartes demoler aquel imponente edificio. Original y fecundo se elevó sobre la influencia de las preocupaciones, y se puso de parte de los verdaderos conocimientos. Desgraciadamente no marchó lentamente sobre los pasos del análisis fisico, y se precipitó fuera de la senda, ambicioso de erigir un gran sistema. Los principios de Descartes, despues de diversas modificaciones, conservaron su prestigio en la mayor parte de la Europa por cerca de un siglo, y lejos de detener el vuelo de las ciencias naturales, ahogaron para siempre las disputas escolásticas, sembrando sobre sus despojos gémenes fecundos de bellas consecuencias.

La geometria sublime, este instrumento de los mas grandes descubrimientos, no habia hecho rápidos progresos; Cavallerí habia inventado su método de los números indivisibles; Wallis su aritmética de los infinitos; Jacobo Gregory y Mercator la teoría de las series; Barrow y Roberval, en su manera de tirar las tangentes, habian dado las primeras nociones del

calculo diferencial. La teoria del choque de los cuerpos, espuesta al principio por Descartes, fué acabada y corregida por Wallis y Wren: el ingenioso doctor Hooke enriqueció la mecánica con muchos descubrimientos, y Huyghens, que le escedió mucho en las matemáticas, habiendo buscado las propiedades de los cuerpos oscilantes, las aplicó hábilmente á la regulacion de las muestras y los relojes, combinando su movimiento con un péndulo ó resorte; mas este hábil filósofo, llevando sus análisis mas adelante, estableció la fecunda teoria de las fuerzas centrífugas.

La ciencia tomaba un vuelo mas elevado, cuando Newton apareció, y arrebató á todos la palma del triunfo. Este genio inmortal redujo las leyes empíricas de Kepler al solo principio de atraccion; y partiendo de esta base, dedujo por medio de combinaciones sintéticas los grandes fenómenos del universo: sus conclusiones eran en general las mas felices, y cuando los cálculos no eran suficientes para aprocsimar los resultados, suplía su falta con algun procedimiento que le sugería aquella sagacidad, que jamas fué escedida. Esta penetracion que le condujo al traves de los espacios celestes, pudo definir la figura de la tierra, y calcular las mareas del Oceano: las propiedades del agua y del aire, el movimiento de las corrientes, y la propagacion del sonido fueron tambien puestas bajo el dominio de la geometria. La marcha analítica dirigida hacia la composicion de la luz en una serie de esperiencias concluyentes, descubrió aun mayores maravillas, y las investigaciones delicadas de Newton en la óptica, empezaron y concluyeron, despues de una larga interrupcion, sus trabajos científicos.

Newton y Leibnitz descubrieron separadamente, y casi en la misma época, el método de las flucciones y de los fluentes, ó los cálculos diferencial é integral; el primero estableció los principios con una mayor severidad lógica, mas el segundo adoptó una anotacion preferente, y que contribuyó principalmen-

te á la prodijiosa estension que el sublime análisis recibió en el continente. Newton mismo hizo pocos progresos en el cálculo integral, que se enriqueció después en Inglaterra por Taylor, Cotes, y Maclaurin los cuales, aunque célebres, apenas pueden compararse con Bernouillis, el gran Euler, d' Alembert, y Clairaut, cuyo vuelo fué tan elevado.

El sistema de la fisica mecánica acababa de establecerse sobre un cimiento sólido, aunque muchas partes del edificio quedaran por construir. Roemer habia demostrado que la luz se estendia con una extraordinaria rapidez; y Bradley con una rara habilidad hizo la aplicacion de este descubrimiento á la aberracion de la luz de las estrellas fijas, que la delicadeza del sector zenital le habia hecho capaz de descubrir. Todavia esperimentó alguna oposicion la doctrina de Newton en el continente, á causa del ascendiente que aun conservaban las opiniones de Descartes; pero dando la medida de un grado del meridiano tomado bajo el circulo ártico, y bajo el ecuador, por los años de 1736 y 1742, resultados conformes á la teoría de la atraccion, decidió la victoria en favor de Newton. Nuevamente estendido el cálculo integral, se aplicó á las cuestiones mas árduas, que Newton no habia resuelto ó no habia hecho mas que bosquejar; y las conclusiones que de ellas se deducian estaban en perfecta armonía con la observacion. Los mas grandes matemáticos de la Europa ejercitaron sus talentos en perfeccionar las partes mas delicadas de la teoría. Los cálculos recientes de Lagrange y de Laplace aclararon diversos resultados tan importantes como inesperados: se demostró que todas las anomalias de los cielos eran periódicas, y desde aquel momento la astronomia práctica ha adquirido una notable precision, y las perfecciones en la teoría lunar han acelerado asombrosamente el progreso de la navegacion. Las diferentes observaciones de Hershel, y los últimos descubrimientos de Piazzi, Olbers, y Harding, han contribuido á enriquecer nuestras ideas sobre el sistema planetario.

La correccion de un error cometido por Newton en sus investigaciones ópticas, condujo á Dollond, en el año de 1758, al importante descubrimiento de las lentes acromáticas; la construccion de estos preciosos instrumentos contribuyó esencialmente á perfeccionar el arte de observar; pero la óptica, este objeto tan rico y tan fértil para las observaciones, ha formado un ramo importante de la fisica. Malus descubrió pocos años hace una propiedad singular de la luz, á la cual dió el nombre de *polarisation*. Este hombre ingenioso arrebatado en medio de su carrera ha dejado un basto campo que recorrer al zelo, y laboriosidad de otros investigadores.

En el enriquecimiento reciente de la fisica, ninguna parte ha hecho adelantos mas satisfactorios que la importante teoría del calor; aunque tan complicada, y al aparecer difícil de penetrar, ha cedido sin embargo á la potencia del análisis experimental. La teoría del calor ha producido ya beneficios estables, á las manufacturas y las artes, y ha servido ademas para clasificar los climas, y dar razon de los fenómenos atmosféricos que nos presentan las escenas pasajeras, y variadas de la meteorologia.

Gilbert hizo el primer catálogo de la electricidad, y Guericke, 50 años despues, construyó la primera maquina eléctrica; pero aunque Gray descubrió en 1730 la propiedad de las sustancias conductoras, la electricidad sin embargo no se colocó en el rango de ciencia hasta 1745, en cuyo tiempo se conoció la botella de Leyden. Desde esta época este objeto ha sido cultivado con ardor y suceso, y una porcion de hechos brillantes fueron observados dando al fin la esplicacion del rayo y el relámpago.

Un accidente sucedido á Galvani en 1791 condujo á la creacion de otro nuevo ramo, que es el mas interesante de la electricidad. Mas sin embargo el descubrimiento que 8 años despues hizo el ingenioso Volta con aquella combinacion alternativa de dos placas de diferentes metales llamada *pila*, puede mirarse como una época notable en la historia de

la ciencia. La química fué enriquecida entonces con el instrumento mas poderoso que se conoce para examinar la composicion de los cuerpos. En las hábiles manos de los señores Davy, Berzelius, y otros la pila voltáica ha dado los mas brillantes resultados.

El magnetismo ha hecho tambien, en un corto número de años grandes progresos. Las diferentes circunstancias que influyen en la inclinacion y declinacion de la aguja han sido al fin establecidas con alguna precision; se han sacado de esto leyes experimentales, que parecen indicar los cambios de la influencia magnética, que se estiende sobre las diversas partes de la tierra; pero el principio que encadena todos los hechos permanece aun desconocido.

La analogia entre la electricidad y el magnetismo se presumia hace mucho tiempo, pero las experiencias de Oersted la han puesto fuera de toda duda. La accion galvánica combinada de distintas maneras con la fuerza magnética, produce sin cesar los hechos mas curiosos y sorprendentes: aun no se ha dado de ella una explicacion concluyente; sin embargo todo parece indicar la proximidad de algun grande descubrimiento, y las nuevas experiencias de Mr. Ampère añaden grandes probabilidades á esta identidad de los dos fluidos.

No llevaremos mas adelante el rápido examen que hemos querido hacer del cuadro de la ciencia, ni examinaremos aquí tampoco los bellos descubrimientos de los Sres. Arago, Gay-Lussac, Savart &c. &c. de los cuales hablaremos en el curso de la obra.

Apesar de estos brillantes y numerosos descubrimientos hay hombres que piensen, que el vuelo de las ciencias es menos elevado, y que se dirige á los limitados campos de las hipótesis. Lejos de nosotros las ideas afflictivas de los que nos dicen: "¿Quien sabe si dentro de algunos siglos esta misma Europa, donde se ha establecido hoy el reinado de las ciencias y las artes, que brilla con tanto esplendor, que juzga tan bien de los tiempos pasados, que compara con tanta seguridad el sucesivo dominio de las ciencias, de

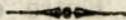
la literatura, y de las costumbres antiguas, no se convertirá en un desierto salvaje, como las colonias de la Mauritania, las arenas del Egipto ó los valles de la Anatolia? ¿Quién sabe si en algun país enteramente nuevo, acaso en las comarcas por donde corre el Orinoco y el rio de las Amazonas, ó tal vez en el recinto impeneirable hasta hoy, de las montañas de la nueva Holanda, se formaran pueblos con otras costumbres, otros idiomas, otros pensamientos, y otras religiones; pueblos que regenerarán otra vez la especie humana, y viendo con admiracion, que nosotros hemos ecsistido, que nosotros hemos sabido lo que ellos sabrán, creido como ellos en el renombre y la gloria, sentiran nuestros impotentes esfuerzos, recordando los nombres de Newton, Racine, Tasso, y Courier, como egemplos de esta vana lucha del hombre por conseguir una inmortalidad de fama, que el destino les niega para siempre?"

PROLOGÓMENOS

ò

nociones generales preliminares sobre el fin

Y OBJETO DE LA FISICA.



CAPITULO PRIMERO.

DEFINICION DE LA FISICA.

La Fisica, que por espacio de siglos enteros, se habia hallado comprendida como parte esencial en la reunion de los estudios filosóficos, y que segun su etimologia abrazaba al mismo tiempo el círculo inmenso y sin cesar engrandecido de las ciencias naturalés se ha hecho tan rica, tan vasta, y tan poco homogénea, para no formar sino una sola ciencia, que se le ha separado de la Filosofia, á que debió su origen, y de las ciencias naturales á las que ha preecistido, y que en su origen, no han sido sino sus desenvolvimientos.

Inútil es sin duda enumerar largamente las diferencias que separan la filosofia de las ciencias Fisicas en general, y de la Fisica en particular. La primera no describe sino los fenómenos y las leyes del alma humana; y si á veces sale de esta esfera psicologica dirige su investigacion á los seres incorporeos que nos dá á conocer la inte-

ligencia : las segundas, por el contrario, solo se circunscriben á los fenómenos, y las leyes de la materialidad: y si parecen abandonar un momento el ecsamen de los cuerpos, es porque se ocupa de las propiedades generales que los rijen. En lógica y en moral, así como en ontología y en metafísica, se concentra la atención sobre aquello que no pueden observar los sentidos, y lo que llama la atención, ya sea por sí mismo, ó ya por sus resultados es lo que ocupa la vigilancia del físico, y del naturalista. El mundo interno, *el yó*, he aquí el dominio de la filosofía: el mundo externo, ó *el nó yó*, es el imperio de la Física. Donde una empieza, termina la otra, y desaparece enteramente. Entre ellas se presenta la fisiología, que las une, las reconcilia, y en alguna manera las ingiere unas con otras. Pero, por aproximaciones que ecsistan entre las ciencias, y por multiplicadas y sensibles que sean las analogia, no dejan ver ninguna identidad.

Pero, si fácil es distinguir la Física de la Filosofía, no es difícil confundirla con alguna de las ciencias, que como ella observan, y describen la naturaleza.

Sin embargo, se puede por medio de un ligero ecsamen distinguirla de los tres ramos de la historia natural. Efectivamente, la mineralogia, la botánica, y la zoologia, no estudiando mas que las formas, las partes y los caracteres mas ó menos particulares de los seres que viven, vejetan, ó ecsisten en la superficie ó en el interior de la tierra, no describen, no enumeran, ni reúnen en clases sino individualidades; y aunque por medio de clasificaciones sabias, y comparaciones difíciles llegue cada una de estas ciencias á unos conocimientos, que pudieran llamarse generales, bien pronto se advierte que estas nociones generales, si se medita en las especialidades, por medio de los cuales las hemos percibido no son en sí misma sí no individualidades, y de un orden muy inferior comparativamente á estas leyes universales que gobiernan el conjunto de los seres, y

presiden á todas las metamórfoses del Universo.

Del mismo modo se pueden sin trabajo observar las diferencias que ecsisten entre la Física por una parte, la astronomia y la géognosia ó géologia por otra. La géologia trata de la configuracion esterna de la tierra, sigue las sinuosidades y cortaduras de sus riberas, describe las inclinaciones del terreno, señala la direccion de las montañas, las anfractuosidades de los valles, y el curso de los rios; algunas veces, escudriña el seno de la tierra, determina la posicion respectiva de las capas minerales unas respecto á otras, y su mayor ó menor antigüedad, y procura fijar por conjeturas mas ó menos probables, que modificaciones ha sufrido y sufre actualmente el globo terrestre por la accion de las aguas, de los volcanes, &c. La astronomia busca en los espacios celestes los objetos de sus observaciones: ella sigue por medio del telescopio las revoluciones aparentes ó reales de los astros, y examina su regularidad; prueba la inmovilidad de los unos, la movilidad de los otros; establece las leyes inmutables, que los hacen mover eternamente en el espacio, determina las curvas que describen, y pronostica hasta la vuelta de los cometas, que parecen escapar á todas las leyes, y cuyas irregulares apariciones conmueven el espíritu de los reyes y de los pueblos. Por altas que sean estas especulaciones, y por inmensos que parezcan sus resultados, no se observa todavia en ellos una generalidad absoluta: estas son leyes vastas pero particulares á una clase de cuerpos, y no formarán sino una parte de la Física, que aspira á alguna cosa de universal.

Réstanos una sola ciencia natural que examinar, tales la química. Ninguna hay que tenga relaciones mas íntimas y numerosas con la fisica; ambas se auxilian y confunden á cada momento, y aun puede decirse, que es imposible adquirir un conocimiento esacto y profundo de la una si se ignora enteramente la otra. Sin embargo los sabios modernos las han diferencia-

do, y esta distincion difícil de notar no deja por eso de ser real.

En esta multitud casi innumerable de cuerpos que presenta la naturaleza, los unos estan compuestos de moléculas similares, homogéneas y se llaman simples ó elementales los otros formados de partes simples pero eterogéneas, se nombran verdaderamente compuestos. Reconocer por medio del análisis los elementos que constituyen un cuerpo compuesto, determinar por la sintesis que cuerpos compuestos resultan de tal ó cual combinacion; descubrir, ya las propiedades particulares de cada elemento, y de cada agregacion de elementos, ya las acciones recíprocas ejercidas por los elementos sobre los elementos, por los cuerpos compuestos sobre otros compuestos, en fin por estos sobre aquellos; y fijar sobre todo claramente las proporciones en que las moléculas elementales se combinan con otras moléculas elementales para formar un cuerpo nuevo: he aqui el objeto de la química.

La Física al contrario abandona completamente el exámen de la composicion y descomposicion de los cuerpos, y por consiguiente las leyes individuales que presiden á estas dos clases de fenómenos; leyes que el químico deduce de las observaciones hechas en su laboratorio, sobre los cuerpos que analiza, ó recompone. Por cima de estas leyes existen otras mas generales y menos numerosas, que rigen y presiden á todas las metamorfoses de la materia, contienen y esplican de antemano todas las leyes individuales que llaman nuestra atencion á primera vista. Fijar estas reglas generales es el objeto de la Física.

Estas leyes constantes, y universales, como todo lo que es general, no se nos manifiestan sino por acciones uniformes, análogas, idénticas. En consecuencia de acciones de este género, repitiéndose en las mismas circunstancias, y sobre los mismos objetos, se deducen propiedades, esto es, la posibilidad de producir ó experimentar acciones.

Se puede pues definir la Física.

La ciencia que dá á conocer las propiedades verdaderamente generales de los cuerpos, describe las acciones mecánicas, que ejercen unos sobre otros, y deduce las leyes en virtud de las cuales estas propiedades ejecutan estas acciones.

Debe observarse sin embargo, sin necesidad de decirlo, que la Física es la mas elevada, la mas vasta, y la mas exácta de todas las ciencias naturales, puesto que las propiedades generales que les sirven de base, los fenómenos generales que se dedica á describir, las leyes generales que de ellos hace derivar, dominan una multitud de propiedades, de fenómenos y leyes individuales, que comprueban las demas ciencias Físicas. Los tres ramos tan fecundos de la historia natural, no suministran materiales mas que á la química, que, por el conocimiento de los elementos y de sus combinaciones, penetra algunas de las causas que han presidido á la formacion de algunos cuerpos, de suerte que estas ciencias, en otro tiempo descriptivas, han llegado á ser una ciencia explicativa: pero la Física adelanta todavia mas, por que universaliza las leyes semi-generales de la química. Si ella no da cuenta de todas estas leyes no debe culparse á la ciencia misma, pues que tal es su objeto y naturaleza, sino á nuestra debilidad, herencia inseparable de la humanidad. La Física es pues, en medio de las demas ciencias que tienen por objeto la investigacion de los fenómenos ó de las leyes de la naturaleza, la ciencia transcendental, la ciencia por excelencia, la ciencia verdadera, y he aqui porque, mientras que las ciencias Físicas al dividirse han tomado cada una un nombre particular análogo á la clase de objeto que considera, el nombre de Física ha permanecido á aquella que establece las leyes verdaderamente generales de la materia.

CAPITULO SEGUNDO.

DE LA MATERIA Y DE SUS PROPIEDADES GENERALES.

No nos detendremos en discutir ó refutar las opiniones emitidas por los filósofos antiguos ó modernos, y abandonaremos á los Espinosa y á los Malebranche, á los Clarck y á los Leibnitz, las discusiones sobre la existencia y la esencia de la *materia*.

En el estudio experimental que nos proponemos hacer de las diferentes propiedades de los cuerpos, designaremos con el nombre general de materia á todo aquello que puede afectar uno ó muchos de nuestros sentidos.

Pueden dividirse las propiedades en dos clases; la primera contiene las propiedades particulares que no pertenecen á todos los cuerpos, ó que varían de un cuerpo á otro, como el color, el olor, la forma: la segunda comprende las propiedades generales; *la extensión, la impenetrabilidad, la porosidad, la divisibilidad, la compresibilidad, la elasticidad, movilidad, inercia y pesadez.*

De la extensión.—La extensión en general es el lugar ocupado en el espacio, y los géometras designan por esta palabra las tres dimensiones de los cuerpos tomadas juntas ó separadas. Se pueden distinguir tres clases de extensión. 1.º La extensión en longitud, haciendo abstracción de la latitud y profundidad ó altura, lo cual produce la línea. 2.º La extensión en longitud y latitud solamente, lo que forma la superficie. 3.º En fin la extensión en longitud, latitud y profundidad, á que se aplican indiferentemente los nombres de cuerpo, volúmen ó sólido.

Medida de la extensión.—Medir se llama generalmente comparar dos cosas entre sí para conocer su relación. No pueden pues compararse, sino cosas de la misma naturaleza; las líneas con las

lineas, las superficies con superficies. Para medir de esta manera dos lineas A y B se coloca la mas corta sobre la mas larga para ver cuantas veces está contenida en ella, y si se contiene cuatro ó cinco veces, se dirá que la linea A es cuatro ó cinco veces mas larga que la linea B.

Si en esta operacion queda un residuo sobre la linea A se le coloca sobre la linea B, y se averigua cuantas veces se contiene en ella, y del mismo modo se continua hasta que, dividiendo el último resto esactamente al anterior, sirve de comun medida á las dos lineas.

Fácilmente se encuentra la relacion de dos lineas aunque una no se contenga esactamente en la otra. Supongamos por egemplo (*Figura 1.^a*) que B está contenida en A cuatro veces dejando un resto CD, que se contendrá dos veces en B, dejando tambien otro resto EF, que medirá en fin esactamente tres veces á CD.

Se verá que B conteniendo dos veces $CD + EF = 7 EF$, y que A conteniendo $4B + CD = 31 EF$.

Este procedimiento demasiado largo para conocer las relaciones de las lineas no daria sino medidas comparativas: para obviar este inconveniente se ha adoptado una longitud á la que se han referido las demas. A esta se le da el nombre de unidad, y se le subdivide en un mayor ó menor número de partes, para espresar la relacion de las longitudes menores que esta unidad.

Facilmente se llegará á medir todas las longitudes, conociendo la unidad principal de que acabamos de hablar: pero esta medida no solo es diferente en los diversos pueblos sino en distintas partes del mismo pais. Nunca se aplaudirá demasiado la adopcion del nuevo sistema métrico, que fundado en la naturaleza del globo, no puede tardar en adoptarse por todas las naciones.

Derivándose las medidas de toda especie del metro creemos de nuestro deber ocuparnos de él un instante. El metro es la diez millonesima parte

del cuarto del meridiano terrestre: se divide en diez partes iguales llamadas decímetros, este se divide de la misma manera en centímetros, y estos en milímetros &c.

La unidad de las medidas superficiales del terreno, es un cuadrado cuyo lado es de diez metros y se designa con el nombre de *ara*.

El metro cúbico se emplea con el nombre de *estéreo* para medir la madera de consumo.

El cubo de la décima parte del metro es la unidad de las medidas de capacidad, y se le ha dado el nombre de *Litro*.

El peso de la milésima parte de un metro cúbico de agua destilada, ó el cubo de un decímetro, produce la unidad de peso conocida con el nombre *kilograma* ó libra decimal.

Finalmente nada era mas importante que dividir la moneda, con la cual se comparan diariamente todas las medidas, en partes decimales. La unidad monetaria ha recibido el nombre de *franco*, se llama *décimo* la décima parte de un franco, y *céntimo* su centésima parte.

Somos deudores á un géometra francés llamado Vernier de un procedimiento por medio del cual puede subdividirse una escala de partes iguales en otras tan pequeñas como se quiera, sin necesidad de trazarlas de nuevo. Basta para esto, aplicar contra la escala que se quiere dividir, otra cuyas partes tengan con la primera una relación conocida. Si por ejemplo, la regla AB esta dividida en 12 partes iguales, y se quiere hacer uso de ella para medir una longitud menor, CD: facilmente se vé por la superposicion, que esta linea contiene vg. 8 divisiones enteras de la regla, mas una fraccion ED cuya magnitud absoluta, y su relacion con una division entera, nos son del todo desconocidas. Para determinar una y otra, se construye otra regla FG dividida tambien en partes iguales, pero mas pequeñas que las primeras en una proporcion conocida, de manera que un número cualquiera de divisio-

nes de la regla grande contenga un número exacto de las de la pequeña (*Figura 2*) que se llama *vernier*. Si la regla grande se halla dividida en nueve partes y el vernier en diez, el primero y último trazo coincidirán solo en sus dos extremos y siendo mas pequeñas una décima parte las divisiones del vernier cada una de ellas estará detras de las divisiones de la otra regla en tanta cantidad, cuanta sea la diferencia de magnitud : asi la segunda division estará $\frac{1}{10}$ mas atrás, $\frac{2}{10}$ la tercera : $\frac{3}{10}$ la cuarta hasta llegar á la undécima y última, que debe concurrir con el decimo trazo de la regla grande. Al ver un instrumento provisto de un vernier se comprenderá facilmente el modo de usarlo haciéndolo adelantar ó retroceder.

Impenetrabilidad.—Se dá este nombre á la propiedad que tienen los cuerpos de no poder identificarse ú ocupar al mismo tiempo el mismo espacio que otro cuerpo. Esta propiedad es evidente en los cuerpos sólidos, y si algunas veces hay penetracion aparente, proviene de que las partículas integrantes no estan inmediatamente aplicadas las unas sobre las otras, ó son bastantes movibles para permitir la introduccion de cuerpos estraños. La punta de acero no penetra la madera en que se clava; ella no hace mas que separar sus partes, y aun llegaria á separarlas enteramente sustituyendo á esta punta, un cuerpo cuyas dimensiones fuesen bastante considerables.

La esponja y la greda, que sin aumentar de volumen absorven el agua en que se sumergen, presentan hechos no menos faciles de esplicar : las cavidades de la esponja, y las de la greda, que que aunque mas pequeñas son muy apreciables con el microscopio, sirven de reservatorio al liquido. Estas cavidades han recibido el nombre de *poros*. (Vease el articulo *porosidad*)

Cuando se sumerge la mano en un liquido cualquiera, se experimenta una resistencia tan débil, que pudiera dudarse de su impenetrabilidad; pero

bien pronto se demostrará esta propiedad si se considera que el volumen del líquido aumenta tanto cuanto es el del cuerpo que se sumerge, en tanto que los *poros* de este último sean bastante pequeños para no admitir líquido en su interior. Esta experiencia es muy sensible cuando se emplea un vaso de cuello estrecho, y se sumerge en él un cilindro á corta diferencia del mismo diámetro (*Figura 3*).

Se conoce bien la impenetrabilidad de los líquidos golpeándolos con fuerza con la mano de plano, y entonces se experimenta una resistencia tan grande como si se tocase un cuerpo sólido.

El siguiente experimento está fundado sobre la impenetrabilidad. Consiste en tomar una botella de cristal que se llena de agua de manera que solo quede vacío el espacio suficiente para colocar el tapon. Este se introduce lo mas posible hasta la superficie del líquido, y entonces se sujeta solidamente. Si despues de esta preparacion se introduce un hilo de hierro al traves del tapon en el líquido, se verá que la botella se rompe por que el hierro no ha podido introducirse sino desalojando las moléculas del líquido, que, fuertemente contenidas por las paredes del vaso, le obligan finalmente á ceder á un esfuerzo, á veces ligerísimo para la mano del observador.

La quimica nos presenta un gran número de combinaciones, cuyos elementos separados ocupaban mas espacio que el cuerpo resultante: tales son las aligaciones como las de oro y plata, oro y hierro, oro y plomo, oro y cobre, plata y cobre, cobre y plomo, hierro y plomo, estaño y plomo &c. La mezcla que resulta de partes iguales de agua y de alcohol concentrado tiene la misma propiedad.

Todos estos hechos parecen poner en duda la impenetrabilidad que no podría admitirse á no haberse probado que las particulas de un cuerpo, dejan entre si, vacios mas ó menos grandes, que absorben una de las partes mezcladas, disminuyendo sensiblemente el volúmen.

Impenetrabilidad de los cuerpos gaseosos.—La invisibilidad de los cuerpos gaseosos, y su débil resistencia cuando se comprimen no bastan para negarles su impenetrabilidad: quítese al aire atmosférico la posibilidad de escaparse, preséntesele luego un cuerpo que tienda á ocupar su lugar, y bien pronto manifestará su resistencia y su impenetrabilidad. Todo el mundo puede convencerse de esta verdad sumergiendo en agua un vaso de cristal boca abajo: encontrando el líquido resistencia á medida que se introduce el vaso comprime el aire sin llegar á reemplazarle, de suerte que en el interior el nivel de este líquido se halla tanto mas bajo, cuanto mas profundo está el vaso. Bajo este vaso puede colocarse una bujia encendida que arderá hasta el fondo del agua si se pone sobre un pedazo de corcho para que no se sumerja.

Esta esperiencia ha dado la idea de la campana de los buzos. Se emplea para la pesca de las perlas y para las construcciones bajo del agua, y se usa ventajosamentente para sacar del fondo del mar algunos cuerpos que en él se hallan. Esta campana, en otro tiempo de metal, ha sufrido diversas modificaciones, y vamos á dar una idea de su construcción, que varia segun el pais en que se usa.

Se le dá por lo regular la forma de un tronco de pirámide cuadrangular de muchas varas; contiene en su parte superior cristales lenticulares incrustados con cuidado, y cuyo objeto es el de distribuir la luz en el interior. Esta campana construida las mas veces de madera, tiene en su parte inferior suficiente cantidad de láminas de plomo ó de otro metal cualquiera para hacerla descender. Su interior está provisto de bancos donde se colocan los buzos durante el trayecto, finalmente se adapta en ella una máquina, que atrayendo el aire de afuera remplace en la campana el que está viciado por la respiracion.

Despues de haber probado en general la impenetrabilidad de los fluidos aeriformes, observaremos

que si el agua que se arroja por una ventana se divide en gotas, es á causa de la resistencia del fluido que nos rodea. La lluvia y la nieve nos herirían con fuerza, si el aire no les opusiese un obstáculo, y esto se prueba por medio de un tubo de cristal privado de aire, que contiene una pequeña cantidad de agua, y volviendo sucesivamente este aparato, denominado *martillo de agua*, se percibe un choque bastante fuerte producido por el líquido contra las paredes del tubo.

Porosidad.—Los ejemplos de penetracion aparente, que hemos citado en el artículo precedente, prueban que la solidez de los cuerpos no corresponde á su volúmen, y que se encuentra entre las partículas sólidas que los constituyen una cantidad mas ó menos considerable de intersticios vacios de la sustancia propia de estos cuerpos. Estos intérvalos se conocen en Fisica con el nombre de *poros*.

Como no ecsisten cuerpos compuestos de partes bastante aproximadas unas á otras para no dejar entre si espacio alguno vacio de su propia sustancia, *la porosidad, ó la facultad de tener poros* se halla colocada en el número de las propiedades generales: pero no pertenece á todos los cuerpos en un mismo grado, unos tienen mas porosidad que otros.

Los vacios de que hemos hablado, pueden facilmente observarse á primera vista en las esponjas y en ciertas maderas. Notemos sin embargo que no pretendemos designar con la palabra vacios, espacios privados de toda materia: es al contrario indudable, que la mayor parte de estos intersticios alojan fluidos, cuya presencia es algunas veces manifiesta. Introdúzcase por ejemplo en agua una esponja ó un pedazo de azucar, y se verán llegar á la superficie del líquido pequeñas ampollas de aire contenidas en los intérvalos, que dejan entre si los atomos de estos cuerpos.

Los poros mas abiertos no siempre prueban la mayor porosidad: su número compensa, y aun sobre-

puja el efecto de la magnitud. Así es que la encina, cuyos poros son mucho mayores que los del alcornoque, tiene sin embargo una porosidad menor que la de este último, pues que en igual volúmen el alcornoque es menos pesado que la encina.

Sin ir mas adelante creemos deber dar aqui las definiciones de algunos términos de que haremos un frecuente uso: queremos hablar del volúmen, de la masa, y de la densidad de los cuerpos.

El *volúmen* de un cuerpo se mide por el espacio que ocupa, ó por la estension de sus superficies, esta estension, no solo comprende la de las partes sólidas que lo constituyen, sino tambien la de los espacios vacios, que se encuentran entre estas partes.

La *masa* de un cuerpo, es la suma total de las partes materiales que lo componen cualquiera que sea su magnitud ó estension.

La *densidad* ó solidez de un cuerpo es la suma de las partes materiales contenidas en un volúmen dado, tal como una vara ó una pulgada cúbica: de donde resulta que la densidad es la relacion de la masa con el volúmen. Un cuerpo es tanto mas denso cuantas mas partes materiales contenga en un mismo volúmen. Un pedazo de encina puede tener mas masa que un pedazo de oro, mientras que el oro tiene necesariamente mas densidad que la encina, que bajo un volumen dado, encierra muchas menos partes materiales (1) Sabemos que la porosidad pertenece á todos los cuerpos, y que puede apreciarse por el peso, la relacion de la porosidad que hay entre dos cuerpos: pero ignoramos sin embargo la intensidad de esta porosidad. Para conocer este valor de un modo absoluto seria necesario una materia del todo sólida, que no tuviese poros, ó al menos cuya porosidad absoluta nos fuera

(1) Algunos fisicos admiten que la diferencia de densidad depende solo del peso de los átomos que forman los cuerpos, y que así la platina es mas densa que el plomo, porque su molécula es mas pesada.

se conocida; entonces, la relacion de su peso con el de otro cuerpo de igual volúmen nos daría la relacion de la porosidad entre estos dos cuerpos, y por consiguiente su porosidad absoluta.

Semejante materia nos es desconocida, y, si debemos creer á Newton, (1) el oro tiene mas poros que partes sólidas. ¿Cual debe pues ser la porosidad de los demas cuerpos puesto que está en razon inversa de la densidad?

Todo nos induce á creer, que ademas de los poros de que acabamos de hablar, ecsiste entre las partículas elementales de los cuerpos otro orden de poros mucho mas apretados, y destinados á contener fluidos imponderables.

Facilmente se conocerá esta propiedad observando, que todos los cuerpos tienen la facultad de contraerse por el enfriamiento; facultad que todo el mundo conoce en el termómetro, cuyo líquido disminuye de volúmen, á medida que el frio es mas intenso. Esta contraccion hace ver, que las moléculas de los cuerpos dejan entre sí pequeños intersticios que tienen la propiedad de estrecharse. Aun suponiendo en su mas alto grado el enfriamiento, no se infiere por eso que las moléculas debieran ocupar enteramente los pequeños espacios que las separan, porque puede haber en su forma, colocacion, y demas circunstancias una causa de separacion, que dependa de la íntima naturaleza de los cuerpos. En efecto las partes integrantes de un compuesto no son susceptibles de descomposicion sino por los vacios que se encuentran entre los elementos que las constituyen.

Pasemos sin embargo á los esperimentos que establecen de una manera incontestable la porosidad de los cuerpos, y ocupemonos desde luego de los cuerpos solidos.

Las maderas gozan de esta propiedad en muy alto grado. Uno de los medios de manifestarla evi-

(1) *Traité d' opt.* lib. II, part. 3, prop. 8, pág. 313.

dentamente es el de ahuecar un pequeño palo en direccion de la longitud de las fibras vegetales, y adaptarlo á una de las estremidades de un cilindro de cristal cuya estremidad opuesta se halle convenientemente preparada para aplicarse á la máquina neumática (1) Se pone entonces en la pequeña copa de madera un poco de mercurio, y se hace el vacío; al punto el mercurio atraviesa la madera, y cae en forma de lluvia fina. Para que el mercurio no dañe la máquina neumática, se coloca por lo regular en el aparato un tubo cuyo extremo está encorvado, y por el cual se verifica el vacío en el gran cilindro.

Otro experimento mas facil todavia se hace con una caña de junco. Se introduce en agua una de sus estremidades, y se aplica la boca á la otra para sacar por medio de la succion el aire que se encuentra en los poros. Este aire bien pronto es remplazado por el agua, que llega á la boca despues de esfuerzos mas ó menos considerables.

El humo pasa tambien muy facilmente al través de los poros del junco, y los orientales le emplean muchas veces como tubo de pipas.

Los metales son tambien muy porosos. Para convencerse de ello no hay mas que llenar de agua una bola de metal bastante delgada para que sea flexible, y tapada de manera que no pueda derramarse por su abertura. Métase en una prensa, al momento la bola se aplana, y abriendose despues el agua paso al través de los poros aparece en la superficie bajo la forma de gotas pequeñas semejantes á las del rocío.

El bronce es la sustancia metálica mas porosa. Se habia construido en Paris una prensa hidráulica cuyo piston debia moverse en un cilindro de bronce. Cuando se ensayó la máquina se vió que el

(1) Esta es un aparato, por medio del cual se extrae el aire contenido en los vasos. En el artículo de las bombas, describiremos esta máquina.

agua se escapaba al traves de los poros del cilindro, y fue necesario forrarlo en cobre para evitar este grande inconveniente, lo cual se práctica ahora conociendo, que este metal es bastante compacto para retener el agua por fuerte que sea la presión que se le haga experimentar.

La porosidad puede demostrarse fácilmente en un gran número de piedras. Citaremos una de que Newton ha hablado, y que da lugar á un fenómeno de luz muy particular. (1)

Esta piedra es del genero de las *agatas* que son semi-transparentes, y bastante duras para producir chispas con el eslabon y se conoce con el nombre de *hidrofano*. Cuando se la introduce en el agua se ve escapar el aire, que ocupaba sus poros, á medida que es remplazado por el liquido, y elevarse en forma de hilos numerosos de pequeñas ampollas. La piedra, que al principio tenia un aspecto lechoso, adquiere un nuevo grado de transparencia, y aumenta de peso sensiblemente.

El aumento de transparencia depende de un efecto de la luz, que esplicaremos mas adelante: pero el del peso tan solo se debe al agua introducida en los poros. Este experimento, en que se vé el desprendimiento del aire, prueba al mismo tiempo que no se deben considerar los poros absolutamente desprovistos de alguna materia estraña, sino mas bien ocupados por el aire ó por algun otro fluido sutil diseminado entre las moléculas de los cuernos como ya lo hemos dicho.

Mr. Haüy ha encontrado que un hydrofano de 8 decigramos de peso (36,05 de grano) en su estado ordinario, pesaba 21 decigramos (42,06 de grano) despues de haber sido sometido á esta prueba: su peso pues se habia aumentado en una sexta parte. (2)

Es de advertir que el hydrofano secándose pierde el agua que habia embebido, vuelve á adquirir

- (1) Newton, *optice lucis*, lib. II. part. tertia, prop. tertia.
- (2) Haüy. *Traité élém. de phis.* p. 5. . 3.^a edicion.

rir su natural opacidad, y puede reproducirse este experimento siempre que se quiera.

Algunas veces para embellecer las piedras se pone en ejercicio la facultad que poseen de absorber líquidos. Kircher, y otros varios la han puesto en práctica para dibujar en ellas flores, y otros adornos. (1)

Dufay llevó mucho mas lejos el arte de pintar las piedras (2): se servia para ello de disoluciones metálicas, y de alcohol como disolvente cuando empleaba los colores vegetales. Estas tintas penetraban tan profundamente, que resistian al pulimento que se diese despues á las piedras.

Se logra facilmente por medio de esta misma propiedad formar ramificaciones sobre pedazos de agata, y muchas veces se imitan asi las naturales hasta el punto de llegar á equivocarlas con las verdaderas.

Con respecto á esto, observaremos que todos los cuerpos sólidos no se empapan indiferentemente en todos los líquidos; las maderas, por ejemplo, absorven mas facilmente el agua que el aceite, y el mármol al contrario no absorve el agua, al paso que el aceite y demas cuerpos grasos le penetran profundamente.

Vamos á citar algunos ejemplos de porosidad observados del reino animal.

Tómese un pedazo de piel despojada de su epidermis, y de ella fórmese una muñequilla en que se encierre una ó dos onzas de mercurio: despues de haberla fuertemente atado oprímase entre los dedos colocándola sobre una batea, y se verá salir el metal bajo la forma de una lluvia muy fina.

Decimos que la piel debe estar deprovista de su epidermis, porque esta parte mucho menos porosa que

(1) Transacs. philos., 1701.—Journal des Savants 1678.

(2) Dufay. Mém. de l' acad. roy. des sciences. 1728.

el tejido que cubre, impediría el paso del mercurio.

Puede reemplazarse por un trozo de piel la copa de madera de que hemos hablado en la pag. 51 y el mercurio producirá el mismo efecto.

Teniendo igual écsito esta esperiencia en las pieles del hombre y en la de los demas animales, prueba manifiestamente, que la piel de todos los seres se encuentra cubierta de innumerables poros ó aberturas, cuya prodijiosa tenuidad se confirma al observar la multitud de pequeños glóbulos de mercurio, que se abren paso al traves de la poca estencion de la piel que los contiene, y por la extraordinaria finura de los que se encuentran aislados en algunas partes del cuerpo donde se recojen. Por estas aberturas se escala continuamente la materia de la transpiracion insensible ó cutánea.

La piel del hombre y la de los animales se halla cubierta de una infinidad de poros por los cuales se escapan por medio de la transpiracion las partes de los alimentos, que no contribuyen á la nutricion.

Independientemente de la transpiracion sensible que se llama sudor, y que es accidental, se verifica otra insensible mas ó menos activa en todos momentos, y que antes de los esperimentos del Santorio no se creian tan abundantes. Este célebresabio tuvo la constancia de pasar una parte de su vida en una balanza pesándose continuamente, para determinar las pérdidas ocasionadas por los efectos de la transpiracion.

El halló que en las veinte cuatro horas del día perdemos por ella los $\frac{5}{8}$ del alimento que hemos tomado. Dodard, que emprendió despues estas esperiencias, afirma que la transpiracion es mucho mas abundante en la juventud. Estos Físicos habian descuidado distinguir la transpiracion que se verifica por los pulmones de la que se hace por medio de la piel. Seguin y Lavoisier quisieron determinar su diferencia. Buscaron pues el resultado de la trans-

piracion total, y suprimieron la que se efectua por la piel aplicando sobre este órgano una envoltura impermeable al humor, y de este modo obtuvieron la cantidad de la transpiracion pulmonar, y el termino medio entre los resultados de sus esperiencias, da $\frac{7}{11}$ relativamente á esta transpiracion con la cutánea; es decir, que el efecto que proviene de la transpiracion pulmonar es casi los dos tercios del efecto total.

Para formarse una idea de la abundancia de esta evacuacion por los poros bastará solo valuar, en cuanto sea posible, el numero de aberturas que se encuentran en una cierta estension de la piel. Lewenhœk (1) observando por medio de un excelente microscopio un pedazo de piel humana de una linea de longitud, descubrió é hizo ver distintamente en un espacio tan corto ciento veinte aberturas pequeñas. Reduciendo á ciento este número, y arreglando á nuestra medida, la inglesa de que se sirvió, deben encontrarse mas de mil por pulgada, y por consiguiente mas de 12000 por un pie. Multiplicando este numero por si mismo se obtiene por producto el numero de poros contenidos en una superficie de un pié cuadrado, es decir la de ciento cuarenta y cuatro millones.

La superficie de la piel de un hombre de mediana estatura se valúa ordinariamente en catorce pies cuadrados de estension, luego el número de poros deberá ser catorce veces ciento cuarenta y cuatro millones, ó lo que es lo mismo, dos mil diez y seis millones.

2,016,000,000

Citaremos una esperiencia sobre la porosidad de las sustancias animales, que conduce á una útil aplicacion. Consiste en tomar un huevo, que no sea fresco, colocarlo en un vaso de agua bajo el recipiente de la máquina neumática, y practicar el va-

(1) Lewenhœk. Arc. nat. t. III. p. 415.

cio. A cada golpe del émbolo se observan una multitud de pequeñas ampollas de aire, que se escapan del interior del huevo, salen por los poros esparcidos en su superficie, y se dirigen al recipiente atravesando la masa de agua. En los parages en que estos poros son mas abiertos, las ampollas se suceden con tal rapidez, que forman otras tantas series no interrumpidas de ampollas. Esta es una prueba convincente de la porosidad de la cáscara, que dando paso continuamente á la parte lechosa deja en su lugar introducir el aire exterior.

Esta fermentacion se efectúa con detrimento del huevo, y concurre á acelerar su putrefaccion.

Un medio el mas sencillo de evitar este inconveniente, y conservar largo tiempo los huevos frescos es el de tapar los poros, estendiendo sobre la cáscara una especie de barniz. Reaumur solo empleaba para este uso, la goma árabiga disuelta en aguardiente (1) Sumergia en seguida en esta especie de barniz los huevos que queria conservar, los cuales permanecian despues en el mismo estado por espacio de muchos años. Igualmente pueden sumergirse por algun tiempo en agua cargada de cal dejandolos secar despues. De este modo se han encontrado algunos, que la casualidad habia conservado, y que tenian un gran numero de años. (2)

La porosidad de ciertos cuerpos sólidos presenta fenómenos bastante curiosos para pasarlos en silencio; queremos hablar de la absorcion de los gases. Esta propiedad observada al principio por Fontana, y comprobada despues por Morozzo, Rouppe, y Noorden, (3) respecto al carbon, fué despues cuidadosamente estudiada por M. Teodoro de Saussure. Este último fisico ha estendido sus investigaciones

(1) Reaumur. Art. de faire eclorre, etc.

(2) Annales de Chimie et. de Pysique, tom. III, pag. 110.

(3) Journal de Physique, tom. XXIII y LVIII. Annales de Chimie, tom. XXXII.

á otros muchos cuerpos en que ha encontrado las mismas propiedades.

Hé aqui los resultados generales de su hermoso trabajo. Todos los cuerpos porosos absorven una cantidad mayor ó menor de gaz cualquiera que sea su naturaleza, y esta absorcion depende:

1.º *De la temperatura*: porque la absorcion es casi nula en una temperatura elevada, y aumenta á medida que la temperatura disminuye.

2.º *De la presion*: efectivamente mientras mas comprimido se halla el gaz al rededor del cuerpo absorbente mas partes ponderables de gaz recibe el cuerpo poroso.

3.º *De la naturaleza del gaz*: entre el gran número de gases puestos en contacto con los cuerpos porosos se ha visto que unos como los gases amoniaco, hydroclórico, y sulfuroso, por ejemplo, son absorbidos en mayor cantidad que otros como el azoe, hydrógeno, &c.

4.º *De la naturaleza del cuerpo absorbente*: el carbon y la espuma del mar, absorven mas azoe, que hydrógeno, por el contrario la madera absorve mas hydrógeno, que azoe.

5.º *Del número de poros*: si por medio de la pulverizacion se disminuye el número de poros, es menos considerable la cantidad de gaz absorbida que la que verifica un pedazo de un cuerpo de la misma naturaleza no reducido á polvo.

6.º *Del diámetro de los poros*: el carbon de alcornoque cuya densidad no es mas que un décimo de la del agua*, no absorve sensiblemente aire. El carbon de abeto cuya densidad es cuatro veces mayor adquiere diez veces y media su volúmen, finalmente la ulla ó carbon de piedra de Ratisberg cuya densidad es trece veces mayor, adquiere diez veces y media su volúmen. Segun esto pudiera creerse, que mientras mas denso es el carbon mas gaz absorve, pero esto no se verifica sino hasta cierto punto, porque el que se obtiene haciendo pasar los aceites esenciales al traves de un tubo incandes-

cente, no deja penetrar el gaz en sus poros.

7.º *Del vacío de los poros*: se concibe claramente que si los poros estuviesen ocupados por un gaz extraño se haria la absorcion con menos facilidad, y seria menos considerable. Será pues menester, cuando se quiera conocer la cantidad real de un gaz absorbido por un cuerpo, someterlo á diferentes esperimentos que estén en relacion con su naturaleza, y que sean los menos capaces de alterarlo. Si por ejemplo el cuerpo no puede descomponerse por el fuego, se calienta fuertemente: en seguida se introduce en mercurio para impedir que al enfriarse absorba una nueva cantidad de aire ó de humedad. Si el calor pudiese descomponerlo se le pondrá bajo el recipiente de la maquina neumática, y produciendo el vacío se le quitará el aire y la humedad contenidos en sus poros.

De todos los carbonos el de box es el que posee en mas alto grado la indicada propiedad, á este sigue inmediatamente la espuma del mar.

El carbon de box puede condensar:

90 veces	su volúmen	de gaz amoniaco.
85		de acido muriático ó
	—————	hydroclórico
9,25	—————	de oxígeno
7,5	—————	de azoe
1,75	—————	de hydrogéno

Esta propiedad del carbon ha recibido aplicaciones preciosas: tal como la de desinfectar las aguas y descolorar muchas sustancias; para cuyos usos se reduce á polvo. (1)

(1) Véase para mayores detalles el tratado de Química de M. Thenard, tomo I, art. carbon.

Porosidad de los líquidos.—Los mejores instrumentos de optica no pueden dar á conocer la porosidad de los cuerpos líquidos: sin embargo los físicos la admiten, por los fenómenos que en sus combinaciones presentan esos cuerpos, que como se sabe, se dilatan y contraen segun se calientan ó enfrian.

Tomese una pequeña redoma cuyo cuello sea largo y estrecho, llenese un tercio de ella de acido sulfurico, y acabese de llenar de agua: tapese en seguida esactamente y agitese para que los dos líquidos se mezclen. La temperatura de la mezcla se elevará mucho, pero cuando llegue á la del aire que la rodea, ocupará un espacio mas pequeño, que el volúmen de los dos líquidos.

El alcohol concentrado, disminuye tambien de volúmen, cuando se mezcla con igual cantidad de agua si es debil el alcohol la densidad de la mezcla es inferior á la media de los dos líquidos.

Los líquidos absorven facilmente ciertos gases como el amoniaco; pero algunos otros son absorbidos con tal rapidez, que apenas puede la vista seguir la velocidad con que el agua sube en los vasos en que se encuentra al ponerse en contacto con ellos. El gaz acido hydroclórico se encuentra en este caso. Para hacer este experimento se proporciona este ácido gaseoso haciendo obrar el ácido sulfúrico sobre la sal marina en una redoma a cuyo cuello se adapta un tubo encorvado. Se recoge el gas sobre el mercurio, se tapa en seguida, y se trasporta en un vaso lleno de agua donde despues de haber colocado el cuello se le quita el tapon. El agua tiene con este gas tanta afinidad que al momento se precipita en el vaso como si estuviera vacio.

Cuando el agua está saturada de gaz armónia. co, se hace desprender este gaz calentando con unas parrillas circulares la campana en que se encuentra: efectivamente no teniendo este gaz una afinidad grande con el agua, y disminuyendo ademas su energia la elevacion de la temperatura llega un

instante en que la tendencia á el estado gaseoso es es mayor que la afinidad de los dos cuerpos entre si. Imposible seria producir el mismo efecto con el acido hydroclórico.

Bajo la presion ordinaria de la atmósfera el agua puede disolver sobre un tercio de su peso de gaz amoníaco, ó, lo que es lo mismo, cerca de 430 veces su volumen de este gaz. La cantidad de gaz hydroclórico absorbido en las mismas circunstancias es 464 veces el volumen de este liquido, y su peso una cuarta parte del agua.

Porosidad de los gases.—La porosidad de los fluidos aeriformes se prueba de una manera evidente por la facultad que tienen de poder reducirse, como veremos al hablar de la compresibilidad, en un espacio mas pequeño, que el que ocupan en su estado natural.

Otros fenómenos que tambien observamos con frecuencia muestran tambien la porosidad de los gases, tal es la vaporizacion de los liquidos. Las nubes se forman por la evaporacion del agua, que se encuentra en la superficie de la tierra, y que elevándose, bajo la forma de vapores muy ligeros al traves de los poros del aire se condensa en las regiones mas ó menos elevadas de la atmósfera, y cae despues bajo la forma de lluvia, granizo, ó nieve segun la temperatura, y demas circunstancias que le acompañan.

Divisibilidad.—Los cuerpos son todos divisibles, esto es, pueden separarse en partes; pero ignoramos si son divisibles al infinito, ó si, en último resultado, estan compuestos de moléculas indivisibles llamadas *átomos*. Como quiera que sea, es cierto que la division de la materia puede llevarse á un punto que asombra la imaginacion como puede uno convencerse por los ejemplos que vamos á citar.

Se sabe que es mas ó menos facil dividir un cuerpo solido en partes estremadamente finas, y reducirlo continuando la operacion á polvo, pero bien pronto, estas partículas adquieren una tenuidad tal,

que no es posible someterlas á nuevas divisiones. Sin embargo, si se observan con el microscopio se vé que pudieran dividirse todavia, si hubiese instrumentos bastante delicados. Un cuerpo puede reducirse á partículas tan finas, que movidas en el agua, queden en suspension por espacio de algunos dias antes de precipitarse.

Las materias colorantes nos suministran tambien maravillosas pruebas de su divisibilidad. Si se disuelve una pequeña cantidad de carmin en el fondo de un vaso, podrá este llenarse de agua que tomará al instante un color manifiesto.

Vamos á referir el cálculo siguiente de Mr. Haüy, extractado de las observaciones de Boyle.

El peso de un grano de oro, cuya ductilidad (1) permite reducirse á hojas, puede cubrir una superficie de 50 pulgadas cuadradas de las que cada una tendrá cerca de 27 milímetros por lado (13,95 de linea) Luego se puede concebir el milímetro dividido en 8 partes visibles lo cual dá 46,656 pequeños cuadrados visibles, en una hoja de oro de una pulgada cuadrada, y como el número de estas hojas es 50, se deducirá que una pequeña masa de oro del peso de un grano, puede dividirse en mas de dos millones de partes sensibles á simple vista, pues por medio del microscopio cada parte se convertirá en una hoja de oro en que la vista y el cálculo, podrian ejercitarse.

(1) La *ductilidad* es la propiedad que poseen ciertos metales, de reducirse á hilos cuando se pasan por la hilera, ó convertirse en láminas finísimas, sometidos á la accion del martillo ó del castillejo: se dá mas particularmente el nombre de maleabilidad á esta última propiedad. Por hilera se entiende, una placa de acero, atravesada por agujeros de diversos diámetros, por los que se hacen pasar los metales que se quieren reducir á hilos. Un castillejo, se compone de dos cilindros de acero, colocados horizontalmente, entre los cuales se pone el metal que se quiere reducir á láminas. Ya se trate de formar láminas ó ya de hacer hilos, es necesario calentar los metales de tiempo en tiempo. Alguna diferencia ecsiste real-

Esta division se aumenta mucho mas en el arte del tirador de oro. Se toma una cierta cantidad de hojas de este metal cuyo peso no esceda de una onza, y se cubre con ellas un cilindro de plata. Se hace pasar en seguida el cilindro por diferentes hileras y cuando se ha reducido á un hilo tan sutil como un cabello cubierto en todos sus puntos de una capa de oro estremadamente delgada, se aplana entre dos cilindros de acero. En este estado forma una lámina cuya longitud es de 531,024 varas castellanas que hacen mas de 106 leguas de 5000 varas cada una. Pero estando revestida esta lámina de una capa de oro por sus dos caras se pueden ambas con-

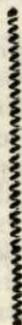
mente entre la ductilidad y la maleabilidad, porque el hierro de que se puede hacer hilos de una estremada finura, no puede reducirse á láminas muy delgadas. Segun los ensayos hechos sobre la ductilidad, y maleabilidad de los metales se han clasificado en el orden siguiente.

**METALES CLASIFICADOS POR ORDEN
SEGUN SU MAYOR FACILIDAD EN TRANSFORMARSE.**

EN HILOS.

EN LAMINAS.

Oro.
Plata.
Platina.
Hierro.
Cobre.
Zinc.
Estaño.
Plomo.
Nikel.
Paladio.
Cadmio.



Oro.
Plata.
Cobre.
Estaño.
Platina.
Plomo.
Zinc.
Hierro.
Nikel.
Paladio.
Cadmio.

siderar como dos láminas de una delgadez estremada, y pueden imaginariamente colocarse una á continuacion de otra. Ademas siendo el grosor de estas láminas de $\frac{1}{4}$ de linea puede mentalmente suponerse dividida en dos: y asi la cantidad de oro empleada equivale á cuatro laminas de 53.1024 varas de longitud. Ahora bien, si se concibe, que cada una de las *lineas* contenidas en esta longitud, esta dividida en 12 puntos se tendrá mas de 8 mil millones de partes visibles en una pequeña masa de oro del peso de un grano que, equivale á un cubo de oro cuyo lado no tuviera $5\frac{1}{2}$ lineas de longitud.

Mr. Wollaston ha imaginado un procedimiento por medio del cual se obtienen hilos de platina que son imperceptibles á simple vista. Para este efecto se fija un hilo de este metal de un grueso cualquiera en el eje de un molde cilíndrico hueco que se acaba de llenar de plata fundida, que se solidifica alrededor de la platina. Despues de haber pasado este cilindro por la hilera se hace disolver la plata por medio del ácido nítrico hirviendo, que no ataca á la platina, y se encuentra en el centro un hilo de este metal que tiene á veces un diametro apenas equivalente $\frac{1}{12}$ de linea. Debe observarse que estos hilos conservan todas las propiedades de la platina en masa.

Las impresiones que se sienten en el olfato no son menos propias para darnos á conocer la estrema division á que se presta la materia. Un solo grano de almizcle, por egemplo, basta para esparcir por espacio de muchos años un olor demasiado fuerte en una habitacion cuyo aire se esté frecuentemente renovando.

Compresibilidad.—La compresibilidad es la propiedad que tienen los cuerpos de poderse comprimir. ó, lo que es lo mismo, de reducirse á un menor volumen por la accion de una fuerza conveniente. La compresibilidad supone que las partes que forman los cuerpos no están tan próximas unas á otras como pudieran estarlo; pero esta suposicion es

verdadera, porque segun hemos visto anteriormente todos los cuerpos son porosos; supone ademas la compresibilidad, que las partes de los cuerpos son flexibles, porque si fuesen absolutamente inflexibles ninguna fuerza los obligaria á ceder, y como rigorosamente hablando, no hay cuerpo que no pueda ceder á una fuerza limitada, resulta que esta proposicion es verdadera. Se deduce de aquí, que la compresibilidad es una propiedad general de los cuerpos, y que pertenece á todos aunque en diferentes grados.

En muchos cuerpos como la piel de los animales, la medula del sauco, el corcho &c. la compresibilidad es tan grande que se puede, por decirlo asi, seguir con la vista la aprocsimacion de las partículas de estos cuerpos comprimidos entre los dedos. En este caso los poros cambian de forma y sus paredes se aplanan y aprocsiman.

Hay otros cuerpos de una estructura muy porosa, como la *pedra pomez*, que no dejan manifestar la compresibilidad porque siendo muy poco flexibles, se quiebran al mismo tiempo que sus poros tienden á cambiar de forma.

Existen una multitud de cuerpos en los cuales jamas se manifiesta señal sensible de compresibilidad como el marmol, el cristal, y otros que se quiebran á una presion violenta. Sin embargo se dice que son compresibles, y en apoyo de esta asercion se cita el siguiente experimento.

Se toma un pedazo de mármol pulimentado, se cubre con una ligera capa de grasa, y se le deja caer encima una bola de la misma sustancia. Se observa entonces en el lugar del choque una mancha circular tanto mayor, cuanto de mas alto ha caido la bola. Una esfera no puede tocar á un plano mas que en un punto, y como la mancha tiene un cierto diámetro es forzoso que el mármol haya sido comprimido.

Experiencias análogas se hacen con el cristal, y otras sustancias resistentes, y los resultados son semejantes á corta diferencia.

Es necesario sin embargo confesar, que la consecuencia que de este experimento se deduce, no está rigurosamente demostrada; á saber, que los cuerpos sometidos á él son compresibles, porque este efecto puede esplicarse por un desalojamiento momentáneo de las partículas, tanto del cuerpo chocante como del chocado, como veremos mas adelante. Si las partes desalojadas vuelven á recuperar instantáneamente sus respectivas posiciones naturales, producen lo que se conoce con el nombre de elasticidad.

En el vacio se nota que las señales dichas tienen mucho menor tamaño, lo que induce á creer, que el aire impelido con velocidad alrededor del punto de contacto en el momento del choque, tiene una grande influencia en la produccion de esta señal.

Compresibilidad de los líquidos.—Los líquidos sometidos á una presión considerable no disminuyen de volumen sino en muy pequeña cantidad, y por esto se han considerado largo tiempo como incompresibles. El experimento en que se funda esta opinion se practicó por los miembros de la academia del Cimento de Florencia en 1650. Dicen los académicos, hicimos fundir una grande esfera de poco espesor, y habiéndola llenado de agua enfriada por medio del hielo, la cerramos con un tornillo muy sólido, empezamos en seguida á golpearla por todos lados con martillos; entonces, la plata condensandose disminuia la capacidad interior, pero el agua no sufría la menor compresion, porque á cada golpe se la veía filtrar por los poros del metal, del mismo modo que el mercurio sale bajo la forma de pequeñas gotas al traves de la piel en que se le comprime.

Musschembroek repitió esta esperiencia de una manera mas esacta. Fijó la atencion sobre el aire que puede hallarse entre las moléculas del agua, y ocasionar algun error: usó, para esto esferas de plomo ó de estaño de tres pulgadas de diame-

tro, y cuyas paredes tenían tres decimos de pulgada de espesor. En medio de cada esfera se elevaba un tubo de metal muy grueso, que terminaba por un pequeño orificio. Tenia cuidado de purgar de aire el agua destinada á llenar las esferas, y para ello las colocaba bajo la máquina neumática para someterlas á la prueba del vacío á fin de que no quedase la menor cantidad. Dispuesto todo así escogia un tiempo frio para que el agua se condensase suficientemente, y cerraba el orificio de cada tubo con un punzon de plomo que introducía á golpe de mazo, colocando despues estas dos bolas bajo una prensa. Estas esferas que hubieran podido variar de figura, y aun aplanarse fácilmente si hubiesen estado vacias, resistian fuertemente al esfuerzo de la prensa, y cuanto empezaban á ceder filtraba el agua por todas partes al traves de los poros del metal.

Las precauciones tomadas por Musschembroek, eran necesarias; el aire es muy compresible y se halla siempre mas ó menos interpuesto entre las moléculas del agua (1) y se hubieran podido atribuir á este liquido señales de compresibilidad que solo hubieran sido debidas al aire.

Otros fisicos profesan distinta opinion. Canton puso fuera de duda la compresibilidad de los líquidos por medio de un aparato estremadamente simple, y que consiste en una bola de cristal unida á un tubo. Llenaba el aparato con el liquido que queria experimentar, y le hacia hervir despues para espeler el aire, cerraba entonces el tubo herméticamente aprosimando su extremo á la llama una lámpara de esmaltar. Obtenia pues, por este medio un tubo en que no habia aire, y por consiguiente ninguna presión en la superficie del liquido. (Mas adelante demostraremos que el aire at-

(1) Los Sres. Humboldt y Gay Lussac han encontrado el aire del agua mas puro que el de la atmósfera, y tanto que el primero contiene 0,32 de oxígeno, y el segundo tan solo 0,21. Véase le Journal de Phys 1805 y la Química de M. Thenard, tomo 2.º, páginas 10 y 11.

mosférico ejerce una presión grande sobre los cuerpos, ya se encuentren sumergidos en la atmósfera, ó ya sobre el aire atmosférico por su elasticidad en el interior de vasos hermeticamente cerrados) Después de esto ponía un pequeño índice para señalar la altura del líquido en el tubo, y abría después su estremidad. Entonces el aire entraba súbitamente en el tubo, comprimía el líquido que antes no experimentaba ninguna presión, y le hacía disminuir de volumen descendiendo una cierta cantidad.

Puede objetarse á esta experiencia, que la presión atmosférica, que viene á obrar de repente en el interior del vaso, tendiendo á repeler las partes de dentro á fuera, aumenta por esta acción la capacidad de la bola, y hace bajar el líquido sin disminuir realmente de volumen.

Canton para responder á esta objeción, hizo bolas en que colocaba mercurio, y otras en que ponía agua como acabamos de indicar: las colocaba en las mismas circunstancias, y rompía las estremidades de los tubos. El agua era siempre comprimida, pero el mercurio no presentó ninguna disminución de volumen; de donde dedujo que si la presión atmosférica aumentaba la capacidad de la bola, comprimiendo sobre el agua, igualmente debería aumentarla obrando sobre el mercurio, y que no sucediendo así, el agua se comprimía necesariamente.

Canton practicó también el experimento en el vacío: para esto, colocaba su *bola de tubo* bajo un recipiente, y le ponía una señal. Cuando había extraído el aire le hacía entrar de repente; el aire comprimía entonces el interior del tubo, pero como comprimía igualmente en la superficie de la bola se destruían estas dos acciones sin influir en la capacidad del instrumento, y entonces se veía que la disminución de volumen observada era enteramente debida á la compresión.

M. Ersted á dado á conocer un ingenioso aparato por cuyo medio se demuestra muy fácilmente

te la compresion. Consiste en un pequeño vaso, que tiene un largo cuello cuyo diámetro es capilar, que termina en un pequeño embudo. Se llena esta vasija de agua destilada, y purgada de aire por medio de la ebulicion, y se le coloca en un bastidor de metal, que tenga, en la estension que ocupa el cuello, divisiones para indicar la cantidad con que está comprimido el liquido cuando se hace la esperiencia.

Se coloca sobre la misma placa de metal un termómetro para señalar la temperatura, y un pequeño tubo lleno de aire cerrado por la estremidad superior destinado á notar por la disminucion del volumen de aire la cantidad de fuerza comprimente. (1)

Esta disminucion se aprecia por una graduacion que hay detras del tubo. Se coloca todo el aparato en un gran cilindro de cristal de paredes muy gruesas lleno de agua, y provisto de un embolo en su parte superior, que llena exactamente el tubo, y con el cual se practica la presion necesaria dando vueltas al tornillo que tiene su bara.

Esta presion se comunica á toda el agua del gran cilindro, despues por medio de este agua á las paredes exteriores de la botella, y finalmente al líquido que contiene, por medio de una pequeña columna de mercurio, que se coloca á la entrada del cuello de la pequeña botella, y que se mantiene en ese lugar por que no puede dividir la pequeña columna de agua que la sostiene ni dividirse así misma para dejar subir esta á la superficie. Esta columna de mercurio se contrae cuando se comprime, y manifiesta la disminucion de su volumen. Es necesario bastante cuidado para evitar durante la esperiencia los cambios de temperatura, que producen grandes diferencias en los resultados.

Mr. CErsted, ha observado que la compresion que

(1) Véase. Tubo de Mariotte.

sufria el agua estaba en razon de las fuerzas comprimientes, y que, como término medio de un gran número de esperiencias, una presion igual á la de la atmósfera (Vease el artículo Barómetro) producía en el agua una disminucion de un noventa y cinco millonésimo de su volúmen primitivo.

Canton y Mr. Parkins, han hallado á corta diferencia, resultados semejantes. Parece que los diferentes líquidos no se comprimen en igual cantidad.

Compresibilidad de los gases.—La compresibilidad, difícil de demostrar en los sólidos y los líquidos, es de la mayor evidencia en los cuerpos gaseosos. Se les puede reducir por medio de la compresion á un volúmen mucho menor que el que ocupaban: para esto, basta introducir el gaz en un aparato semejante al de la figura, (*Figura 4*) que se llama eslabon neumático ó eslabon de aire y que se compone 1.^o de un tubo de vidrio ó de cristal ABCD bien calibrado, es decir, de un mismo diámetro en toda su estension. 2.^o de un émbolo GH, que llena exactamente el cilindro, y que tiene además un mango K; 3.^o de un tapon NOP, que puede quitarse y ponerse á voluntad, mantenido en su posicion por dos puntos que se hacen entrar en sus encajes haciéndole dar un cuarto de vuelta.

Si quiere hacerse la esperiencia en el aire, se quita el tapon y no vuelve á colocarse sino despues que el émbolo haya descendido hasta abajo. El cuerpo de bomba se llena asi de aire, que no comunica con el de la atmosfera, y que no puede escaparse cuando se empuja el émbolo. Asi puede hacerse disminuir considerablemente el volúmen de este aire, pero á medida que disminuye se hace mayor la dificultad de comprimirlo.

Se puede calcular la relacion que ecsiste entre el volúmen del gaz, y los pesos comprimientes. Nosotros espondremos los medios al hablar del tubo de Mariotte de que no podemos ocuparnos en este lugar, por que no pueden esponerse aun al-

gunos de los datos necesarios para la inteligencia de este aparato.

Sometiendo todos los gases á la misma prueba se ve que todos pueden comprimirse, pero se obtiene un resultado muy sorprendente cual es que si se oprimen fuerte y rápidamente se observan algunas ráfagas de luz. Por este medio tambien se enciende yesca en cilindros de metal construidos para este uso, en los que la estremidad del embolo está hueca para contener la sustancia que vá á incendiarse.

M. Saissy, que ha estudiado los efectos producidos por la compresion sobre los diferentes cuerpos gaseosos, dice, que la propiedad de desprender luz solo pertenece al oxígeno, al cloro, y al aire atmosférico.

M. Dessaignes sometiendo el agua á un choque rápido en un eslabon de aire ha hecho salir de ello repentinamente una luz clara.

Esta esperiencia daria fuertes presunciones en favor de la comprensibilidad del agua, si no se hubiese puesto fuera de duda. No se puede efectivamente concebir esta produccion de luz, sino por la aproximacion de las moléculas líquidas.

Para hacer con los vapores esperimentos semejantes á los que acabamos de indicar con los gases permanentes, se emplea un eslabon de aire, que se llena de mercurio despues de haber sacado el embolo, y que se prepara como para recojer un gaz. Se coloca sobre un hornillo el vaso que contiene el mercurio á fin de hacerlo calentar, despues se pone en otro una retorta que contenga agua ú otro líquido cualquiera que se caliente del mismo modo y que bien pronto se reduzca á vapor transparente y muy caliente. Se llena el cuerpo de bomba se le adapta el émbolo, y puede verse que el vapor á esta temperatura produce el mismo efecto que los gases.

Es necesario si se repite esta esperiencia cuidar de no quemarse ó respirar escalaciones mercuriales;

porque este metal adquiere entonces una temperatura muy alta en la que produce vapores muy abundantes y peligrosos.

Elasticidad.—Hemos dicho, que comprimiendo los cuerpos para hacerlos disminuir de volúmen, se experimentaban dificultades tanto mayores cuanto mayor era la compresion.

La elasticidad es una propiedad que poseen ciertos cuerpos de conservar de una manera permanente un volúmen y forma determinados, y en virtud de la cual vienen á recuperar su primer estado cuando se les ha variado por alguna causa cualquiera.

Llamase *cuerpo elástico* aquel, que despues de haber sido comprimido, vuelve á recuperar, cuando cesa la compresion, las mismas dimensiones, y la misma figura, que antes tenia. Tal es un arco que vuelve á tomar la posicion rectilinea si se suelta la cuerda que le sostiene encorbado.

Tal es tambien una bola de marfil que se deja caer sobre un plano de marmol. En el momento del choque las partes mas inmediatas al contacto son comprimidas hacia el centro de la bola, mientras que las mas lejanas se retiran por un movimiento contrario. La bola entonces se aplana en direccion de su eje vertical y perpendicular al plano, prolongándose por el contrario horizontalmente.

El mismo plano no permanece perfectamente horizontal, pero este efecto se verifica con tal rapidez que es imperceptible á la vista.

Diferentes hipótesis se han formado para explicar esta propiedad. En una se admite que el cuerpo vuelve á su primitivo volúmen por la tendencia que poseen las paredes de cada uno de los poros á conservar de un modo permanente una forma determinada, y volverla á adquirir asi que cesa la causa que lo comprimia. En esta hipótesis para dar razon de la elasticidad de una lámina de acero encorvada, se supone que durante la flexion las mo-

lécúlas de la parte convesca de la curvatura se han separado unas de otras, habiéndose aproximado las de la porcion cóncava; y que todas estas partículas esforzándose á volver á ocupar sus distancias naturales producen dos efectos, que concurren á restablecer el cuerpo á su forma primitiva. Esta teoría esplica muy bien lo que sucede en el corcho y otros cuerpos que tienen una gran porosidad, pero no puede dar razon de la esperiencia siguiente.

Tómese una lámina de plomo, fijese por una de sus estremidades, y encórvese ligeramente, usando de una fuerza pequeña y se notará alguna resistencia, viéndose volver á su primitivo estado, oscilando con cierta velocidad; pero si se emplea una fuerza mayor se encorvará realmente, aunque no conserve toda la curvatura que se le dé.

No pudiendo comprimirse el plomo por el martillo, no puede suponerse que en virtud de la pequeña fuerza que se ha empleado se aprocsimen unas a otras las moléculas de la parte cóncava, separándose las de la convesca. Esta dificultad ha obligado á recurrir á otra hypótesis en la que se admite, que el efecto de la aplicacion de una fuerza, sobre un cuerpo ductil, es tender á deslizar las moléculas unas sobre otras, y por consiguiente á cambiar la colocacion que estas tenían entre sí haciéndolas tomar otra. Hay en esta operacion moléculas totalmente desalojadas, que se colocan de una manera estable en una posicion nueva, despues de haber deslizado unas sobre otras: estas son las que mas directamente se encuentran espuestas á la accion de la fuerza. Pero las partículas que estan lejanas del centro de accion no reciben sino una pequeña impresion, y se desvian poco de su posicion natural sin colocarse en nuevas situaciones. Estas moléculas, en alguna manera, oscilan alrededor de su punto de adherencia y aun tienden á volver á él: de aqui es de donde puede resultar la fuerza élastica que se manifiesta. Asi cuando se aplica una pequeña fuerza á una lámi-

na de plomo, solo se produce un momentáneo desvio en las moléculas, que vuelven á adquirir su primitiva posicion, cuanto deja de obrar aquella fuerza. Siendo esta mas considerable se encuentran algunas partículas desalojadas enteramente, y la lámina queda encorvada; sin embargo otras moléculas no siendo sino momentáneamente desviadas vuelven á ocupar su posicion primitiva, y dan en parte al cuerpo la primera fôrma que habia recibido.

Esta hipotesis puede aplicarse á todos los cuerpos, porque despues de haberla adoptado para los metales eminentemente ductiles, se admitirá tambien para los que lo son menos.

Un cuerpo es tanto mas elástico quanto mas completamente se restablecen sus moléculas á su estado natural, y quanto mas veloz es este restablecimiento. Hay cuerpos que pierden alguna vez su elasticidad, y otros en que se aumenta por diferentes medios usados en las artes.

Debiendo tener los cuerpos sonoros una elasticidad muy grande, se aumenta el resorte de los metales de que se hacen campanas, &c., fundiéndolos con otros metales, y formando lo que se llaman aligaciones; porque se ha observado que un compuesto metálico es mas duro, y mas elástico, que cada uno de los metales simples de que está formado. Nosotros podemos citar por egemplo las ligas de los *cimbalos* y *campanas* que todas se componen de cobre y de estaño; uno y otro muy ductiles quando estan separados, y muy duros quando se combinan.

La mayor parte de metales adquieren aun quando no se mezclen, una mayor elasticidad quando se baten en frio, y esto es lo que se llama *templar*. Para probarlo toméense de una misma plancha de cobre dos láminas de igual dimension, batanse una en caliente y otra en frio sobre un áyunque, tratése en seguida de encorvarlas, y se verá al soltarlas que la que ha sido batida en frio adquieren su pri-

mer estado, mientras que la otra conserva casi enteramente la posición que se le quiera dar.

Pero de todos los cuerpos cuya elasticidad puede aumentarse artificialmente, ninguno es más notable, y de mayores efectos que el hierro, ya combinándole con el carbon para producir el acero, y ya templándolo después.

El temple consiste en hacer enrojecer el metal, sumergiéndole luego en un líquido para enfriarle prontamente. Esta operación dá al acero una gran dureza, lo hace frágil, y muy elástico, y es muy digno de notarse que el hierro no goza de las mismas propiedades.

Se puede hacer perder la elasticidad dada al acero, por el temple calentándolo hasta que se enrojezca, y dejándole en seguida enfriarse lentamente.

Otro medio para hacer perder al acero su elasticidad, y que citaremos por no ser muy conocido, es el que se emplea en Suecia para probar las hojas de espada destinadas á los ejércitos. Consiste en dar fuertemente un golpe de plano sobre una mesa ó en la superficie del agua. Al cabo de cierto número de golpes el acero ha perdido su elasticidad, y se desechan como malas las hojas que la han perdido muy pronto.

En ciertas circunstancias la forma de los cuerpos influye mucho sobre su elasticidad. Por ejemplo, un anillo que se arroje repentinamente sobre un plano de mármol rechaza más, que un disco del mismo peso: una esfera hueca refleja más que una llena.

El choque determina al anillo á prolongarse en el sentido horizontal de suerte que se verifican en todos los puntos de este anillo pequeñas mudanzas de partículas, y la vuelta de estas moléculas á su primera posición reduce rápidamente el cuerpo á su primera forma. Del mismo modo la esfera toma una figura elíptica, y se encuentra por una razón semejante reducida á su forma anterior.

Los cuerpos elásticos no adquieren repentinamente

te su forma natural, sino despues de una serie de oscilaciones por medio de las cuales se transportan sucesivamente las partículas mas acá ó mas allá del punto en que deben detenerse. La velocidad de las oscilaciones vá disminuyendo hasta que se reduce á cero. En algunos cuerpos estas oscilaciones son invisibles pero la vista las percibe fácilmente en un gran número de ellos; por egeemplo, unas pinzas cuyas dos ramas se sueltan despues de haberlas unido. Un anillo desfigurado por el choque se prolonga horizontalmente primero, tomando despues la posicion vertical, y asi sucesivamente un gran número de veces. Este efecto es evidente en un gran aro de acero, que se tiene fijo en un punto, mientras que se comprime por el lado opuesto.

La elasticidad de ciertos cuerpos sólidos varia con la temperatura, por egeemplo, los metales calentados hasta el enrojecimiento no manifiestan elasticidad sensible. La cera, las grasas, y otros no manifiestan elasticidad á la temperatura ordinaria porque estos cuerpos son muy ductiles, pero adquieren esta propiedad, cuando se esponen á un gran frio.

Los cuerpos eminentemente flexibles, como las cuerdas y las pieles, adquieren elasticidad cuando se estiran: las cuerdas de instrumentos, y las pieles de los tambores son una prueba de esta verdad, pero la humedad les hace perder una gran parte de esta propiedad, que les habia hecho adquirir la tension.

De la elasticidad reciben su fuerza los resortes de varias especies, y todos saben cuan útiles son en los usos de la vida. La esperiencia nos enseña que estos cuerpos pierden poco á poco su elasticidad por un largo egercicio, porque abandonan insensiblemente su forma para tomar otra que se aprocsima á la que tienen en el estado de tension. Los resortes de acero están menos espuestos á estos inconvenientes que otros.

Balanza de torsion.—En la elasticidad de los hilos metálicos está fundada esta balanza tan ingeniosa

y delicada. En efecto, este instrumento que debemos á Coulomb, y que es el mas á propósito para medir fuerzas pequeñas, consiste en un hilo metálico muy delgado que tiene en su estremidad una palanca provista de dos balas de plomo, y fija por su extremo superior en una pinza metálica. Si el hilo de suspension no está torcido permanece inmóvil la palanca, pero torciéndole se desarrolla en él una fuerza de elasticidad que tiende á volverlo á su primitiva posicion. Coulomb, ha probado por sus esperimentos, que la fuerza de torsion de los hilos metálicos, es proporcional al ángulo que la posicion de la palanca forma con esta misma, cuando el hilo ha sido torcido, y para medir este angulo ha provisto el instrumento de un círculo graduado.

Elasticidad de los líquidos.—Los líquidos, no dan signos de elasticidad sino cuando están en glóbulos, y por un medio cualquiera se cambia su forma, cuando, por egemplo, un glóbulo de mercurio viene á chocar contra un cuerpo sólido, rechaza; basta para esperimentarlo colocar un pequeño glóbulo de este metal, sobre una mesa cuyos bordes se hallen levantados en ángulo recto y hacerla rodar sucesivamente del uno al otro extremo: asi que el pequeño glóbulo ha tocado la pared vertical rechaza con cierta viveza. Tambien puede probarse su elasticidad poniendo un glóbulo sobre un plano horizontal, y eggerciendo una pequeña presion en su parte superior: se le vé cambiar de forma y aplanarse, tomando despues su figura esférica, asi que cesa la presion manifestando al momento su elasticidad. No hay nadie que no haya visto otro esperimento que prueba la misma verdad, y que consiste en dejar caer mercurio sobre el suelo donde se divide en una multitud de pequeños glóbulos que rechazan con fuerza. El mismo efecto se produce dejando caer agua sobre un entarimado cubierto de polvo para impedir la adherencia de este liquido.

Elasticidad de los gases.—Hemos visto que en los cuerpos sólidos, como en los líquidos, la elasticidad

es el resultado del cambio mas bien de forma que de volúmen: no sucede asi con los gases ó fluidos acríformes en que la elasticidad nunca se manifiesta sino por el cambio de volumen.

La resistencia que se experimenta al momento comprimiendo el aire en un eslabon neumático es producida por las tendencia que el fluido tiene á volver á su primer volúmen, es decir, por la elasticidad que posee, y que aumenta con la condensacion, puesto que cuando cesa la presion, se vé sino es muy considerable el roce del émbolo, volver á su primera posicion, y el gaz á su volúmen primitivo. Este es el mejor resorte que se conoce porque no pierde jamas su elasticidad.

El aire condensado en un vaso sale rápidamente al punto que se le proporciona salida, y este efecto de su recorte, ha dado lugar á un gran número de aplicaciones útiles é ingeniosas de las que vamos á esponer las principales, que bien conocidas darán esplicaciones de aquellas que no refiéramos.

Escopeta de viento.—Su parte principal es una culata de metal, hueca y muy sólida, provista de una válvula en su parte superior, que se abre de fuera adentro.

Se introduce el aire en esta culata por medio de una pequeña bomba comprimente, que se adapta á tornillo sobre la culata, y á la que se sustituye el cañon de la escopeta que igualmente se le atornilla.

Comprimido el aire, y obrando por su resorte sobre todos los puntos del interior de la culata, mantiene la válvula cerrada; pero abriendo el mecanismo de la llave por un corto instante esta válvula, deja escapar con velocidad una cantidad de aire, que arrastra ante si la bala introducida anteriormente en el cañon. La válvula se cierra prontamente por la presion del aire, y de este modo se pueden disparar cinco ó seis tiros sin cargar de nuevo la culata.

Fuente de compresion.—Es un vaso de paredes gruesas (Figura 5) el cual se llena de agua hasta

AB. CD es un tubo que comunica hasta el fondo del vaso, y que está fijo en **E**, en la parte inferior de una canilla cuya llave es **F**. Se coloca en **G**, una bomba semejante á la (*Figura 6*) pero provista de una válvula que habriéndose de alto abajo deja penetrar el aire en el vaso sin permitirle salir. Este aire atraviesa el agua, y vá á colocarse en el espacio que se encuentra sobre ella, donde bien pronto se condensa. Despues de cierto número de golpes de émbolo, se cierra la llave, y se sustituye á la bomba un saltadero *h*. El aire comprimido ejerce por todas partes una presión considerable: si se abre la llave **F**, el agua se precipita por el saltadero bajo la forma de chorro que se eleva, tanto mas cuanto mas aire se ha introducido en la capacidad del vaso.

Fuente de Heron.—La fuente de Heron no es mas que una modificación de la precedente, en la que el aire se halla comprimido por el mismo juego de la máquina.

La *fig. 7* representa este aparato: es un vaso, dividido en tres cavidades, la primera **ABCD**, forma un pilon; la segunda **CDEF**, es un depósito en que se introduce agua por el agujero *a* que en seguida se cierra exactamente, *ik* es un tubo terminado en cono que baja hasta el fondo del depósito, y que tiene una llave; **EFGH** es una tercera cavidad cerrada como la anterior, y que está llena de aire comunica con **ABCD**, por el tubo *pq*, y con **CDEF**, por el tubo *rs*.

Cuando se vierte agua en la cavidad superior, el líquido corre por el tubo *pq*, á la cavidad inferior. El aire que está contenido en ella se reduce á un menor espacio, así como el de **CDEF**, con quien está en comunicacion. Este aire en virtud de la fuerza elástica que adquiere entonces, comprime la superficie del agua en la parte **EFGH**, y obliga al líquido á salir fuera por el tubo *i* bajo la forma de saltadero.

Se dan diferentes formas á la fuente de Heron.

pero su mecanismo depende del mismo principio. Esta máquina se atribuye á Heron que vivia cien años antes de J. C. Los Sres. Girard han empleado este aparato para construir una lámpara muy ingeniosa que han denominado *lampara hidrostática*, y que teniendo un depósito de aceite por cima del foco de la luz tiene una gran ventaja sobre las demás lámparas conocidas hasta entonces.

Ludion ó diablillo cartesiano.—Se llama así una pequeña figura de esmalte sostenida en el agua por una ampolla de cristal horadada por un pequeño agujero en su parte inferior proporcionada de tal modo al peso de la figura, que pueda mantenerse en equilibrio en la superficie del agua. Se coloca el ludion en un vaso cerrado con un tornillo ó un pedazo de vejiga. (*Figura 8*) Si se comprime la vejiga entra el agua en la ampolla por la pequeña abertura, y comprime el aire que contiene; entonces aumentando de peso la figura se dirige á la parte inferior del vaso. Si se deja de apretar la vejiga, el aire comprimido, rechaza al agua fuera de la ampolla, y la figura vuelve á la superficie del líquido.

Máquinas aspirantes.—La construcción de estas diversas máquinas está fundada sobre la impenetrabilidad y elasticidad del aire. Se conoce la construcción del fuelle ordinario; lo que en él se llama *alma del fuelle* es una válvula que se abre de fuera adentro, y permite la entrada del aire cuando sus dos hojas se separan. Cuando después se aproximan se cierra la válvula, y el aire comprimido se escapa por el tubo con una gran velocidad.

A este fuelle, de que todavía se sirven los herreros, se ha sustituido en las fabricas, una especie de bombas de aire que se llaman *fuelles de émbolo*. Su uso muy ventajoso ya, lo será aun mas, si se llega á mejorar su construcción de modo que impida al aire salirse entre la plancha móvil, y las paredes de la caja.

Máquina neumática.

Esta máquina, cuyo objeto es hacer el vacío, fué inventada por Otto de Guericke por los años de 1650 ; pero fué desde luego perfeccionada por muchos físicos, y notablemente por Hawksbéo. La que hoy está en uso se compone de dos cuerpos de bomba semejantes á los representados en la *figura 9*. PP' es un embolo que se mueve frotando en el cuerpo de bomba ABCD por medio de la regla *t* ; el embolo tiene en *s* una válvula de metal muy ligera que se abre de abajo á arriba : esta se levanta cuando la presión que se ejerce bajo el embolo es mayor que la presión exterior : cuando esta le escede la válvula queda cerrada.

El cuerpo de bomba ABCD tiene una válvula *eou* que hace mover el embolo, y que por esta razón se llama *válvula mecánica*. Cuando el embolo sube, la válvula y el rodete *e* se apoyan contra la plancha superior del cuerpo de bomba : pero como el embolo se desliza con fuerte rozamiento á todo el largo del mango de la válvula, resulta de aquí, que cuando desciende la arrastra consigo, y el tronco de cono *e* cae en la abertura de la misma figura *a* que está por debajo ; la cierra y se halla comprimida por el embolo, que llegando al fin de su trayecto, se aplica exactamente sobre el plano inferior del cuerpo de bomba.

En la parte inferior del cuerpo de bomba, hay un conducto *aá* que lleva en una de sus estremidades un paso de tornillo destinado á recibir las campanas y demas vasos en que se quiere practicar el vacío. Esta estremidad se abre en medio de la platina TT de la máquina ; esta platina está formada de un disco de cristal bien plano, de algunas líneas de espesor, y sólidamente pegado á una fuerte plancha de metal : su objeto es recibir las campanas, cuyos bordes son muy planos, y que en las cuales se quiere hacer el vacío. La *figura 9* representa la platina, ocupada por una campana C.

Si suponemos ahora que el émbolo esté en la parte mas alta del cuerpo de bomba, que las válvulas estén abiertas, y que el aire que está en la campana y en el conducto, tenga la misma fuerza elástica que el aire exterior, es evidente que cuanto descienda el émbolo la válvula del fondo del cuerpo de bomba se cerrará, y el aire no podrá pasar del cuerpo de bomba á la campana; pero entonces este aire comprimido por el émbolo escapará por la válvula de este, y no quedará ninguno cuando el émbolo se halle en su parte mas baja; esto es, cuando se aplique exactamente sobre el fondo del cuerpo de bomba. Levantandose el émbolo, se haria despues el vacio entre él y el cuerpo de bomba, si las válvulas permaneciesen cerradas; pero la válvula del cuerpo de bomba se abre al punto que el émbolo se levanta, y el aire contenido en la campana y el conducto viene á ocupar el vacio en tanto que la válvula del émbolo permanece cerrada por ser mayor la presion exterior que la interior. Si suponemos que la capacidad del cuerpo de bomba sea por ejemplo la vigésima parte de la campana y del conducto, es claro que no pasará al cuerpo de bomba sino $\frac{1}{20}$ del aire cada vez que se levante el émbolo. Cuando este vuelve á bajarse la válvula del cuerpo de bomba se cierra, y el aire contenido se comprime cada vez mas, y cuando su elasticidad llega á ser mayor que la del aire exterior levanta la válvula del émbolo, y se escapa á la atmósfera. Un nuevo golpe de émbolo hace salir $\frac{1}{20}$ del aire que resta, y se vé que continuando en mover el émbolo se harán salir á cada golpe $\frac{1}{20}$ del resto, y asi sucesivamente, y nunca podrá verificarse el vacio total; puesto que tomando la vigésima parte de una cantidad, despues la vigésima del resto, y asi sucesivamente, nunca podrá tomarse entera esta cantidad. Sin embargo puede reducirse el aire de la campana ó no tener mas que una debilissima elasticidad. En las mejores máquinas se enrarece hasta un punto inconcebible.

Al principiar á hacerse el vacío el aire encerrado en el recipiente tiene la misma fuerza elástica que el aire exterior, pero cuando está hecho el vacío la presión exterior no está equilibrada por ninguna otra, y es menester hacer un esfuerzo de más de dos libras por cada media pulgada cuadrada de superficie del émbolo; de donde se vé que cuanto mayor sea la superficie de este, más considerable deberá ser el esfuerzo para levantarlo. Este inconveniente se evita poniendo á la máquina dos cuerpos de bomba, (*fig. 9.—2.^a*) Entonces se equilibra por sí misma la presión de la atmósfera. Los mangos de los dos émbolos son dentados, y engranan en el mismo piñón, de suerte que cuando uno sube desciende el otro. El movimiento se comunica por medio de un manubrio.

La llave de esta máquina es una canilla que tiene dos aberturas, una que atraviesa como en una llave ordinaria, y otra longitudinal que se cierra con un tapon de metal. Cuando se ha hecho el vacío en el recipiente, y que hay necesidad de conservarlo, se tiene cuidado de volver la abertura longitudinal al lado del cuerpo de bomba, y cuando se quiere soltar el aire se le vuelve hacia el lado de la campana, y se quita el tapon de metal.

La *probeta*, cuyo objeto es indicar á cada instante la presión del aire del recipiente, es unas veces un *barómetro truncado*, y otras uno ordinario que se cubre con una campana, que está en comunicacion con el conducto de la máquina *fig. 9.—2.^a* Esta comunicacion puede abrirse y cerrarse por medio de una llave. Cuando el barómetro es truncado se construye solamente de 7 pulgadas de longitud, y en este caso no empieza el mercurio á descender sino cuando la presión del aire encerrado en el recipiente, se ha reducido á la cuarta parte de la presión atmosférica.

Cuando se construye la probeta es bueno formarle una *garganta*, hacia el extremo cerrado, porque el aire al entrar súbitamente echa fuera con violen-

cia al mercurio que sin esta precaucion pudiera quebrar el extremo del tubo.

Máquina de compresion.

Esta máquina tiene por objeto condensar el aire. Está formada de dos cuerpos de bomba análogos á los de la máquina neumática, con la sola diferencia de que en la máquina de compresion se abren las válvulas en sentido contrario, es decir, de alto á bajo. El embolo al bajar comprime el aire, y le obliga á pasar al recipiente, y al levantarse el aire del recipiente comprime la válvula del cuerpo de bomba y la mantiene cerrada: pero comprimiendo el aire exterior la válvula del émbolo la abre, y entra en el cuerpo de bomba, y pasa al recipiente, y asi en los demas golpes de émbolo.

La probeta de esta máquina es un tubo, recto cerrado en su estremidad superior, lleno de aire é introducido por la otra en un vaso, que contenga mercurio. Antes de poner en juego la máquina, el aire del tubo está bajo la presion atmosférica, y el mercurio en su interior está al mismo nivel que el exterior, pero á medida que la presion aumenta, disminuye el volúmen del aire, y se reduce sucesivamente á la mitad, el tercio &c. de su volúmen primitivo, y es facil juzgar segun la ley de Mariotte si está bajo una presion de dos, tres, ó mas atmósferas. Es necesario observar que el aire del recipiente sostiene una presion mayor que el aire del tubo, en todo lo que la columna de mercurio se eleva sobre el nivel exterior.

Movilidad.—Todos los cuerpos de la naturaleza por grandes ó pequeños que sean ocupan un lugar en el espacio, esto es, sus diversas partes corresponden á diversas partes del espacio en que estan colocados.

Los cuerpos se encuentran ademas á una cierta distancia unos de otros, ó lo que es lo mismo, los separa una mayor ó menor parte del espacio. Si esta distancia es imperceptible á la vista, y general-

mente á los sentidos del hombre se dice que se tocan

Supuesto esto se conoce que los cuerpos pueden variar, ó perseverar en su estado 1.^o relativamente al lugar que ocupan en el espacio 2.^o con relacion á la distancia que separa los unos de los otros. De aquí nacen las ideas generales de movimiento y de reposo.

El movimiento es el estado de un cuerpo, que tomado sucesivamente en distintos tiempos, no ocupa las mismas partes del espacio por las mismas partes del cuerpo, ó que aun cuando las ocupe se encuentra á una distancia diferente de los cuerpos que le rodean.

El reposo, por el contrario, es el estado de un cuerpo que tomado en diversas épocas de tiempo, ocupa las mismas partes del espacio por los mismos puntos materiales, ó que ocupando, ya partes diferentes por los mismos puntos, ya unas mismas partes por puntos diferentes, se encuentra siempre á una distancia igual de los cuerpos inmediatos.

Por estas definiciones se conocerá facilmente, que deben ecsistir muchas especies de movimiento y reposo. Las principales son el *movimiento absoluto y relativo, el reposo absoluto y relativo.*

Hablemos desde luego de los movimientos absoluto y relativo. Un cuerpo en movimiento absoluto ocupa en diversas épocas diversos puntos del espacio; permanezca ó no á la misma distancia de los cuerpos inmediatos, y sean ó llevado por el movimiento de un cuerpo mas considerable que lo arrastre consigo, ó bien se mueva por movimiento propio. Asi, por egemplo, la tierra girando en medio del espacio tiene, no solamente un movimiento absoluto, sino que todos los cuerpos de menor volumen, colocados en su superficie, como los árboles, las casas, ó bien contenidos en su interior, se mueven con un movimiento absoluto. Sin embargo la primera parece solo moverse por su propio impulso, mientras que los demas cuerpos inmóviles, relativamente a esta, participan simplemente de su movimiento.

Pero puede suceder, que un cuerpo impelido por un movimiento, absoluto cambie de lugar relativamente á otro cuerpo que forme parte del mismo sistema, y sea arrastrado al mismo tiempo y por la misma fuerza. Tal es un hombre que se pasea en la tierra, un navio que hiende los mares, una flecha ó un cohete que se eleva en los aires para caer en seguida. Esta especie de movimiento se llama movimiento relativo.

Algunas veces un cuerpo está en movimiento relativo con otro que tambien esta en movimiento relativo. Tal es por egemplo el movimiento de un hombre que se pasea sobre la cubierta de un buque, el de un pájaro que saltase á las manos de este hombre &c. En todos estos casos se conserva al movimiento el nombre simplemente de relativo sin añadir otro que esplique la complicacion de movimientos.

Se llama reposo absoluto al estado de un cuerpo que considerado en muchos instantes diferentes, ocupa siempre las mismas partes del espacio, por las mismas partes del cuerpo; y reposo relativo el estado de aquel cuyas partes no corresponden constantemente á las mismas partes del espacio, estando siempre á igual distancia de los cuerpos que la rodean. Tal es por egemplo un hombre inmóvil sobre la tierra. La esfera terrestre girando en medio del espacio, lleva al hombre en su movimiento de rotacion, que tambien se mueve en medio del espacio, pero relativamente á la tierra no cambia de lugar puesto que se halla siempre á la misma distancia del suelo que pisa, de las paredes, y árboles que le rodean &c. está pues en reposo; pero este reposo es relativo.

Dedúcese de nuestra definicion, y del egemplo citado, que al reposo relativo acompaña siempre el movimiento absoluto ó relativo. Efectivamente el reposo relativo no se verifica, sino cuando un cuerpo colocado en una periferia esférica, cúbica, cilíndrica &c. del espacio ocupa despues otra periferia semejante; luego este cambio de periferia supone una variacion de lugar, y esta un movimiento: pu-

diendo solo haber diferencia en los movimientos, origen de estas variaciones. Este movimiento puede ser absoluto, tal es el del ejemplo anterior. El hombre inmóvil en la tierra, está en movimiento absoluto, porque la tierra misma está en movimiento absoluto. Lo mismo sucede con un hombre tendido en una cama; la cama está en movimiento absoluto, y reposo relativo, y el hombre inmóvil en este lecho se encuentra en el mismo estado. Pero el hombre inmóvil en un caballo, en un carruaje, en un buque, estará á la vez en movimiento relativo porque lo son los movimientos de estos tres cuerpos.

Puede decirse respecto al reposo absoluto, que no existe en la naturaleza aquel reposo, que supone la idea de una privacion total de movimiento, de una permanencia real del cuerpo en un punto inmutable del espacio, de una coincidencia continua de cada punto del cuerpo con cada punto correspondiente del lugar penetrable que ocupa; esta es una idea tan abstracta como lo es la idea de la extension; pero es necesario suponerlo para hacerse cargo de lo que se entiende por reposo absoluto.

Sin embargo, no es imposible que un cuerpo ocupe por algunos instantes la misma parte del espacio penetrable. Supongamos, por ejemplo, la tierra inmóvil; el mar que no es sino una parte del globo terrestre, participará de esta inmovilidad; un navio que yenda la superficie de sus aguas estará entonces en movimiento absoluto, y cualquiera hombre en este buque estará en movimiento relativo. Esto supuesto, si uno de los pasajeros marcha sobre la cubierta desde proa á popa con una velocidad absolutamente igual á la que lleva el navio, si además este hombre dirige sus pasos en un sentido diametralmente opuesto al de la navegacion, y que esto se verifique en una embarcacion, que vaya hácia el. Este, resultará que ocupa los mismos puntos del espacio, y que no habrá realmente variado de lugar. Este hombre en verdad estará en un reposo absoluto aparente. En efecto, si un observador colo-

cado á cierta distancia en la orilla, y provisto de un antejo con el cual pueda ver este hombre en el navio, lo dirigiese al individuo de que hablamos, le veria inmóvil, y de la misma magnitud, á pesar del alejamiento de la embarcacion, y de la disminucion progresiva de los demás objetos.

Verdad es que la suposicion de la inmovilidad de la tierra, y por consiguiente del movimiento absoluto del barco, no es esacta, pero poco importa la falsedad de la hipótesis, cuando solo hemos querido dar idea de un reposo absoluto producido por la combinacion de dos movimientos, uno absoluto y otro relativo, iguales en velocidad y diametralmente opuestos en direccion.

Como no hay grados ni diferencias en el reposo, no se distinguen en muchas especies, pero el movimiento que admite estas, y es susceptible de aquellas, puede bajo este doble aspecto, subdividirse 1.^o en rectilíneo ó curvilíneo; 2.^o en retardado, uniforme ó acelerado.

Las dos primeras subdivisiones, llevan consigo sus definiciones. El movimiento rectilíneo es el que se hace en linea recta, sea cualquiera su direccion. El curvilíneo es el que se verifica en linea curva, y se representa por las oscilaciones de un péndulo, la carrera de un caballo en un circo &c.

El movimiento es uniforme, cuando un cuerpo recorre un espacio cualquiera en un tiempo dado, y en un segundo espacio de tiempo otro igual de la misma longitud. Si no sucede esto subsistiendo el movimiento, entonces es acelerado ó retardado. Si una bola arrojada en el suelo sobre un tapiz, sobre un plano cualquiera, recorre dos varas en un segundo y cinco pies en otro, el movimiento es retardado. Si esta misma bola arrojada desde una altura y dirijiéndose perpendicularmente al suelo, recorre un intervalo mas considerable en el segundo minuto, que en el primero, el movimiento se llama acelerado.

La aceleracion y la retardacion pueden á veces

combinarse con la uniformidad del movimiento. Esto sucede cuando los intervalos corridos son proporcionalmente iguales á los tiempos. Asi es que si la bola que rueda por un tapiz, y que en el primer segundo ha recorrido dos varas, y cinco pies en el segundo, recorre cuatro en el tercero, y tres en el cuarto &c. y asi sucesivamente, su movimiento es *uniformemente retardado*. Si esta misma bola, cayendo desde muy alto recorre en el primer segundo un espacio representado por 1; en el segundo otro representado por 3 en el tercero uno igual á 5 en el cuarto uno igual á 7, y asi los demas, el movimiento se llamará *uniformemente acelerado*.

De la inercia.—Se dá el nombre de inercia á la propiedad que todos los cuerpos tienen de persistir en su estado de quietud ó de movimiento. Efectivamente un cuerpo movido, ó quieto permanece en este estado á no ser que una fuerza estraña venza la de la inercia. Pero sucede siempre, que un cuerpo puesto en movimiento disminuye gradualmente de velocidad, hasta que al fin se detiene por si mismo. Este cambio de estado se verifica solo, por la accion de las dos resistencias, que continuamente se oponen al movimiento: una es la resistencia del medio en que se mueve el cuerpo, sea el agua ó el aire, y la otra el rozamiento pues que todo cuerpo que se mueve frotta necesariamente con otro, y este le opone cierta resistencia. La prueba de que ecsisten estas dos resistencias es que si el medio es menos denso, y por consecuencia menos resistentes (tal como el aire relativamente al agua) ó si el plano en que se mueve una bola está mas pulimentado que otro (tal como una mesa de marmol, relativamente á la de un billar) el movimiento impreso se conserva mucho mas tiempo. Solamente en el vacio persiste eternamente, y tal es sin duda la causa del movimiento inalterable de los planetas. En cualquiera parte que no haya vacio, semejante fenómeno seria imposible, y el movimiento perpétuo tan repetida y vanamente investigado es una quimera que debe colocarse entre la

piedra filosofal y la astrologia judicaria. En cuanto á los aparatos inventados como pruebas del movimiento perpétuo, tales como el instrumento llamado movimiento perpétuo de Zamboni, su mecanismo consiste en hacer obrar perpetuamente una fuerza que á cada esfuerzo produzca un efecto; pero hay en esto apariencia y no realidad de movimiento perpétuo, y las ideas de los que lo han investigado se ha fijado en buscar una fuerza que obrando un instante inapreciable, y una sola vez produzcan el movimiento que buscan.

Gravedad.—Cuando las acciones sometidas á las leyes ordinarias de la mecánica nos presentan cuerpos en movimiento que tienden á dirigirse unos á otros, conocemos los agentes exteriores que impelen ó atraen estos cuerpos de modo que disminuyan sus distancias respectivas: pero, observando la naturaleza reconocemos una multitud de fenómenos en los que basta que dos cuerpos se encuentren próximos uno á otro, para que se acerquen sin que exista alrededor de ninguno de ellos causa sensible de movimiento. A nuestra vista los fenómenos se verifican como si los cuerpos se atrajesen ó tendiesen por si mismos á reunirse y aprocsimarse. Esta especie de tendencia mútua se ha designado con la palabra atraccion, que reducida á su mas simple y justo valor designa solamente el hecho, y no la causa.

Pueden desarrollarse en ciertos cuerpos causas de atraccion, por egemplo, frotando con un paño una barra de lacre se le comunica la propiedad de atraer los cuerpos ligeros, que se le representan como pequeños pedazos de papel. No es nuestro objeto hablar ahora de esta especie de atraccion, que es accidental, sino indicar el principio de esta ley universal en cuya virtud se atraen los cuerpos, y se dirigen unos á otros los globos celestes: en una palabra hablar de la atracción. Newton y Kepler habian demostrado que los cuerpos celestes se atraian, pero Cavendisk

ha probado que todas las masas se atraian en la superficie de la tierra.

El aparato de que se servia para esta prueba es muy simple: consiste en un brazo de palanca de seis pies de longitud; esta palanca se halla suspendida en una posicion horizontal por un pequeño hilo de 40 pulgadas inglesas de largo, y que tiene en cada estremidad una bala de plomo de cerca de dos pulgadas de diámetro. Todo el aparato se halla encerrado en una caja de madera, destinada á precaverlo de las agitaciones del aire.

La atraccion es la causa que impide á las partes constituyentes de nuestro globo á dispersarse en los aires en el que está aislado por todas partes, y que hace que las porciones de su superficie que son llevadas á grandes distancias, caigan al momento que les falta el sosten. A este fenómeno se ha dado también los nombres de gravedad, gravitacion, pesadez, y fuerza centrípeta.

Todos los cuerpos están sometidos á la gravedad, que los dirige al centro de la tierra. Si engañados por nuestros sentidos nos abstuviésemos de todo examen y reflexion, sobre los fenómenos que hieren constantemente nuestra vista, pensariamos con Aristóteles que hay en la naturaleza cuerpos verdaderamente ligeros, que no están sometidos á la gravedad, como lo parecen los globos areostáticos, el humo &c. que se elevan en los aires: pero bien pronto nos convenceriamos analizando el fenómeno en todas sus circunstancias. El humo ó el globo no se elevan en los aires sino por que son mas ligeros, que un volumen de aire igual al suyo, como se observa en el corcho, que siempre sube á la superficie del agua en que se sumerge.

Una bugia, bajo el recipiente de la máquina neumática, se apaga cuando se hace el vacio, y el humo en vez de elevarse como en el aire, desciende. Del mismo modo el globo no se elevaria si se pudiese hacer el vacio al rededor suyo.

Todos los cuerpos son igualmente dominados por

la gravedad, que á cada momento obra^r sobre alguna de sus moléculas (1)

De donde se deduce que la velocidad impresa á un cuerpo que cae no depende de la masa que la constituye, puesto que es igual en la reunion de moléculas de un cuerpo, á la que seria para cada una en particular.

Habrá mas ó menos moléculas en movimiento segun sea mayor ó menor la masa del cuerpo, pero la velocidad comun será la misma en ambos casos. Sin embargo notamos que una bola de corcho no se dirige hácia la tierra con tanta rápidez como una de plomo, aunque desciendan de la misma altura. Esto indujo á los antiguos á pensar que en los cuerpos, la gravedad seguia la razon directa de las densidades, y que un cuerpo cuya densidad era doble de la de otro se precipitaba hacia la tierra con doble velocidad (2)

Galileo fué el primero que demostró la falsedad de esta última asercion haciendo caer desde la misma altura (desde el vértice de la torre de Pisa) bolas de materias diferentes como oro, plomo, marmol, cobre, cera &c. y observó que estos cuerpos no caian con velocidades proporcionadas á sus masas. La bola de cera, aunque incomparablemente menos pesada que la de metal, solo habia sido adelantada en cuatro dedos por las demas en el momento en que llegaban al suelo (3)

(1) Es muy esencial no confundir la gravedad con el peso de un cuerpo. El peso es el esfuerzo con que un cuerpo tiende á descender. Este esfuerzo es proporcional á la cantidad de materia propia que contiene el cuerpo. Cada particula de materia tiene una tendencia á precipitarse al centro de la tierra; esta tendencia es la gravedad. Ella es igual en todas las moléculas é independiente de su número. De aqui es que mientras mas particulas tiene un cuerpo mayor es su peso, resultando este efecto de la suma de todas las tendencias de las partículas.

(2) Epicuro y Lucrecio, su sectario, no eran sin embargo de esta opinion. Vease *Lucr. lib-2 v. 238*

(1) Galiley *Mech. dial. 1.*

Desaguliers confirmó tambien por un gran número de esperimentos, que la gravedad no seguia la razon directa de las masas. Dejó caer desde lo alto de la cúpula de S. Pablo de Lóndres dos bolas, una de cristal y otra de cuero henchido de aire, cuyos pesos estaban en razon de 19 á 1. La mas pesada cayó en seis segundos y $\frac{1}{4}$, al paso que la otra empleó diez y ocho y $\frac{3}{4}$ en recorrer el mismo espacio, que era de 272 pies ingleses. La velocidad con que estos cuerpos cayeron no siguió la relacion de sus masas, porque siendo esta última de 19 á 1, se halló que era de 3 á 1 la de su velocidad.

La diferencia que se observa en estos casos es causada por la resistencia del aire, que se opone mas facilmente á un cuerpo ligero, que á otro que sea mas pesado en igual volumen. Se ve que los cuerpos caen con la misma velocidad si se quita la resistencia del aire, y la esperiencia inventada por Newton para probarlo no puede ser mas decisiva (1)

Encierrese en un tubo de cinco á seis pies de largo un pedazo de plomo, otro de papel, barbas de pluma &c. hágase despues el vacio en este tubo, y y vuélvase alternativamente de arriba abajo: no se notará ninguna diferencia sensible en el tiempo de la caída de los cuerpos, pero si se hace entrar un poco de aire por la llave B, (*Figura 11*) se observará, que volviendo nuevamente el tubo, las barbas de pluma, y el papel caerán con menos rapidez que el metal, y su caída será tanto mas lenta cuanto mayor cantidad de aire se deje penetrar.

Para comprender la razon de este fenómeno, supongamos que el plomo pese doce veces mas que el papel, sus masas estarán en relacion de 12 á 1. Podemos decir entonces que el plomo se compone de 12 grados de masa, y que el papel no contiene sino solo 1: pero estando cada grado de masa animado por uno de gravedad, el plomo está incitado por 12 grados de gravedad, y por uno solo el pa-

(1) Newton, princ. philos. nat.

pel. A pesar de esta diferencia deben moverse en el vacío con igual velocidad, porque doce grados de gravedad aplicados á doce grados de masa para ponerlos en movimiento, no pueden producir mas efecto, que un solo grado de gravedad empleado en hacer mover un solo grado de masa: deben pues moverse con la misma velocidad, cuando no hay obstáculo alguno que se les oponga, y necesariamente estando el tubo vacío deben recorrer su longitud en el mismo tiempo.

Muy fácil es concebir por que no sucede lo mismo cuando el tubo contiene aire. Supongamos que la masa de fluido que contiene, opone una resistencia propia para destruir, en cada uno de los cuerpos que caen, medio grado de gravedad: el papel perderá la mitad de la fuerza, mientras que el pedazo de plomo que tiene 12 grados de peso ó veinte y cuatro medios grados no perderá sino una vigésima parte del suyo. Este será menos retardado en su caída, y mas pronto que el papel, y este con mas velocidad que las barbas de pluma de que hemos hablado.

Queda aun todavía que examinar cuales son las leyes de la velocidad que puede adquirir un cuerpo cayendo de diferentes alturas, y si la intensidad de la gravedad es la misma en todos los climas de la tierra: pero como para discutir estas leyes son necesarias nociones, que aun no hemos podido dar espondremos en la *dinámica* lo que nos queda que decir para completar esta parte.

CAPITULO TERCERO.

Nociones de estática.

CENTRO DE GRAVEDAD.

Hemos dicho que la gravedad obra sobre todos los cuerpos, y sobre las pequeñas partículas de los cuerpos, porque cada una de estas, si se separa de una masa, y se le coloca en el vacío abandonada á sí misma caería, aunque aislada, con igual fuerza que antes de separarse del cuerpo: efectivamente las esperiencias diarias prueban que el peso de un cuerpo no varía despues de dividido.

La direccion de la caída libre de los cuerpos indica la de la gravedad, y esta direccion es en todos los puntos de la tierra perpendicular á la superficie de las aguas tranquilas y como la superficie de las aguas siguen por todas partes la convexidad del globo, resulta que la direccion de la gravedad debe variar de un lugar á otro, pero su cambio no aparece sensible sino á distancias muy considerables. Asi es que para cada cuerpo puede considerarse la gravedad obrando segun direcciones paralelas entre sí, y *verticales á la superficie de las aguas en el lugar de la observacion*. Los esfuerzos de la gravedad sobre cada partícula de un cuerpo, son otras tantas pequeñas fuerzas paralelas, que pueden reducirse á una sola resultante, que es el peso del cuerpo, y cuya direccion pasará por un punto, que siempre será el mismo, cualquiera que sea la posicion que se dé al cuerpo; este punto es el *centro de gravedad*.

El centro de gravedad es un punto de tal modo colocado que todas las partes del cuerpo se hallan en equilibrio alrededor dél.

En cualquier posicion el cuerpo se hallará en equilibrio con tal que esté suspendido por este punto ó termine en él la prolongacion de la línea de suspension.

Si todos los cuerpos fuesen regulares y homogéneos, su centro de gravedad se confundiria con el de figura, pero es raro que suceda asi; de donde se deduce que el centro de gravedad se halla siempre más ó menos distante del centro de figura. Los métodos que sirven para determinarlo son *geométricos* ó *mecánicos* pero como los primeros no corresponden á la Física esperimental solo nos ocuparemos de los medios mecánicos.

Tómese un disco de madera ó de metal del mismo grosor y peso en todas sus partes, atravesese su centro por un eje, y se verá que el disco permanece en cualquiera posicion que se coloque (*fi. g. 12*)

Si se hace pasar el eje por B, ó por un punto cualquiera, que no sea el centro de gravedad, el punto A, bajará cuanto sea posible, y si se desvia de la posicion representada en la *fig. 13* el centro de gravedad recobrará su situacion á no ser que el punto A, no se incline directamente sobre B, que es el punto de apoyo. Entonces el cuerpo permanecerá en equilibrio como si el centro de gravedad se encontrase en el lugar mas bajo, porque el punto A que tiende á decender no habiendo mas razon para pasar por el arco D, que por el arco C es claro que hará esfuerzo para caer por la línea AE; pero esta línea pasa por el punto de apoyo B, capaz de soportar este esfuerzo, y por consiguiente el cuerpo permanecerá inmóvil. Si se inclina un poco el punto A, hacia E, ó D, el cuerpo seguirá esta direccion, y despues de algunas oscilaciones quedará en equilibrio como en la *figura 13*.

De donde resulta que un cuerpo, cualquiera que sea su figura, no puede caer si está sostenido por su cen-

tro de gravedad: y que un cuerpo en equilibrio tiene su centro de gravedad en la misma línea, que el punto de apoyo, y el centro de la tierra.

Se dá el nombre de equilibrio *estable* á aquel en que el centro de gravedad se encuentra debajo del punto de suspension, porque el cuerpo puede recobrar por sí su posición, y se llama por el contrario equilibrio *inestable* cuando el centro de gravedad se halla sobre el punto de apoyo, por que el cuerpo no puede por sí recuperarse su posición.

Las mismas propiedades tienen los cuerpos homogéneos y de figura regular, sean cilíndricos, triangulares, ó de otra cualquier figura.

Una esfera homogénea permanece en cualquiera situación que se les dé sobre un plano horizontal: y permanecerá en equilibrio sobre la punta de una aguja colocada verticalmente, si la prolongación de esta aguja pasa por su centro.

La esfera y los demás cuerpos de forma regular si son homogéneos se conducen como si toda la materia de que se compone se hallase reunida en un solo punto que fuese centro de su figura.

Esto mismo parece verificarse en el centro de gravedad de todos los cuerpos de cualquier figura.

Para encontrar el centro de gravedad de un cuerpo cualquiera que sea su figura, por ejemplo, del triángulo ABC (*Figura 14*) suspéndase este cuerpo por una de sus estremidades A, y colóquese un hilo á plomo que pase por este punto. El centro de gravedad se encontrará necesariamente en la línea de suspension que no es otra que el hilo AD; ¿pero que punto de esta línea ocupará? Para determinarlo es necesario suspender el cuerpo por otro punto como C. El centro de gravedad se encontrará en la línea CE del hilo perpendicular; pero hallándose á la vez sobre las dos líneas no podrá encontrarse sino en la intersección G, y el cuerpo suspendido por este punto permanecerá en perfecto equilibrio.

No hemos fijado la atención en el grueso del cuer-

po que es muy esencial: para remediarlo y conocer el punto real en que se encuentra el centro de gravedad, basta hacer la misma operacion al otro lado del cuerpo, y determinar la interseccion de las dos nuevas líneas formadas por el hilo perpendicular. La línea que atraviesa el espesor en el punto G, es el eje de gravedad, y el punto medio de esta línea es su centro de gravedad.

Vamos ahora á examinar alguno de los principales experimentos fundados sobre el centro de gravedad: ellos bastarán para dar la esplicacion de los demas hechos de la misma naturaleza de que no hablemos.

La figura 15, representa un pedazo de madera redonda que puede hacerse rodar, y que queda en equilibrio en cualquiera posicion sobre un plano horizontal, porque la línea vertical levantada en el punto de contacto pasa siempre por su centro en gravedad. Si se le añade una masa de plomo de un punto de su circunferencia H, se hará variar el centro de gravedad, que no estará ya en o centro de la figura sino en *k*, y el cuerpo no se mantendrá en equilibrio sino en dos posiciones: 1.º Cuando el punto *k* estando en la línea vertical esté lo mas próximo posible al plano. 2.º Cuando hallándose en la misma vertical esté lo mas separado posible del plano; fuera de estos dos casos el cuerpo tomará siempre la primera de estas dos posiciones.

He aquí el fenómeno particular á que dá lugar este cilindro cargado de plomo.

Sea AB (*fig. 16*) un plano inclinado, H el cilindro colocado de manera que el centro de gravedad *k* no se encuentre en la línea ZI, perpendicular al plano AB, sino dentro del ángulo IZB; el cilindro subirá por sí mismo hácia la parte B, hasta que el centro de gravedad descienda lo mas posible, y por consiguiente basta que el cuerpo llegue al punto M.

Para hacer mas cómodamente el experimento, se pone al cilindro un cordón que le impida caerse rodando sobre su circunferencia.

ABCD (*Figura 17*) es un cono doble colocado sobre la parte inferior de las reglas FF, GH, el cual sube por sus estremidades por el plano inclinado que forman estas reglas. Obsérvese cuidadosamente que á medida que las estremidades A y B del cono suben hasta F H, la parte mas ancha en que se encuentra el centro de gravedad describe la línea I R, y por consiguiente el centro de gravedad baja lo mas posible.

Creemos necesario esponer aquí el medio de encontrar el *centro comun de gravedad* de dos ó mas cuerpos.

El centro comun de gravedad de dos cuerpos A y B (*Figura 18*) unidos por una vara inflexible que supondremos por un momento sin gravedad, se encuentra necesariamente en un punto cualquiera de la recta que los une.

Admitamos que estos dos cuerpos son de un mismo peso, de dos libras, por egemplo, y que la distancia AB es igual á cuatro pies, y se encontrará el centro comun de gravedad por el raciocinio siguiente.

La suma de las dos masas A y B, (cuatro libras) es á una de ellas (dos libras), como la distancia de los centros de gravedad de los dos cuerpos [cuatro pies] es á la distancia que separa el centro comun de gravedad del centro del cuerpo A, ó del cuerpo B. Luego el centro comun de gravedad se encontrará en medio de la línea que los une si los dos cuerpos tienen igual peso.

Si lo tienen diferente, B de una libra por egemplo, y A de dos [*Figura 19*] suponiendo de tres pies la línea AB, esto es, la distancia del centro de gravedad de A al centro de B, la fórmula precedente aplicada á estos nuevos casos, dará el centro comun de gravedad. Nosotros diremos la suma de las masas A y B (tres libras) es á la masa B, [una libra] como la distancia AB (tres pies) es a la AX que será un pie.

Si en vez de tres pies se toma otro número, sesenta por egemplo, las distancias de los centros parti-

culares de gravedad al centro comun, variarán en las mismas relaciones y se hallarán A y B alejados del punto C, uno veinte, y otro cuarenta, siendo entre si estos dos ultimos números como uno es á dos.

Apliquemos este principio á la investigacion del centro comun de gravedad de un sistema de cuerpos. De tres por ejemplo representados por ABC (*Figura 20*) de dos libras cada una.

Los medios anteriormente indicados nos daran fácilmente el punto G centro comun de dos de estos cuerpos tomados casualmente, B y C. Consideremos el punto G como si en él estuviese reunido el peso de los dos cuerpos B y C, y busquemos el punto X, centro comun de gravedad de G y de A, y por consiguiente el de los tres cuerpos, le encontraremos diciendo: la reunion de los cuerpos B y C en G, [cuatro libras], mas el peso de A (dos libras), es al cuerpo A (dos libras) como la linea GA (doce pies) es á GX. Este último punto X de la recta GA se encontrara á cuatro pies de G, por que seis es á dos como doce es á cuatro.

De aqui se deduce que añadiendo ó quitando uno ó mas cuerpos, cambiara de lugar el centro de gravedad de un sistema de ellos.

Si se coloca un corcho ú otro objeto cualquiera sobre la punta de una aguja, no se mantendrá en equilibrio, hasta que la linea de prolongacion de la aguja pase por su centro de gravedad, lo que será muy difícil de obtener en ciertos cuerpos; pero si se aplica á lados opuestos de este corcho, dos horquillas ó una pequeña figura de hombre con dos bolas de plomo, debajo de su punto de apoyo, como en la figura 21 este cuerpo, guardará el equilibrio sobre la aguja aunque se le mueva, y se mantendrá en ella, sino se desaloja por un sacudimiento violento.

Es fácil observar, que añadiendo las dos horquillas se ha cambiado en la figura el centro de gravedad, que encontrandose lo mas bajo posible en la linea AB, guardará esta posición mientras se le sostenga.

En vez de un corcho puede colocarse una pequeña figura y se hace mas vistoso el experimento.

Colocando en medio de la esfera AB (*Figura 22*) dos círculos móviles DN y FG de los cuales el 1.º tenga en dos puntos cualesquiera opuestos dos ejes que lo unan á la esfera, y el segundo mas pequeño que el 1.º este igualmente sostenida por dos ejes—unidos al primer círculo, y colocadas esactamente en los puntos D y N mitad de los arcos, ADB, ANB de manera que estos puntos, ó ejes si se prolongasen se cortarían en ángulo recto en el punto K, centro á la vez de gravedad, de figura y movimiento, podrá pues fijarse en el punto K sobre el mas pequeño círculo por medio de los radios XYZ, una lámpara que, por pesada que sea, tendrá siempre su llama hacia arriba aunque se le dé vueltas á la esfera en todos sentidos.

De este modo está suspendida la brújula de mar, y así deberian construirse las linternas fijas de los coches que circulan durante la noche

Cuando los cuerpos inclinados, como los cilindros oblongos ABCD *Figura 23*, EFGH, estan colocados sobre un plano horizontal caen del lado á que se inclinan, si su centro de gravedad no les tira en sentido contrario. Así es que Z, centro de gravedad del cuerpo ABCD, descenderá por el arco ZK que tiene por centro el punto D, centro tambien del movimiento del cuerpo cuando cae.

Pero moviéndose C, centro de gravedad del cuerpo EFGH, al rededor del centro de movimiento H, en el arco ZK, no puede caer en H sin elevarse antes á M, y por consiguiente el cuerpo no puede caer por su propia gravedad. Observemos que ZP linea de direccion del cuerpo EFGH, cae dentro de su base.

Los Chinos han encontrado el medio de hacer móvil el centro de gravedad en el interior de una pequeña figura, que ejecuta diversos movimientos semejantes á los ejercicios de un saltarin.

Imagínese una pequeña figura hueca cuyo interior

se halla dividido en dos partes por medio de una plancheta, situada diagonalmente desde las espaldas á la parte interior del tronco, y atravesada de arriba y abajo.

Los brazos y las espaldas se mueven por medio de dos ejes, así como las piernas y los muslos que giran sobre otros dos colocados un poco encima de la parte inferior del tronco. Los movimientos de estas partes están limitados por un hilo, de manera que la figura no puede hacer sino una media vuelta al rededor de los puntos móviles que acabamos de indicar. El interior de la figura contiene una gran cantidad de mercurio, para que el centro de gravedad del sistema del cuerpo, vaya á la parte en que este fluido se reuna; si se coloca la figura sobre el escalon mas alto de una grada, teniendo cuidado de apoyarla sobre sus dos manos, el mercurio se precipitará á la cavidad de la cabeza y transportará á ella el centro de gravedad. No estando este entonces fijo obligará á la cabeza á dar una vuelta sobre los dos goznes de los brazos. Esta vuelta tirará del cuerpo de la figura, que se precipitará sobre los pies, cayendo sobre el segundo escalon. El centro de gravedad se encontrará entonces en la parte interior del tronco poco mas arriba del gozne de los muslos. El cuerpo dará una media vuelta sobre estos dos goznes, y la figura girando sobre si misma se apoyará sobre las manos cayendo sobre el tercer escalon, y así sucesivamente de unos en otros hasta que llega al suelo.

Si se fija una vara AB (Figura 24) en un cubo CD lleno de agua, de modo que la vara apoye por un lado contra el fondo del cubo, y por otro contra el asa FAD , y se hace pasar la hoja de un cuchillo por entre la vara y el asa el cubo permanecerá en equilibrio si se coloca el mango del cuchillo sobre una mesa. Suponiendo en efecto, que el centro de gravedad de este sistema de cuerpos esté en K , el cubo no puede caer á menos que el cuchillo no describa el arco HL , y por con-

siguiente que el centro de gravedad K no describa en sentido contrario el KM. Pero no pudiendo describir este arco sin levantarse luego, el asa permanecerá quieta en esta posición y el cubo no caerá.

Del equilibrio en las máquinas.

Se llama *máquina* todo instrumento destinado á transmitir la acción de una fuerza á cuerpos que no se encuentran en su dirección, de modo que esta fuerza mueva ó tienda á mover los cuerpos á que no se aplica inmediatamente.

Llamase *potencia*, la fuerza que tiene por objeto vencer algún obstáculo, ó mover algún cuerpo y se llama *resistencia* al cuerpo que debe mover ó á la fuerza que contrarresta por medio de la máquina.

Nos proponemos por el momento indicar las relaciones necesarias entre la potencia y la resistencia para que halla equilibrio; y para ello haremos abstracción de los rozamientos, ó de las dificultades que las diversas partes de la máquina pueden experimentar resbalando, ó corriendo unas sobre otras.

Así cuando entren cuerdas en la composición de una máquina, las supondremos desprovistas de peso y perfectamente flexibles.

No será bastante que después de haber dado á una potencia la magnitud que conviene, para producir equilibrio, se aumente una pequeña cantidad de fuerza para romperlo, y poner la máquina en movimiento; será menester añadir á esta potencia la cantidad necesaria para vencer los obstáculos con que nos contamos, y un ligero aumento producirá necesariamente el movimiento.

Se distinguen dos clases de máquinas; unas son *simples*, otras *compuestas*. Las primeras son los elementos de las segundas, y las constituyen por su reunión y sus diversas combinaciones: pero no alterando estas combinaciones las propiedades de las máquinas simples, nos bastará espresar sus leyes para que puedan calcularse todos los efectos de las máquinas compuestas.

Las maquinas simples se reducen al número de tres la palanca, las cuerdas, y el plano inclinado.

De la palanca.

La palanca considerada matematicamente, es una vara inflexible, sin pesadez, recta (*Figura 25*) ó curva (*Figura 26*) y móvil alrededor de uno de sus puntos que está fijo por una causa cualquiera, y al que se dá el nombre de *punto de apoyo, centro de movimiento* ó hypomoclio.

Las tres posiciones diferentes que pueden tener la *potencia, la resistencia y el punto de apoyo* han hecho distinguir tres clases de palancas, distincion inutil para algunos autores, pero que admitiremos sin embargo porque puede facilitar la inteligencia de lo que vamos á decir sobre este instrumento.

Palanca de primer género.

Palanca de primer género es aquella en que la potencia, se halla en una de las estremidades, la resistencia en la otra y el punto de apoyo entre las dos, cualquiera que sea la distancia de este punto á las estremidades. Suspéndase por su centro una regla metálica (*Figura 27*) permanecerá en equilibrio; y no se destruirá si añadimos pesos iguales á cada una de las estremidades BF. Lo mismo sucederia, si uno de los brazos de la palanca estuviese encorvado (*Figura 28*) con tal que la estremidad B, no estuviese mas lejana que F del centro C: es decir que esta palanca cualquiera que fuese su forma, obrase del mismo modo que si fuese recta como lo indica la parte punteada de la figura. No hay segun esto necesidad de considerar mas que las propiedades de la palanca recta representada por la figura precedente.

Si transportamos á M, (*fig. 27*) mitad de BC, el peso colocado en el punto B, no bastará para mantener el equilibrio, un peso igual situado en F; y para obtenerlo de nuevo será preciso colocar en M un segundo peso, semejante al primero.

Si se traslada el peso B á I, mitad de CM será menester añadir en este punto tres pesos iguales para restablecer el equilibrio con F, distante del centro de movimiento, cuatro veces mas que el punto I.

De aquí resulta que habrá equilibrio en una palanca de este género siempre que se le apliquen masas, cuyos pesos sean recíprocamente proporcionales á su distancia del punto de apoyo: esto es que si se ponen por egemplo, 5 libras en la estremidad de un brazo de palanca de una vara de longitud hará equilibrio con una libra colocado en la otra estremidad, á distancia de cinco varas. Generalmente habrá equilibrio siempre que el número que espresa la longitud de uno de los brazos de la palanca, multiplicado por el número que representa el peso, sea uno ó muchos es igual al resultado de la misma operacion por el otro brazo de palanca, lo que se espresa diciendo que los *momentos* de una y otra fuerza sean iguales.

Asi es que la palanca ACB (Fig 29) estará en equilibrio, si en el brazo CB penden los pesos 6, 2, 3, el 1.^o en el punto 7, el 2.^o en el 8, el 3.^o en el 9, mientras que el brazo CA mantenga en los puntos 3, 5, 10 los pesos 5, 6, 4, por que 7×6 (6 42) mas 8×2 (6 16) mas 9×3 (6 27) dan 85 por *momento* ó cantidad de movimiento del brazo CB: cuando 3×5 (15), 5×6 [30], 10×4 [40] dan tambien por momento del brazo CA, el mismo número 85.

Observaremos en esta palanca que siempre que un cuerpo se aleja del centro de movimiento, su accion aumenta en la proporecion espresada y que si se pudiera prolongar suficientemente, el brazo de la palanca conservándole su inflexibilidad, se podria con pesos muy pequeños equilibrar masas inmensas. Sin embargo, los espacios ó arcos corridos por las estremidades de la palanca, teniendo entre si, la misma relacion que los brazos de la palanca, se pierde siempre en movimiento, y por consiguiente en tiempo, lo que se gana en fuerza.

Se pensará quizas que aumentando la potencia de una fuerza á medida que se aleja del centro de mo-

vimiento, aumentará igualmente la presión sobre el punto de apoyo en la misma relación: pero no sucede así, y el punto de apoyo no sostiene más que el peso de la palanca, y el de los cuerpos que se equilibran.

Para convencerse de esta verdad, puede emplearse una máquina (fig. 30) compuesta de dos palancas, una de ellas suspendida por su punto de apoyo por medio de un hilo, fijo en una de las estremidades de la otra palanca móvil, alrededor del punto A.

Se principia por equilibrar el peso de la palanca CD, por medio del cuerpo F del mismo grueso que él si se aplica en seguida á los brazos CD, para que se contrarresten, no habrá necesidad sino de añadir el brazo E, un peso igual á la suma de ellos para mantener el equilibrio de todo el sistema.

Palanca de segundo género.

Palanca de segundo género es aquella en que la resistencia, se encuentra entre la potencia y el punto de apoyo.

Si se fija por una de sus estremidades y despues se aplica á un punto cualquiera un cordón pendiente de uno de los brazos de una palanca de primer género colocada superiormente (Figura 31) tomando en cuenta como en el caso anterior, el peso de la palanca S, se demostrarán las leyes de esta última: estas son tales que si dos libras son el peso que obra como inmediatamente unidos en el punto *b*, distante de *d*, 10 divisiones (lo que dá 2×10), será necesario para formar equilibrio, que valuado en libras y multiplicado por el número de divisiones en que se encuentra colocado, el peso que representa la resistencia, sea igual á 20; y como se encuentra en la cuarta division y el número 5 es el solo que multiplicado por 4 dá 20, la masa R será igual á 5 libras.

Palanca de tercer género.

Hallándose en esta palanca la potencia, entre la

resistencia y el punto de apoyo, basta para obtenerla suponer en la anterior, que la potencia ha ocupado el lugar de la resistencia y recíprocamente (*Figura 32*).

Esta es, segun se ve, la especie de palanca menos ventajosa á la potencia.

Para encontrar la cantidad de peso que oprime el punto de apoyo basta conocer el que colocado en *F*, equilibra *R* alrededor del punto *Z*, considerado como punto de apoyo de una palanca de primer género.

Réstanos decir que los instrumentos que están mas en uso, son palancas de una de las tres especies: tales son las tenazas, las tijeras, las espaviladeras compuestas de dos palancas de primer género: el centro de movimiento comun en las dos palancas que forman las tijeras está en el clavillo, la potencia se aplica á los anillos y la resistencia al cuerpo que debe ser cortado entre los dos filos. De donde se vé que mientras mas próximo á la punta se halle el cuerpo mayor será la dificultad de cortar, y será menor á medida que se aproxima al clavo.

El cuchillo *CM* móvil en la charnela ó centro de movimiento *C*. (*Figura 33*) en que está fijo á la plancha *AB*, representa una palanca de segundo género, cuya potencia está en el mango *M* y la resistencia ó lo que se quiere cortar es la resistencia *R*.

Las pinzas son dos palancas del tercer género cuyo centro de movimiento se halla colocado en el resorte *R*: la potencia que es la mano está aplicada en *PP'* y el cuerpo que sostiene en *Z*, es la resistencia ó el peso (*fig. 34*).

En todo lo que hemos dicho hemos supuesto que las fuerzas son perpendiculares á los brazos de palanca; porque si no lo fuesen, no servirían los principios que hemos establecido.

Si las fuerzas son oblicuas, puede suceder que las dos lo sean igualmente, que una sea mas que otra ó en fin que una sea perpendicular y la otra oblicua y de aqui resultan los tres principios siguientes:

1.º—El efecto de una potencia es el mayor posible, cuando obra perpendicularmente al brazo de palanca. 2.º—Dos fuerzas que obran una contra otra por un brazo de palanca determinado guardan la misma relacion cuando se hacen igualmente oblicuas. 3.º—Si una de las direcciones oblicuas forma con el brazo de palanca un ángulo mayor ó menor que el otro, el que mas se aparta de la perpendicular disminuye mas su potencia siendo todas las demas circunstancias iguales.

La figura 35 representa una palanca AB sostenida en el punto C. Sus estremitades tienen un cordón de que penden los pesos DE. La linea FG indica una muesca en que se hacen mover las póleas HK; en las que se pueden colocar los cordones AD, BE y por consiguiente dar diferentes grados de oblicuidad á los pesos D, E, que sostienen.

Se ponen primero en equilibrio estos dos pesos, en direcciones perpendiculares á los brazos de palanca: despues se dá oblicuidad á la direccion de uno de los dos pesos, haciendo pasar el cordón por la pólea: y se vé entonces que el equilibrio se destruye.

Nuestros lectores agradecerán sin duda coloquemos aquí la traduccion de una de las mas interesantes proposiciones de la obra de Alfonso Borrelli. (*De motu animalium*)

Es una curiosa y agradable especulacion, ecsaminar la proporcion que en el cuerpo de un animal como en una máquina, se encuentra de valuar las potencias que la naturaleza le ha concedido para moverse. Nosotros vemos en los movimientos de los animales la aplicacion de diferentes potencias que mutuamente se auxilian para mover los miembros que algunas veces obran de concierto en un mismo instante; otros sucesivamente para cambiar de direccion, y que finalmente son directamente opuestos y resulta la quietud ó cejacion del movimiento: otras veces tiran sobre póleas para cambiar el ángulo de la direccion, segun lo ecsige la necesidad.

No hay casi ningun hueso en el cuerpo de un animal que no sea una palanca de tercer género ; pero volyamos á Borelli.

En su vigésima proposicion, muestra que es muy conveniente que los tendones que hacen mover los huesos tengan su insercion cerca de la estremidad de los huesos, y á una gran distancia del centro de movimiento, como se procura hacer siempre en los instrumentos de mécanica : He aquí las palabras del autor "Sean dos huesos AB y GF, figura 36, unidos y articulados en AF, de modo que AB gire al rededor de C, centro de la articulacion como los dos huesos del brazo ; y sea el músculo DE atado á G, estremidad fija de la espalda en G, y que su estremidad esté unida en E, extremo del hueso inferior del brazo, (*cubitus*) AB, el cual debe girar alrededor del centro C de la articulacion, describiendo el arco BH, digo que la naturaleza no puede ni debe fijar la estremidad del tendon E, cerca de la estremidad B del hueso AB, porque si pudiese, supongamos que la insercion E, esté hecha cerca de B donde está la muñeca, entonces el tendon y el músculo DE, está ó separado del miembro y de los huesos DAB si pudiese separarse de ellos, ó estaria fijo en la parte inferior por algun ligamento como R. Si estubiese separado se seguiria que como el hueso AB no puede volverse enteramente hácia arriba en la situacion AH sin sugetarse por la contraccion de la cuerda muscular DE, en cuyo caso su longitud DE, para reducirse á DM debe hacerse menor que la octava parte de DE, cuya contraccion en el brazo seria de un pie y medio ; cosa, no solamente embarazosa, sino aun imposible. Embarazosa, porque la anchura y espesor del brazo se aumentaria mucho para contener las dimensiones de CM igual CE de suerte que por esta sola razon el brazo se haria tan grueso como el vientre del animal, y este volumen monstruoso impediria los movimientos del brazo y del animal. Ademas como la estructura de un músculo, es tal que no puede contraerse sino muy poco, y rara vez mas que

el traves de dos ó tres dedos, una fijacion del músculo que ecsige una contraccion tan prodigiosa [como la de pie y medio] seria absolutamente imposible. Pero lo absurdo de semejante proposicion será mas evidente, si se supone que el hueso AB es el húmero del brazo izquierdo que debe moverse á todos lados al rededor de la articulacion de la espalda: á fin de que pueda llevarse al pecho debe ser dirigido por el músculo ED, fijo en D, lado derecho del pecho; es preciso ademas que haya otro músculo para elevarlo, y que esté fijo en el vértice de la cabeza del hueso; y el que debe bajarle tendrá su origen en la parte inferior del vientre: estos músculos, como los del brazo derecho, ecsigirian un gran espacio dilatado, como un gran tonel, y lo mismo seria respecto á los músculos del pié, lo que haria al hombre muy mal conformado y articulado, y por esta causa seria una masa informe y ridicula, impropia para el movimiento y para manejar el cuerpo.

Proposicion XXI.—*La potencia absoluta de cada músculo de un animal, debe ser necesariamente mayor que el peso del miembro que sostiene: pero de ningun modo menor.* (fig. 37 y 38)—La naturaleza infinitamente sabia, ha construido de tal modo el cuerpo de los animales, compuesto de diferentes órganos reunidos, que lo ha hecho capaz de moverse de un lugar á otro y de egecutar diferentes operaciones necesarias para la conservacion de la vida. Pero este objeto no podria lograrse habiendo dado al animal una figura redonda como la de una pelota, era necesario que constase de diferentes articulaciones como las manos y los pies, para andar, y coger los objetos; ademas estos miembros no hubieran podido moverse al rededor de su articulacion sino hubieran sido movidos por cuerdas musculares, y estas cuerdas debian contraerse por una fuerza motriz. Vamos á probar que la fuerza motora de un miembro no puede ser menor sino necesariamente mayor que el peso y la resistencia de los miembros que sostienen. Consideremos un miembro entero, por egemplo, el brazo: claro es que

este miembro necesitaba poderse mover en todas direcciones al rededor de la articulacion de la espalda, para estar en estado de tirar, suspender é impulsar las resistencias tanto del brazo, como de los cuerpos exteriores que debe cojer. Estas operaciones escigen una figura particular, fuerzas é instrumentos convenientes y propios para lograr este objeto. Su figura debe ser sin duda larga como una palanca, movil alrededor de un centro, de un punto fijo ó de un apoyo sólido en la espalda. En esta palanca deben considerarse las posiciones en que se aplican las fuerzas motrices y las resistencias: la potencia motora obra contrayendo las fibras musculares que no pueden fijarse sino cerca del centro de movimiento de la palanca, como se ha dicho anteriormente, mientras que la resistencia está aplicada á la estremidad mas lejana de su estension; luego *la potencia será á la resistencia, como la mayor distancia de la resistencia, es á la menor distancia de la potencia en el punto fijo.* Y por tanto la potencia motora es mayor que la resistencia.

Proposicion XXII.—*La fuerza de los músculos bíceps, y braquial anterior, cuando levantan el brazo colocado en una posicion horizontal é inversa es 20 veces mas considerable que el peso que sostienen y equivale á mas de 560 libras.*

—Sea el húmero EA *fig.* 39 y el ante brazo con la mano AB, casi en linea recta y horizontal pero vuelta, (esto es con el codo hacia abajo) y enróllese la cuerda GB al rededor de las estremidades de los dedos de la mano estendida G, suspéndase á la cuerda G, el peso R, que se ira aumentando gradualmente hasta que la potencia motriz de los músculos DE quede equilibrada de modo que no pueda ya sostener un peso mayor que R, entonces puede juzgarse que los *momentos* de las potencias del músculo, y del peso, son enteramente iguales no sobrepujando ninguna de estas fuerzas á la otra: pero la esperiencia nos enseña, que en un jóven robusto el peso R no excede de 26 lib. á los que hay que añadir el peso del an-

tebrazo y de la mano que sera de cuatro libras, y este peso no obra en la estremidad de la palanca como en B, sino en un punto medio H, que es el centro de gravedad; pues si se suspende otro peso de dos libras en B que tenga la misma proporcion, relativamente al peso de todo el antebrazo, que la distancia OH á OB, tendremos para nuestra palanca una linea indivisible y sin gravedad, en cuya estremidad B, estan suspendidos dos pesos, uno R, y el peso del antebrazo el otro, que juntos hacen 28 libras; y ademas á causa de que la direccion CD del tendon del músculo que sostiene el peso, forma un ángulo muy agudo con la linea CO, porque el tendon del músculo toca esactamente la cabeza de la articulacion A, es menester desde el punto fijo ó de apoyo O, tirar la recta OI, perpendicular á CI direccion del tendon, y entonces por los principios demostrados se verá que la potencia que mueve el músculo DC tiene la misma proporcion, relativamente á la resistencia del peso R unido al peso de que hemos hablado, que la distancia OB á la distancia IO. Pero por un ecsamen riguroso se sabe que OB longitud del antebrazo, y de la mano, escede en mas de veinte veces el radio IO cabeza del hueso; luego la fuerza ó la potencia que mueve el músculo DC es cerca de veinte veces mayor que el peso R con su adicional, y puesto que estos dos pesos, valen 28 libras, se vé que la fuerza con que el músculo atrae el antebrazo y hace esfuerzo para doblar el codo, es mayor que de 560 libras.

Proposicion XXIII.—Hallar la fuerza que egerce el músculo precedente, cuando el húmero esta perpendicular al horizonte y el antebrazo paralelo al horizonte.—Sea otra vez EA [fig. 40] el húmero, y AB el antebrazo que forman ángulo recto; estando perpendicular el húmero y el antebrazo horizontal. En esta posicion, la longitud de la palanca AB, permanece siempre la misma, y el músculo DC sostiene en la estremidad B, un peso de treinta y tres, como se sabe por esperiencia; pero como el ángulo ICO, formado por el tendon y el hueso OC, es menos agu-

do que en la antecedente situacion horizontal de los mismos dos huesos, porque cuando el húmero EA esta tirado hacia el antebrazo AB, el tendon del músculo DC, adherente al húmero, está tambien tirante y sin embargo el angulo ICO no llega á ser recto por que el tendon en I, esta fuertemente fijo por haces membranosos, y por la piel, sirviendo estos ligamentos como de póleas para conservar el tendon en A. el ángulo de la articulacion, pero el tendon IC, no está tan estrechamente unido en I que no se levante un poco y por consiguiente, la linea recta OI perpendicular á la direccion del tendon CI se hace sensiblemente mas larga que en el caso anterior, como podemos verlo, manejando nuestro brazo, y por consecuencia la distancia OB tendra menos proporcion con IO que la que hallamos para la posicion anterior, pero sea cualquiera la proporcion que tengan estas distancias, habrá la misma reciprocamente que la de la fuerza que contrae el músculo DC, y que mueve el hueso, con la resistencia del peso R, y el peso del antebrazo juntos; luego esta fuerza, será menor proporcionalmente á esta resistencia que la de veinte á uno y puesto que hemos visto en la proposicion anterior que la mayor fuerza de los músculos bíceps, y braquial anterior era de 50 libras, se verá [por la presente proposicion en que el gran peso R es de 33 libras y 35 súmandole el del antebrazo] que la distancia OI no siendo sino la secsagésima parte de la OB, y no la vigésima como anteriormente y estando sensiblemente aumentada la distancia OI, se vé que estos músculos pueden levantar un peso mayor que el anterior en 35 libras.

Debe observarse aquí, que aunque [en razon á que el miembro EAB, esta encorvado] los músculos no están estendidos como antes, sino que deben estar un poco relajados, sin embargo la fuerza motora de cada músculo, tiene menos fuerza de contraccion porque realmente los músculos DC no estan fijos en el vértice del humero; por que el bíceps, esta atado á la espalda ó al hueso homóplato HLE,

en L y el braquial anterior en medio del humero, y porque la espalda HEL está siempre en la misma situacion transversal, el humero EA girando alrededor del centro E de su articulacion debe formar el angulo IEO con el homóplato menos agudo á medida que el húmero se dobla hacia abajo, y entonces el origen D del músculo bíceps está mas elevado, y se aleja mas del extremo E cabeza del hueso, por que la longitud de la linea LDI subtensa del angulo LEO se ha aumentado, y por consiguiente este músculo está tanto mas estendido, cuanto mas doblado hacia abajo esté el humero: luego, aunque en razon del angulo EOB esté relajado el músculo braquial, el bíceps estará tanto mas estendido en razon á la elevacion del punto D sobre la cabeza del húmero.

Proposicion XXIV. *Fuerza absoluta del biceps valuada en 300 libras, y del braquial anterior apreciada en 260.* Sea el húmero OE (fig. 41) doblado hacia atras para formar el angulo HEO lo mas agudo posible, y esté el ante brazo AB de tal modo doblado que sea paralelo á la linea superior del homóplato HL; entonces los angulos agudos alternos HDJ, y CID serán iguales entre si. El músculo bíceps DIC, está lacso á causa de la pequenez del angulo cóncavo COE, como tirante y tenso estaba por el angulo convexo HDO; la tension pues del músculo bíceps no será de ningun modo alterada, y permanecerá esactamente de la misma longitud que si el brazo estuviese en una posicion horizontal: pero el músculo braquial no tiene esta ventaja, pues su origen está en medio del humero en F, y su estremidad ó insercion en J, cerca de la cabeza del ante brazo; y por que el ángulo EOC siendo agudo, el musculo braquial experimenta la mayor relajacion, y debe por tanto tener poca ó ninguna fuerza motora. Se puede en este caso, encontrar la fuerza sola del bíceps (esto es, suponiendo que no varie la distancia OI del tendon al centro de la cabeza del ante-brazo) Supongamos pues, que el peso R,

sostenido en esta situacion, sumado al peso del antebrazo sea de 25 libras; puesto que la distancia IO es casi la duodécima parte del hueso radio, y de la mano BO , la fuerza absoluta del músculo biceps será 12 veces mayor, que el peso R unido al peso del antebrazo, es decir, sera igual á una fuerza de 300 libras, no haciendo esfuerzo ninguno el braquial por su gran relajacion.

Por consiguiente, si las fuerzas reunidas de los dos músculos obrando á la vez en la primera esperiencia son iguales á 560 si se quita de esta fuerza la del biceps, que acabamos de hallar de 300 libras, la fuerza restante 260 libras será la del braquial.

Proposicion XXV. Hallar que fuerza ejercen los músculos cuando el antebrazo está pendiente, mientras que el húmero está perpendicular al horizonte. Sea EA (fig. 42) el húmero, y AB el antebrazo en línea recta perpendicular al horizonte; el mayor peso que puede suspenderse en B seria inmenso, si la fuerza y tenacidad de los ligamentos pudiese resistir, ó fuese enteramente insuperable. Si se dobla en seguida un poco el antebrazo de suerte que forme un ángulo obtuso FAB con el húmero, que se mantiene perpendicular al horizonte, y un ángulo agudo BAK con la línea horizontal OK , entonces el gran peso R , ciertamente se aumentará mucho, porque si desde el punto B , se tira la línea BK , perpendicular á la horizontal AK , el peso B que levanta la palanca AB oblicuamente obrará del mismo modo, que si estubiese suspendido del punto K de la palanca OK , y tendremos por consiguiente una nueva palanca OK mas corta que OB ; pero la fuerza del músculo, que eleva la palanca en el punto I , y la distancia á su línea de direccion es IO . Luego la fuerza absoluta que contrae el músculo tiene la misma proporcion con la resistencia del peso R , que KO con IO . Pero si KO , no es sino el duplo de OI , el peso R , que está sostenido en esta posicion será la mitad de la fuerza motriz, y segun esto igual á 280 libras; y si la resistencia OK , fuese me-

nor que **OI**, el peso **R** seria tambien mayor, que la fuerza motora de estos músculos.

De aqui se deduce, que en la fleccion ó elevacion del ante-brazo, la fuerza que tira del músculo disminuye continuamente por que la longitud de la palanca **OK**, aumenta sucesivamente y por esto el peso **R** debe disminuirse de la misma manera.

Proposicion XXVI. *Hallar la fuerza de los mismos músculos, cuando el brazo está colocado en una situacion horizontal inversa.* La fuerza de los músculos que doblan el ante-brazo puede obrar de otro modo; porque cuando el ante-brazo **AB**, (*fig. 43*) está en una situacion horizontal inversa debe dirigirse para abajo hácia **G**, por medio de los músculos **DC**, que están bajo el ante-brazo por que pasando la cuerda **BLG** sobre la pólea ó rueda **ML**, movil alrededor del eje fijo **M**, es evidente que mientras que la manó **B** desciende, el peso **R** sube, siendo **AB** la palanca cuyo punto de apoyo es **O**, y tirando el peso **R** la estremidad **B** de la palanca para arriba hacia **L**, la potencia de los músculos **DC** tira hacia abajo la palanca **AB**, de **I** para **D**, y por consiguiente se verificará aqui lo que hemos dicho mas arriba, con la sola diferencia que en el primer caso la estremidad **B** era dirigida hacia abajo, por la resistencia del peso **A** mas por el peso del antebrazo y la mano, y aquí por el contrario el peso del antebrazo, no obra contra la potencia de los músculos, sino que los favorece en su accion por que como en esta situacion los músculos tiran hácia abajo el ante-brazo, y este tambien obra por su gravedad, estas dos potencias sumadas tienen un momento igual al del peso **R**. Pero asi como en el primer caso, el peso del antebrazo se añadió à la resistencia del cuerpo pesado **R**, asi en este debe añadirse á la potencia de los músculos, y puesto que se ha manifestado que la mayor potencia de los músculos **DC** era igual á 560 librs. (proposicion XXII pg. 110) Se sigue que si la palanca **AB** no tuviese ningun peso, habiendo hallado que la resistencia **OB** es veinte veces la de **OI**, el peso

R, debe ser de 28 libras, pero puesto que 2 libras añadidas á R están en equilibrio con el peso del antebrazo AB, se deduce, que componiendo el peso con esta adición 30 libras será este el mayor peso que pueda sostener la fuerza de los músculos en esta situación. Se prueba esto de otra manera por que siendo el peso del antebrazo que descende, como dos libras suspendidas en B, y obrando igualmente con una fuerza de 40 libras que la tira aplicada en I, (por la proporción recíproca de 20 á 1) la fuerza de la potencia DCI sera de 560 libras; luego esta fuerza unida al momento del antebrazo que obra con ella producirá un efecto igual á todo el peso de 600 libras."

Lo que parece mas maravilloso, es la fuerza de los músculos que hacen mover la mandíbula inferior que Borelli examina en las proposiciones 87 y 88 de la primera parte de su obra en las que hace ver que todos estos pequeños músculos, que juntos no exceden en un hombre el peso de una libra, obran con una fuerza de 534 libras; y en los perros, los lobos, los elefantes, y los leones tienen una fuerza muy superior que les permite romper grandes huesos.

De la pólea.

La pólea es un cuerpo redondo, circular, aplanado, movil sobre un eje C, y cuya circunferencia *cg* (*fig.* 44) tiene una muesca ó garganta para recibir la cuerda FBAR ó EOAR ó GHOR (*fig.* 45) á la que se aplica por un lado la potencia, F, E, G, y por otra la resistencia R. Se construyen ordinariamente las póleas de madera, ó de metal, y se las hace girar sobre el eje Aa; pero seria mejor fijar el eje en la pólea, y hacerla girar sobre la chapa ADa que sostiene todo el sistema.

La pólea simple es una máquina destinada á facilitar la elevación de pesos; pero no proporciona ninguna otra ventaja mas que la de cambiar la dirección, y poner en toda su fuerza la potencia que obra: por

egemplo, un caballo, que no puede egercer su fuerza sino horizontalmente, vencerá con ella una resistencia vertical. Por medio de una pólea la potencia puede obrar en todas direcciones sin perder ninguna de sus ventajas, porque la cuerda á que se aplica la potencia es siempre tangente á la circunferencia de la pólea, y por consiguiente perpendicular al radio CH ó CB ó CO (fig. 46) cuya direccion es la mas ventajosa. Como la pólea es análoga á una palanca de primer género por su modo de obrar, resulta que, si se hallase medio de poner en juego la potencia á mayor distancia del eje, seria mucho mas ventajosa. Este resultado se obtiene sirviendose de una pólea de varias muescas, ó fijando sobre un eje póleas de diferentes diámetros. De aquí es, que si se supone en I (fig. 47) un peso de seis libras, sera necesario en H un peso igual para sostenerlo, porque los radios Cd y Ci son iguales pero no se necesitará mas que 3 libras en k porque el radio $c2$ es doble de cd y en L solo habria necesidad de 2, porque $c3$ es triple de cd . Es evidente que esto tiene esacta aplicacion á la palanca de brazos desiguales. Se puede tambien modificando la pólea de varias muescas poner en equilibrio dos fuerzas, cuyo poder relativo varie sin cesar haciendo, que en vez de varias muescas concéntricas no haya mas que una en forma espiral, y que aumente por consiguiente insensiblemente de diámetro á medida que aumenta la intensidad de una de las fuerzas. Tómese una pólea A (fig. 48) cuya garganta esté formada en espiral, y cuyo corte se vea en $gabc$, y el plano en $dc4$; fijese en el centro de esta pólea un cilindro e ó E provisto de un resorte semejante al de un reloj. Si se mantiene en equilibrio la fuerza de este resorte por medio de un peso que obre en DE , cuando se haya enrollado alguna parte del resorte, el mismo peso lo mantendrá en equilibrio obrando por g , si el radio EF se va prolongando en la proporcion de aumento de la fuerza del resorte. Lo que se dice del punto F puede decirse tambien de todos los demas.

El eje de una pólea simple no puede mantener nunca un peso superior al que egerce la suma de las dos potencias ; pero puede experimentar algunas veces una presion menor. El peso mayor obra cuando las dos cuerdas son paralelas entre si : en cualquier otra direccion de las cuerdas el eje es menos oprimido, y en el caso de oblicuidad *la fuerza con que el eje está cargado es á la suma de las fuerzas de las dos potencias, como la subtensa OA del arco comprendido por la cuerda, es al diámetro AB.*

La pólea puede hacer tambien officios de palanca de 2.^o género : en efecto cuando la resistencia **R** (*fig. 49*) esta fija á la chapa *ci*, que uno de los extremos de la cuerda esté fijo en el punto *a*, mientras que el otro está sostenido por la potencia *d*, la pólea es entonces móvil, y se levanta con el peso : ella representa, como acabamos de decirlo, una palanca de segundo género *bc*, cuyo punto de apoyo está en *b*, y que está dividida en dos partes iguales *bc*, *ce*, por la direccion *cI* de la resistencia **R**, y esta es la razon por que la potencia *d*, no tiene necesidad de ser mas que la mitad de **R**, para mantener esta potencia en equilibrio. Si las potencias obrasen segun lineas oblicuas entre sí, la pólea representaria tambien una palanca de 2.^o genero : si por egemplo la cuerda estuviese fija en el punto *g*, mientras que la otra estremidad estuviere sostenida por la potencia **P**, (*fig. 50*) entonces la potencia **P**, deberia ser á la resistencia **R**, como el radio *cb* es á la subtensa *lm* del arco abrazado por la cuerda, y se ve que la oblicuidad podria ser tal, que la potencia fuese mayor que la resistencia. Si en vez de tirar de abajo arriba se quisiese mas cómodamente egercer la fuerza de alto á bajo, empleando una parte del peso del cuerpo pudiera añadirse por cima de la pólea móvil *m*, otra fija *n*, que solo cambiase la direccion (*fig. 51*). Si fuese necesario podrá disminuirse el peso de la resistencia añadiendo una segunda pólea móvil, y despues otra segunda fija. Estos son los sistemas de póleas fijas y movibles que se designan con

el nombre de *motones* ó póleas polipastas, y en la marina con el de aparejos, Las póleas fijas están todas sobre una misma chapa, y lo mismo las póleas movibles. La parte inferior de la chapa que lleva las póleas fijas sirve de punto de apoyo á la estremidad de la cuerda, y se fija la resistencia en la parte inferior R de la chapa en las póleas móviles. Será facil, segun lo que acabamos de decir, valuar la fuerza necesaria para levantar un peso por medio de un sistema de un numero determinado de póleas.

En lo que acabamos de esponer hemos hecho abstraccion de la resistencia del rozamiento, de la rigidez y peso de las cuerdas, por lo que es necesario una mayor fuerza que la que hemos espuesto. Añadiremos á lo dicho que el número de póleas debe ser limitado para que el rozamiento que hay que vencer no sea muy considerable, y que ademas es preciso usar en los sistemas póleas de diámetros cada vez mas pequeños para que las cuerdas no se toquen.

Se hace uso tambien de otro sistema de póleas en que todas son de igual diámetro, estan atravesadas por un eje comun, y las cuerdas van un poco oblicuamente de la polipasta superior á la inferior.

De las ruedas dentadas.

Las ruedas pueden tambien considerarse como palancas ; se distinguen entre ellas las ruedas dentadas, y las ordinarias de carruages &c. Las dentadas pueden disponerse de varias maneras, porque ya llevan en su circunferencia los dientes por los que se comunica el movimiento, ó ya estos bajo la forma de clavijas, estan colocados perpendicularmente á los radios. Algunas veces se coloca sobre el mismo eje, que lleva una rueda dentada otra rueda de un diametro mas pequeño que el anterior, y á la que se dá el nombre de piñon. Es facil ver que en este caso se forma una palanca de primer género de brazos desiguales, en que la longitud de uno de ellos

es igual al radio de la rueda, mientras que la longitud del otro brazo, corresponde al radio del piñon. Supongamos tres ruedas ABC (*fig. 52*) y sus correspondiente piñones *abc*; el piñon *a*, al que daremos la forma de un cilindro sostiene un peso *P*; la rueda A, que tiene el mismo arbol que este piñon, endenta en el piñon de la rueda B, la circunferencia de esta segunda rueda, engrana en el piñon de la tercera rueda C; supongamos ahora que aplicando á la circunferencia C, una potencia *Q*, esté el todo en equilibrio, y observemos que la potencia obra por las ruedas, y la resistencia por los piñones: nos será facil calcular la relacion de estas dos fuerzas. Para que haya equilibrio basta por un lado multiplicar la longitud del radio de cada piñon, por el producto del radio de los otros dos, y multiplicar por otro los radios de cada una de las ruedas: si los radios de cada rueda son cuádruplos de los de su piñon, que sean por ejemplo ocho, mientras que los de las otras és dos, se encuentran sesenta y cuatro por el primer producto, y ocho para el segundo; ó que la potencia es una octava parte de la resistencia, ó en general se encuentra que *la potencia, es á la resistencia, como el producto de los radios de los piñones, es al producto de los radios de las ruedas*. Se vé que por medio de estas máquinas se puede ganar mucha fuerza, pero es á espensas de la velocidad, porque en este aparato como en todos los que produce la mecánica siempre se pierde en velocidad lo que se gana en fuerza.

Hay necesidad muchas veces, particularmente en el arte de la relojería, de tener una esacta relacion entre el número de vueltas que dan dos ruedas: para obtenerla basta dar á las mismas un número de dientes conveniéntes; por ejemplo si se quiere tener un piñon que dé cuatro vueltas, mientras que una rueda soló dé una, bastará dar á esta un número de dientes cuatro veces mayor que el de las alas ó dientes del piñon, y si hay muchas ruedas, que obren unas sobre otras por el intermedio de piñones se ve-

rá que el número de vueltas de la primera rueda A, es al número de revoluciones del último piñon, como el producto de las alas de los piñones, es al producto de los dientes de las ruedas.

Vamos rápidamente á considerar el modo de obrar de las ruedas de los carruages cuyo centro se mueve en linea recta, mientras que las demas partes dan vueltas al rededor suyo. Deben mirarse las mas veces estas ruedas como palancas de segundo género que se suceden sin cesar á medida que la rueda adelanta: cada punto de la circunferencia es la estremidad de un rayo real ó imaginario CM (*fig. 53*) apoyado por una de sus estremidades M sobre el terreno, mientras que el otro extremo está cargado del eje en que descansa el caruage con su carga. Si el plano fuese perfectamente liso y horizontal, sino hubiese ningun rozamiento en los cubos, y fuese exactamente paralela la direccion de las fuerzas á la del plano, la fuerza necesaria para mover un carruage seria infinitamente pequeña comparada á la que necesita la imperfeccion de estas máquinas, las desigualdades de los caminos sobre que ruedan, y el roce sobre el eje. Las elevaciones ó profundidades del terreno varian la direccion, y disminuyen por tanto una parte del efecto de la potencia. Un caballo colocado mas arriba ó mas abajo por la disposicion del terreno ó del piso, en vez de hacer un esfuerzo en la direccion CP, paralela á la porcion del plano, que sostiene las ruedas, obra oblicuamente como CR ó CS (*fig. 54*) La disposicion mas ventajosa es aquella en que el eje de las ruedas está un poco mas bajo que el pecho del caballo.

Del torno.

El torno es un cilindro que gira sobre su eje mantenido por dos puntos fijos, y en el cual se enrolla una cuerda que sostiene un peso. Se pone esta máquina en movimiento por medio de palancas cruzadas (*fig. 55*), ó de clavijas colocadas en la cir-

cunferencia de una rueda. Es muy facil ver que el modo de obrar de estas palancas es absolutamente el mismo que el de la de primer género. Sea gh (fig. 56) el radio del cilindro hP , el brazo de palanca por el cual obra la potencia P ; si la longitud hP , es á hg como 3, á 1, la resistencia deberá ser 3 veces mayor que la potencia, prescindiendo del roce.

Del cabrestante.

El cabrestante no es sino un torno cuyo cilindro es vertical (fig 57) en vez de ser horizontal, pero como sus leyes son las mismas que las del torno, y de la palanca de primer género no añadiremos nada á lo que hemos dicho mas arriba, sino que el cabrestante se emplea mas ordinariamente que el torno en la marina.

Del cric ó gato.

El gato sirve tambien para vencer una gran resistencia con una potencia muy pequeña. Se compone esencialmente de una barra de hierro AB , (fig. 58) provista de dientes en uno de sus bordes, y móvil en una caja CE ; los dientes de esta barra engranan con los de un piñon DD , que se hace girar por medio del manubrio MN . El piñon levanta la barra, y por consiguiente la resistencia que se aplica sobre la cabeza A . Para hallar la relacion de la potencia y la resistencia se puede considerar el esfuerzo que cada diente del piñon hace en D para levantar la barra; es claro que la potencia aplicada á la manigeta, es á este peso, como el radio del piñon es al brazo NM de la manigeta; si el radio del piñon fuese muy pequeño relativamente al del manubrio podria levantarse con una fuerza pequeña un peso considerable.

Del plano inclinado.

Cuando un cuerpo descansa sobre un plano incli-

nado como una parte de su peso está destruido por el plano, no es necesario que la suma de los pesos d, d , que le retienen por medio de las cuerdas Ded sea igual al peso del cuerpo D , si estos tiran en la direccion De paralela al plano inclinado. Si el plano ac no se opusiese á ello (*fig.* 59) el cuerpo K caería en la direccion kh . Su punto de apoyo está en d ; se puede pues para hallar su ley de equilibrio considerar el radio dk como una palanca, en cuya estremidad k obrasen dos potencias, una el peso del cuerpo k , en la direccion kh , oblicua al radio dk , y la otra kp perpendicular á este mismo radio. La longitud del brazo de palanca de esta ultima potencia es el radio entero dk , y la del brazo sobre que obra el peso del cuerpo k se reduce á ed , seno del angulo que forma la direccion kh con el radio kd . Segun lo que hemos repetido ya varias veces la potencia kp debe ser al peso del cuerpo k , como ed es á dk ; pero de es á dk , como ab altura del plano, es á ac su longitud; el triángulo dek siendo semejante al triángulo abc , por tener sus lados perpendiculares, hay la misma relacion entre de , dk y ek que entre ab altura del plano, ac su longitud, y su base bc ; ed representa pues á ab altura del plano, y dk representa á ac su longitud. Resulta de aquí, que *en el caso en que la direccion de la potencia sea paralela á la longitud del plano inclinado, la potencia será á la resistencia, como la altura del plano, á su longitud*: pero si la potencia no obra paralelamente á la longitud estas relaciones cambiarán. Si suponemos que *la fuerza es paralela á la base del primer plano, la fuerza debe ser entonces á la resistencia como la altura del plano á su base, como ed es á ck ó á do , igual y paralela á ck* . Esta direccion do es el seno del angulo que forma la linea km . Para dar estas proporciones de una manera general diremos que *en todos los casos, el peso y la potencia deben ser entre si como el seno de los angulos, que forman con el radio dk la direccion de la potencia y la linea vertical*.

De la cuña.

La cuña es un prisma triangular OAC (fig. 60) Los dos planos $DdaA$, $CcaA$ que son los mas largos, y que se llaman lados, forman un ángulo con la línea aA , que se llama la *punta* ó *el corte* de la cuña; el plano DC , cd se llama la *cabeza* ó *base*. La línea BA es la *altura* ó *eje de la cuña*. La manera de obrar de esta máquina puede referirse á la del plano inclinado, por que es claro que el plano $ACca$ está inclinado al plano $AD da$. Vamos á esponer aquí la descripción y uso de un aparato que se emplea para determinar la acción de la cuña. M y N (fig. 61) son dos rodillos de metal unidos el uno por la cuerda mcl y el otro n á la cuerda nid . Cada una de estas cuerdas tiene por cima una pólea f y h , que sostiene en su estremidad un peso de cerca de 22 libras. Supongamos que la base ab de la cuña, sea igual á la mitad de su altura ch será necesario una presión de 11 libras para tener esta cuña en equilibrio con la suma de los dos pesos igual á 22 libras, y alguno mas de los 11 para hacer adelantar la cuña toda su altura. Es claro que mientras esto se verifica los dos pesos p y r subirán cada uno una cantidad igual á la mitad de il que es ab base de la cuña. Como en el caso de equilibrio la potencia es á la resistencia en razón inversa de las velocidades, ó de los espacios corridos en el mismo tiempo, resulta de aquí, que para que haya equilibrio en la cuña, la potencia debe ser á la resistencia como la mitad de su base es á su altura: se vé por consiguiente que cuanto mas aguda es la cuña, tanto mayor es el efecto que produce.

Del tornillo.

El tornillo es un cilindro en cuya circunferencia se hace una muesca en forma espiral CFG (fig. 62). La parte saliente CF que resalta entre las muescas del tornillo se llama *filete del tornillo*, y la distancia

CG, que hay desde uno á otro filete, se llama *paso del tornillo*. Igual muesca y filete se hace en una cavidad cilindrica practicada en un trozo de madera ó de metal CD, (fig. 63) para hacer un tornillo interior que se llama *tuerca*. El tornillo es un plano inclinado á la base del cilindro AB, (fig 62). Este plano es tanto mas inclinado cuanto sea mas pequeño el paso CG: la altura del plano es el paso del tornillo ó la distancia de un filete á otro; la circunferencia del tornillo representa la base del plano; esta circunferencia y la altura del paso determinan su longitud, porque si se desarrolla uno de estos filetes AB, formará un triángulo ABC rectángulo en C, con su paso BC, y su base ó la circunferencia AC del tornillo. Cuando un tornillo da vueltas sobre su tuerca hay dos planos inclinados que resbalan uno sobre otro. Prescindiendo de los rozamientos en esta máquina, *la potencia es á la resistencia en caso de equilibrio, como la altura del paso es á la circunferencia que la potencia describe*: de donde resulta que la misma resistencia puede vencerse por una potencia tanto mas pequeña, cuanto menor sea el paso de tornillo, y obre la fuerza en un brazo de palanca mas largo; pero en este último caso será mayor su circunferencia.

CAPITULO CUARTO.

De la hidrostática.

Se dá el nombre de *hidrostática* á la parte de la física que considera la gravedad y equilibrio de los líquidos, y el modo de obrar de los cuerpos que en ellos se sumergen. Vamos á ecsaminar sucesivamente cada una de las partes de que acabamos de hablar.

De la gravedad y equilibrio de los líquidos.

Las partes que componen un líquido, siendo estrechamente móviles unas sobre otras, egercen su gravedad de un modo muy diverso que los cuerpos sólidos; en estos siendo las partes constituyentes adherentes entre si, obran juntas, y pesan del mismo modo, de aquí es que el choque de un cuerpo sólido es muy distinto del de un líquido, y una cantidad de agua que cayendo sobre nosotros no nos haria ningun daño, nos haria mucho si estuviese convertida en hielo. Es muy facil mostrar por esperiencia que las moléculas de un líquido pesan independientemente las unas de las otras; para esto basta tomar un vaso cilindrico de cristal AB (*fig* 24) atravesado en su fondo de un agujero C provisto de una virola cilíndrica D de cobre de una pulgada de diámetro, que se tapa con un émbolo G bien engrasado, y ajustado á la virola de modo que pueda ceder á una debil presion. Un mango ó un hilo GH, que lleva el émbolo en su parte inferior, viene á fijarse

en H á un brazo de palanca cuyo centro de movimiento esté en L, en la otra estremidad N de la palanca se suspende un platillo de balanza I. Sobre la virola D, se ajusta un tubo de cristal cilíndrico FE, cuyo diametro interior es igual al de la virola, y cuya altura es la del vaso; entonces se llena el tubo EF de agua, y se ponen en el platillo pesos suficientes para ser levantados por el de esta columna: cuando el tubo esté esactamente lleno se quita en seguida el tubo de cristal, se ajusta el émbolo, se conserva el mismo peso en el platillo, se echa agua en el vaso, y se observa que el platillo no es levantado en este caso, sino cuando el agua ha llegado á la misma altura á que estaba en el pequeño tubo, de donde se deduce evidentemente, que si tuviera que vencer el peso de toda la masa de agua del gran vaso, el émbolo cedería mucho mas pronto, y por el contrario el émbolo G no tiene que vencer sino el peso de una columna de agua igual á su diámetro. Si por el contrario se supone que toda esta masa se solidifica, como todas sus partes se adheririan unas á otras, seria necesario para levantar el émbolo, soportar el peso de toda la masa. De esta manera de obrar que tienen las moléculas de un liquido independientes unas de otras resulta que un liquido pesa sobre las paredes de los vasos que le contienen, mientras que un sólido no egerce su peso sino en el fondo del vaso. Todos saben que si se hace un agujero en una de las paredes de un vaso que contiene un liquido se escapará al momento por la abertura.

Equilibrio de los líquidos.

Todas las moléculas de un mismo liquido estan en equilibrio entre si, ya se hallen en un solo vaso, ó ya en vasos diferentes que tengan comunicacion. Para que esto suceda es necesario que cada molécula esperimente en todos sentidos presiones iguales y opuestas, y es menester tambien que las mo-

léculas superiores de los líquidos formen una superficie perpendicular á la pesadez que les impele á descender. Supongamos por un momento que las superficies de un líquido en vez de ser plana sea convexa como *abcd* (*fig* 65), y representemos por *VVV*, la fuerza que anima sus moléculas. Si esto fuese así, sería menester que una pequeña columna, tal como *bd*, mantuviese el peso de las que le son superiores; pero como acabamos de decir la presión se transmitiría lateralmente, y la molécula *b* sería desalojada por otras moléculas que lo serían sucesivamente hasta que la cuerda *bcd* se hiciese horizontal. Cuando muchos vasos comunican entre sí (*fig.* 66) estas acciones se verifican para nivelarse el líquido en todos sus tubos, como si supusiésemos que estuviesen las porciones del líquido contenido en un vaso bastante grande para rodear todo el aparato como *ABCD*. Esta propiedad que tienen los líquidos de subir á la misma altura que el lugar de donde han partido, cualquiera que sea la profundidad por donde tengan que pasar, proporciona un medio fácil de tener una fuente cuando se conoce un manantial colocado al mismo nivel. Esto hecho puede servir para dar una esplicacion satisfactoria de ciertos manantiales que se hallan en la cumbre de las montañas.

Lo que acabamos de decir de la horizontalidad de la superficie de los líquidos, no debe entenderse sino para espacios de pequeña estension, por que tomando un espacio grande, en la mar por ejemplo, la convexidad que debe necesariamente resultar de la forma del globo se hace sensible, y por esto es, que á grandes distancias cuando se acerca una embarcacion se principia por ver la estremidad de sus mástiles, despues sucesivamente se ven porciones mas y mas grandes, hasta que al fin viene á ofrecerse á nuestra vista la embarcacion imitando el mismo efecto, que si saliese de las olas. Esto no sucederia si la superficie de las aguas fuese plana por que entonces, en el momento que se viere el buque se veria todo entero.

Acabamos de decir que cada porcion del fondo de un vaso no tiene que sostener mas que el peso de la columna liquida que le corresponde ; ecsaminemos ahora lo que sucederia si diésemos diferentes formas á los vasos. Supongamos que se llenasen de agua los tres vasos ABCD (*fig. 67*) EFCH (*fig. 68*) LMNOPQ [*fig. 69*] cuyas alturas AB, IF, LT, sean las mismas, y cuyos fondos BC, FC, NO, son iguales. Está probado por esperiencia que todos estos fondos son igualmente comprimidos. Facilmente se comprenderá que el fondo de los dos primeros vasos sostiene un peso igual á la columna correspondiente al diametro del fondo del vaso, y de la misma altura que este vaso : pero no se vé tan claramente como sucede esto mismo respecto al tercero. Se puede no obstante llegar á concebirlo por medio de las consideraciones siguientes. Sobre la porcion TV del fondo NO [*fig. 69*] hay una presion igual á la de la columna de agua que tuviese TV por diametro, y LT por altura; si en todas las porciones iguales del fondo del vaso hay una presion semejante á la de la columna LTUQ, este fondo estará igualmente comprimido. Pero sobre la porcion VX por egemplo hay una presion igual á la de una columna de agua QVXR, la cual iguala á LTVQ, por que la pequeña columna PVXS que descansa encima tiende á elevarse por la presion de la columna próxima LTVQ, y con una fuerza igual á LMPQ diferencia entre las columnas grande y pequeña ; ella pues oprime la parte PS del fondo superior con esta fuerza , y como hay de parte del vaso una reaccion igual á la compresion LMPQ, se tiene sobre la porcion VX del fondo NO una presion resultante de la columna PVXS, y de la reaccion PS que juntas igualan la presion de la columna LTVQ. Lo mismo podria decirse de cualquier otra presion que no fuera VX. Resulta de aqui un hecho de que se saca un gran fruto en las artes, y que á primera vista parece una paradoja, y es que la misma cantidad de agua puede segun la manera de emplearse egercer una fuerza doscientas ó trescientas veces mayor; de aqui

resulta que un tonel TO (*fig. 70*) llena de vino podra rebentar si se le cargan algunos cuartillos de agua ó de vino colocados en un tubo AB de algunas varas de longitud.

Pesadez y equilibrio de los líquidos de diferentes densidades.

Cuando se ponen en un mismo vaso líquidos de diferentes densidades se sabe que se colocan naturalmente los unos sobre los otros en el orden de su densidad, con tal que no tengan afinidad unos con otros, como el agua, el mercurio, el aceite &c.

Dos líquidos de esta naturaleza están en equilibrio en un sifon inversamente colocado siempre que sus alturas esten en razon inversa de su densidad; así pues, si se coloca mercurio en una de las ramas, y se vierte agua en la otra se verá que para elevar el mercurio una línea sobre su nivel en la rama AB (*fig. 71*) el agua deberá elevarse trece líneas y media en la rama BC; luego el mercurio es esactamente trece veces y media mas pesado que el agua. Los gases están sometidos á las mismas leyes de equilibrio que los líquidos; pero tienen otras propiedades que dependen de su elasticidad; vamos á examinar aquí solo lo relativo á la presion y pesadéz. No hace dos siglos que se creía aun en la ligereza del aire, y se explicaba la ascension del agua en los cuerpos de bomba por el *horror al vacio*, cuando una circunstancia que se presentó á los fontaneros de Cosme de Medicis, gran duque de Toscana, llamó la atencion de los filósofos. Estos fontaneros querian elevar el agua á la altura de sesenta pies, pero por mas esfuerzos que hicieron para dar á sus émbolos todo el ajuste imaginable, nunca pudieron lograr hacer subir el agua á mas de treinta y dos pies. Toricelli fué el que demostró evidentemente que esta elevacion en los cuerpos de bomba solo era debida á la presion del peso del aire. Para ello

tomó un tubo de cristal de tres á cuatro pies de longitud cerrado herméticamente en una de sus estremidades (*fig. 72*), lo llenó de mercurio, colocó el dedo sobre la estremidad abierta y lo volvió sumergiendo esta misma estremidad en un baño de mercurio, entonces observó que el mercurio despues de haber oscilado un poco se sostuvo á 28 pulgadas como se vé (*fig. 72*). Comparando la densidad de las dos columnas de agua y mercurio, como hizo Toricelli, se verá que estan en razon inversa de su altura.

No puede menos de admitirse que es la misma causa la que obra en ambos casos, y que este efecto no es otra cosa que un equilibrio. Pero ¿cuál es la potencia que puede equilibrar estas columnas suspendidas si no el aire atmosférico que oprime con su peso los depósitos? Tal es la conclusion que deducen todos los físicos. Pascal corrobora mas y mas las pruebas de Toricelly por este racionio. "Si el aire es la causa de este fenómeno es por su peso y fluidez; su presion debe hacerse como la de los líquidos, y las columnas de estos con las cuales se pongan en equilibrio serán siempre mas ó menos largas, segun sean mas ó menos densas." Se deduce de aqui, que las columnas de aire pesarán tanto mas cuanto mas largas sean, y que por consiguiente al pié de las montañas su peso debe ser mayor que en la cima. Pascal rogó á su cuñado *Perrier*, que se aprovechase de la altura de *Puy-de-la-Dôme*, cerca de Clermont, para repetir la misma experiencia. Este observó efectivamente, que á medida que se elevaba sobre aquella montaña descendia el mercurio, y su descenso era de cerca de tres pulgadas y una línea cuando se llegaba á la cumbre de la montaña. Tal es el origen del instrumento conocido con el nombre de barómetro, al cual se han dado un gran número de formas diversas.

El vacio que está sobre la columna de mercurio se llama *vacío barométrico*, ó *cámara barométrica*, *vacío de Toricelly &c.*; y la columna de mercurio

se conoce con el nombre de *columna barométrica*.

Cuando se quiere construir un buen barómetro, importa que el mercurio esté bien hervido para purgarlo de aire y de vapores, lo cual se consigue haciéndolo hervir en el mismo tubo. Para esto se empieza por verter el líquido en el tubo hasta el tercio de su longitud poco mas ó menos, y despues se pasa el tubo por carbones ardiendo para poner poco á poco el mercurio en ebulicion. Entonces se ven una infinidad de pequeñas ampollas adherentes á las paredes interiores del tubo que se escapan bajo la forma de fluido elástico. Estas ampollas no son otra cosa que el agua que se hallaba en muy pequeña cantidad, y que por la accion del calor se convierte en fluido elástico que ocupa un volumen 1700 veces mayor; (si el calor es muy intenso puede ser 3000 veces mayor) pero como este vapor ó fluido elástico, es mucho mas ligero que el mercurio, no puede permanecer en la parte inferior del tubo se desprende pues bajo la forma de ampollas que aumentan de volúmen á medida que llegan á la parte superior.

Cuando se ha hecho hervir la primera cantidad de mercurio se aguarda á que se enfríe para que no astille el tubo por una nueva adiccion de este metal; despues se vierte otra cantidad de mercurio que se ha calentado con anterioridad; se hace hervir otra vez en toda la longitud de esta nueva columna y se continúa añadiendo cantidades de mercurio que se hierven del mismo modo hasta que se llene el tubo; entonces se halla terminado el barómetro. Para observar si está enteramente purgado de aire es necesario inclinar prontamente el tubo despues de la operacion para que vaya el mercurio á dar en el vértice; si el golpe es seco es una prueba de que está bien hecho el vacío, y si por el contrario no lo es debe hacerse de nuevo la operacion.

El barómetro ordinario ó de sifon (*fig. 73*) está colocado sobre una plancha; la escala que marca la

altura en la parte superior tiene una corredera con el que se indica el nivel: el cero de la division corresponde al nivel del mercurio de la rama mas corta. Como este nivel no siempre permanece el mismo cuando varia el barómetro resultan errores tanto mayores quanto es mas pequeño el diámetro de la rama corta.

Para obviar este inconveniente ha imaginado Mr. Fortin fijar el nivel dando á la cubeta un fondo movable (fig. 74) que se puede subir ó bajar, moviendo un tornillo colocado en su fondo; hay una punta de marfil que señala el nivel, y como es reflejada por el mercurio es facil siempre restablecer el nivel hasta que el liquido iguale este punto.

Otro barómetro mas sencillo, y mas cómodo que los que acabamos de describir, es el de Mr. Gay Lussac. Citaremos aqui las palabras de este gran maestro. "Para dar à conocer mejor lo que caracteriza este instrumento, dice este fisico, lo supondré despojado de su armadura la cual puede variarse ademas de mil maneras. La figura 75 representa el tubo barométrico en su situacion propia para la observacion; *Nn* son los dos niveles del mercurio, la rama grande *AB* es de igual diámetro hasta *F*: en este punto el tubo *AF* está soldado con otro tubo fuerte de cristal *FBC*, cuyo diámetro interior debe ser de media á una linea; la rama chica *CD* del barómetro debe tener el mismo diámetro que la parte *NF* de la grande; ella está cerrada en *D*, pero en *E* á la distancia de 10 á 15 lineas de *D*, se halla un pequeño agujero capilar por donde el mercurio no puede salir, á no ser por una gran presion, y que no obstante permite entrar y salir libremente el aire en la cubeta"

"La figura 76 representa el barómetro inverso: el mercurio ocupa la parte *CBFA* del tubo, y el sobrante está contenido en *D*, el cual conviene que sea ninguno ó muy corto. Se hace salir facilmente el mercurio teniendo la rama *CD* horizontal y el agujero hacia abajo; estando el mercurio por cima del agujero se dilata el aire calentando la rama *CD* y entonces el

mercurio es espulsado. Si por el contrario se quiere hacer entrar mercurio en el barómetro se le sumerge en la situacion que representa la figura 75, en un baño de mercurio hasta mas arriba del agujero E, y se inclina el tubo: el aire estando dilatado entonces en la rama CD, entrará en ella el mercurio mientras que la pérdida de elasticidad del aire sea mayor que la longitud de la columna. He supuesto aqui que el barómetro no tuviese otra abertura que el agujero capilar E, pero es mucho mas facil construirlo cuando esté abierto en D”

”La figura 77 representa el barómetro en la misma posicion que la 76 con la sola diferencia, que la rama BFA se supone vacia de mercurio desde B hasta G, lo cual puede suceder dando al barómetro violentas sacudidas. En este caso no podria ya servir el instrumento si el tubo CBGF tubiera un diámetro igual al tubo AF, porque volviendo el instrumento el aire contenido en BG subiria necesariamente á su parte superior; pero si el tubo CBF no tiene mas que una linea, como hé indicado, la columna FG de mercurio no podra dividirse por el aire, y este saldrá cuando vuelto el barómetro caiga el mercurio: alguna vez sucederá que la columna GA quede suspendida aunque sea grande la presion barométrica, pero dando una ligera sacudida al instrumento de arriba abajo caerá la columna prontamente, y el aire contenido en BG será espulsado.”

”Hay pues dos cosas que caracterizan el nuevo barómetro, 1.º el pequeño agujero capilar E, que deja al aire libre circulacion impidiendo salir al mercurio; y 2.º el tubo CBF, de un diámetro tan estrecho que el aire no pueda dividir la columna de mercurio, como sucede en el ingenioso barómetro cónico de Amontons.”

”Al construir este barómetro es preciso que el artista cuide de no dar aceite á la rama BCD, sea que la cierre en D, ó que le haga el pequeño agujero E: ya hé dicho que el aceite, ú otro cuerpo cualquiera grasiento, es la causa de la mugre ó polvo negro que

se forma en los barómetros cuando el mercurio es por otra parte puro, y no se le podría quitar por mucho cuidado que hubiese. Hé andado con mi barómetro mas de 500 leguas; Mr. Descaltils, en un viage á Italia, andubo mas de 1200 y puedo afirmar que el mercurio estaba tan bueno como el primer dia, apesar de las continuas sacudidas á que iba espuesto en una silla de postas.

"Se vé facilmente por que el eje del tubo AF no está en la prolongacion de el del tubo FB; esto es asi á fin de que el centro de gravedad del instrumento esté sobre su eje cuando se halle libremente suspendido en A, fig. 78.....

"La traslacion de este barómetro es muy facil y no se descompondrá teniendo cuidado de ponerlo inverso como indica la figura 76, ó á lo menos inclinado en un ángulo de 15 á 30 grados. Hé indicado que no es necesario mas que un minuto para observarlo; y en efecto basta volverlo para que se preste inmediatamente á la observacion."

"Se puede armar de muchas maneras; por egemplo, metiéndolo en una caña endida en toda su longitud que se abra con góznos (fig. 78), pero es preferible encerrarlo en un tubo hueco de metal endido en parte de su longitud, y cubierto por otro que pueda deslizarse longitudinalmente ó girar con un leve roce sobre el primero. Si se adopta esta última construccion, el tubo exterior debe tambien estar endido para dejar ver la columna de mercurio ú ocultarla segun que estén ambas averturas una sobre otra."

"Tambien se puede trazar la division, si se quiere tener un instrumento poco costoso, sobre el cristal mismo, y encerrar el tubo barométrico en un cañon de lata, que se abre por sus dos estremidades; entonces no es necesario servirse del vernier porque estando las divisiones cerca del mercurio se evita facilmente el efecto de la paralage, y con alguna costumbre puede valuarse á simple vista un octavo ó decimo de línea mientras que se observa el origen de la curva del mercurio; en fin si se quiere conservar la facili-

dad de limpiar el tubo CO, sin temor de que el mercurio se deslustre ó empañe al cabo de tiempo puede contentarse con cerrarlo en O, bien sea con una piel ó un pedacito de corcho.

"El modo de servirse del nuevo barómetro no ofrece ninguna dificultad; se observa la altura de la columna inferior y la de la columna superior, y se resta la una de la otra; si ambas ramas son de igual diámetro bastará observar la altura de la columna superior, y doblar las variaciones aparentes para tener las reales."

"Aunque las dos ramas no tuviesen igual diámetro bastaría una sola observacion, siempre que se conozcan las verdaderas diferencias de nivel de centimetro en centimetro, porque en el intervalo se puede considerar sin error sensible las dos ramas como teniendo el mismo diámetro; esta ventaja comun á todos los barómetros de sifon es muy preciosa para los viages geodésicos por que se hacen tantas mas observaciones cuanto son mas faciles de hacer."

"Mr. Buntzen ha hecho una ligera variacion en el barómetro de Mr. Gay-Lusac, poniendo en el tubo BF, un pequeño cono de cristal vuelto, para impedir que el aire que pudiera introducirse en esta rama suba al vacío barométrico."

Mas recientemente aun Mr. Dourches, tan modesto como ingenioso, ha hecho al mismo barómetro de Mr. Gay-Lusac otra modificacion mas ventajosa, porque imposibilita al aire de entrar en la rama grande; para esto continua la rama FB hasta el interior de la rama CO; de manera que cuando el instrumento esta en su posicion ordinaria esta pequeña rama está cubierta de mercurio, y cuando está vuelto tambien está sumergida en él é impide por consiguiente cualquiera introduccion de aire.

Del Sifon.

El sifon es un tubo encorvado ABC de cristal ó metal [figura 79] cuya rama AB, es mas corta que la otra

BC : para usarlo se mete la estremidad A de la rama mas corta en el liquido que se quiere trasegar, despues se aplica la boca á C para estraer todo el aire; cuando principia á hacerse el vacio, se eleva el agua por que la presion del aire en el interior del sifon no guarda ya equilibrio con el peso de la atmósfera; entonces empieza á correr, y no acaba mientras el extremo del sifon esté dentro del liquido: es muy facil concebir que este fenómeno es debido á la presion atmosférica.

Supongamos, en efecto, que GF (fig. 69) sean los limites de la atmósfera : es evidente que todos los puntos de la superficie del licor están igualmente oprimidos por la columna de aire ; si ahora suprimimos esta presion en algun punto el licor debe acumularse en este lugar. Si las dos ramas del sifon tuviesen la misma longitud BA, BD, la corriente no podria ya suceder, por que siendo la columna de aire DG, que resistiria en D, tan alta como la que oprime en A, se equilibrarian como las dos columnas de liquido AB, BD ; pero si una de estas ramas es mas larga que la otra, aunque la columna de aire correspondiente GC sea mas larga, que la que oprime en el vaso, el flujo se verifica y debe verificarse: porque consideremos la columna de aire GC como dividida en dos partes, de las cuales una CD, sería capaz de detener el flujo si la rama BC acabara en D, equilibrandose con la columna de aire FA : no hay ya en C mas que una columna de aire DC para oponerse á la del liquido DC, pero mucho mas pesada : la porcion DC deberá pues correr, y mientras que ella salga otro liquido se elevará por el sifon para correr á su vez, y ser remplazado aun por otro que experimente igual efecto. No es necesario decir que debiendose este fenómeno al peso del aire la rama corta de un sifon no puede tener mas de 32 pies, y aun en la práctica no se hacen tan grandes.

Pesadez y equilibrio de los sólidos sumergidos en los líquidos.

Hemos dicho que las moléculas de un líquido están comprimidas en todas direcciones por otras del mismo fluido, y que la presión será tanto mayor cuanto el líquido esté más comprimido, y la columna fuera más alta. Si suponemos un sólido sumergido en un líquido separando las moléculas, y poniéndose en lugar de un número de ellas más ó menos grande, es claro que este cuerpo estará comprimido como lo estaban las moléculas cuyo lugar ocupa.

Nosotros experimentamos lo mismo en el aire que nos rodea; somos comprimidos más y más á medida que bajamos á hondas profundidades; y lo somos mucho menos si subimos á la cumbre de alguna montaña. La presión que experimenta un hombre de mediana estatura es próximamente de treinta mil libras en circunstancias ordinarias. Como cada molécula de un líquido está en equilibrio, se sigue que si el sólido tuviese el mismo peso que el líquido, permanecería este cuerpo equilibrado absolutamente de la misma manera, que si un volumen de líquido igual al suyo se hubiera hecho sólido; pero si el cuerpo es más pesado que el líquido ¿que resultará? Entonces este cuerpo solamente *pierde una porción de su peso; pero una porción igual á la del volumen de líquido que el desaloja*. Sea L, (fig. 80) un pequeño cilindro sólido de cobre suspendido por una cuerda bajo el platillo de una balanza, y capaz de llenar exactamente el cilindro hueco M, que está sobre él: se equilibra el peso de estos dos cuerpos poniendo en el otro platillo pesos suficientes; después se llena de agua el vaso ABCD, y se mete en él el cilindro L; entonces el peso N lo vence, y para restablecer el equilibrio basta poner en el cilindro M un volumen de agua igual á el del cuerpo. Esto es lo que se llama el principio de Arquímedes. En efecto llenando el pequeño vaso M, se restablece perfectamente el equilibrio; es preciso de-

ducir de aquí que el cuerpo pierde esactamente de su peso una porcion igual al del volumen de agua desalojado, y que la porcion de peso que le resta es la diferencia de pesadez. Por esta razon es tan facil levantar á un hombre en el agua, por que su diferencia de densidad es muy corta. Otra consecuencia es que un cuerpo que cae en un liquido, y aun en la atmósfera, nunca descende con toda la intensidad de su pesadez absoluta, sino solamente con el exceso de su densidad: deducimos de aquí 1.º que en igual cantidad de materia ó en pesos iguales, quanto mas volumen tiene un cuerpo, tanto mas pierde de su peso por la inmersion, porque es mayor el volúmen del agua desalojado y 2.º que cuanta mayor sea la densidad del liquido en el cual se sumerge el cuerpo, tanto mas pierde de este cuerpo de su peso.

Cuerpos flotantes.

Si un cuerpo es menos pesado que un volumen igual de liquido, sobrenada en parte, y la parte sumergida desaloja un volumen de agua, cuyo peso es igual al de todo el cuerpo. Para probarlo se toma un vaso ABCD, (*fig.* 81) en cuya parte inferior se adapta un tubo que se encorba y sube paralelamente á las paredes; se la adapta una espita, ya al tubo, ya al vaso mismo, se vierte agua en el vaso grande, y en el momento se restablece el nivel en el pequeño á la misma altura; se señala este nivel con una marca de papel pegado, ó de hilo liado alrededor: despues se echa en el vaso grande una bola de madera ó cera que sobrenadará en parte; la porcion sumergida elevará el nivel del agua, tanto como si se hubiese vertido una nueva cantidad de liquido igual al volumen de la parte sumergida. Si se saca el agua por medio de la espita hasta que el nivel sea el mismo que antes de la inmersion del cuerpo es claro que el volumen que se habrá quitado será igual al de la parte sumergida. Pésese este liquido con la bola, y se verá que estan reciprocamente en equili-

brio ; de donde resulta la verdad del principio que acabamos de establecer. Lo mismo sucede á todos los demas cuerpos sumergidos en parte, que á la bola de que acabamos de hablar ; asi un barco que flota en un rio desaloja un volumen de agua, cuyo peso es igual al suyo ; hemos dicho tambien que si el liquido fuese mas denso, la parte sumergida seria menos considerable ; de donde se deduce que un barco que pasara del rio á la mar se hundiria mucho menos en las olas de esta ; sobre este principio esta fundado un instrumento de mucha aplicacion en las artes que se llama Areómetro.

De los Areómetros.

Los areómetros son instrumentos empleados para dar á conocer las densidades de los líquidos en que se sumergen. El areómetro consiste en una bomba de cristal delgado ó un cilindro hecho al soplete, y soldado á un tubo estrecho, (*fig. 82.*) Para que este instrumento se mantenga vertical en medio de los líquidos, se pone su centro de gravedad lo mas bajo posible y á este efecto se adapta debajo de la bomba ó del cilindro un pequeño receptáculo donde se pone mercurio ó perdigones, pero en cantidad que no haga hundirse del todo el instrumento : si metemos este instrumento en un líquido se hundirá tanto mas profundamente cuanto mas ligero sea el líquido, y reciprocamente tanto menos se hundirá cuanto sea mas pesado : de manera que si hemos dado al areómetro un peso tal que su tubo se sumerja hasta E en el agua, este tubo se hundirá mas en los líquidos mas ligeros, y menos en los que sean mas densos. Por este medio se podrá saber si un líquido es mas ó menos pesado que otro al cual se compara ; pero no se sabrá en cuanto, por que sería preciso para esto conocer la relacion del tubo AC con bolas B y S, y ademas que el tubo fuese perfectamente cilindrico, lo cual no sucede casi nunca. El mejor medio es operar so-

bre volúmenes siempre iguales ; pero se pueden tambien emplear con mucha esactitud los areómetros de volúmen variable. Hablemos primero del instrumento de volúmen constante, el cual ha recibido el nombre de *Areómetro de Fahrenheit*.

El areómetro de Fahrenheit (*fig. 83*) se compone, como el otro, de una bola seguida de un tubo que es muy estrecho, y que lleva en su parte superior un platillo DE destinado para recibir pequeños pesos. El instrumento está lastrado con mercurio que se pone en la pequeña bola S ; despues se le hace sobre el tubo una señal de esmalte y queda construido el instrumento.

Para servirse de este areómetro se empieza por pesarlo, y señalar exactamente su peso que se escribe sobre el instrumento, en seguida se le sumerge en agua destilada, cargándolo de peso para que se hunda hasta la señal *a* ; el peso del agua desalojada está representado por el del areómetro unido á los pesos adicionales, que se han puesto en la pequeña cavidad DE. Haciendo la misma operacion sobre otros líquidos se tendrá con la misma exactitud el peso del volúmen desalojado por el areómetro, siendo perfectamente iguales los volúmenes de ambos líquidos la diferencia de sus pesos dará la de su pesadéz específica, ó la relacion esacta de su densidad ; para determinar esta relacion ; se dirá ; *la pesadéz específica de este liquido es á la del agua, como el peso del volúmen de este liquido es al peso del volúmen del agua* : lo mismo será para todos los demas líquidos que se quieran comparar al agua.

El areómetro de Fahrenheit se emplea aun para determinar las densidades de los cuerpos sólidos, pero entonces se modifica algo su forma, y toma indiferentemente los nombres de areómetro de *Nicholson*, ó areómetro-balanza de *Charles* ; está representado en las figuras 83 y 84 : este instrumento se compone, lo mismo que el de Fahrenheit, de una bola ó mas bien de un cilindro coronado de un tubo en cuya parte superior está puesto un platillo C,C : este

instrumento es de laton ó lata y lleva en su parte inferior una pequeña cubeta destinada á recibir la materia cuya densidad se busca : mientras los cuerpos son mas densos que el líquido en que se sumerge el areómetro ejercen una presion de arriba abajo y tienden á caer : en este caso la cubeta está dispuesta como se vé *fig.* 83, recibe la presion, é impide al cuerpo caer. Cuando por el contrario los cuerpos sobre los que se experimenta son menos densos que el líquido en que se sumerge el instrumento, se dispone la cubeta como en la figura 84 para que reciba la presion que el cuerpo ejerce de abajo arriba.

Cuando se quiere por medio de este instrumento proceder á la investigacion de las densidades de los cuerpos sólidos, se empieza por hallar el *peso adicional* que estando puesto en el platillo C, C, hace sumergir el instrumento en el agua destilada hasta la señal que lleva el tubo.

Supongamos que se opera á la temperatura cero, y que el peso adicional sea de veinte y cinco adarmes, busquemos despues la densidad de un cuerpo cualquiera por ejemplo la del diamante. Para ello se le pone sobre el platillo C, y se le añade peso suficiente para producir la nivelacion : supongamos que 22,5 adarmes sea el peso necesario para esto ; es evidente que este peso, mas el del diamante equivalen á veinte y cinco adarmes, pues el nivel del agua corresponde á la señal *f* : donde se vé que el diamante pesa 25 adarmes menos 22,5 adarmes ó 2,5 adarmes. Hecha esta primera operacion se quita el diamante, se le coloca en la cubeta, y se verá que es necesario añadir 0,68 adarmes á los 22,5 que estaban en el platillo C para que se verifique la nivelacion; estos 0,68 adarmes equivalen al peso que el diamante pierde en el agua ó bien al peso de un volumen de este líquido igual al suyo ; y como sabemos que las densidades son entre si como los pesos resulta que la densidad del diamante está representada $\frac{2,5}{0,68}$ ó 3,67: de la misma manera podrán ha-

harse las densidades de todos los cuerpos sólidos.

Cuando los cuerpos son mas ligeros que el agua, basta volver la cubeta, como lo indica la figura 84, y proceder absolutamente de la misma manera con solo la advertencia de hacer en ambos casos las correcciones necesarias cuando el agua en que se sumerge el areómetro no está en cero.

Areómetro de volúmen variable.

Este areómetro es de un uso mucho mas frecuente que el de que acabamos de hablar, y se emplea casi esclusivamente en las artes, porque es menos frágil que el anterior, y para observarlo basta sumergirlo en un líquido sin necesidad de recurrir á operaciones largas y minuciosas; su graduacion está fundada en la inmersión mas ó menos considerable que experimenta en líquidos de diferentes densidades. En efecto este instrumento se construye tomando como limite el hundimiento que experimenta el areómetro en el agua destilada perfectamente pura, y por otro lado como término el punto á que se hunde en un líquido mucho mas denso ó mas ligero que el agua, dividiendo despues estos intervalos en pequeños espacios que se llaman grados, y que se escriben en una tira de papel pegada al interior del tubo.

Los grados comprendidos entre el agua y los líquidos ligeros sirven para evaluar los grados de densidad de los cuerpos menos pesados que el agua, y por el contrario la otra estremidad de la escala sirve para la de los cuerpos mas pesados que el agua; de aqui los pesa licores, pesa acidos y los pesa sales.

Mr. Gay Lussac ha dado á conocer un areómetro que sumergido en un líquido alcohólico indica al momento la densidad de este líquido y su abundancia en alcohol, el cual ha designado con el nombre de *alcohómetro*; nosotros remitimos á nuestros lectores para conocer los principios sobre que está fundado á la *instruccion para el uso del alcohómetro centesimal*, que Mr. Gay Lussac publicó en 1824 con este objeto.

Densidad de los sólidos.

Cremos deber dar aqui nuevas ideas sobre la densidad de los cuerpos sólidos: esta densidad es como sabemos el peso que contiene un cuerpo en un volumen determinado y conocido; por ejemplo, una pulgada cúbica, un pie cúbico &c. Como no es facil dar siempre á los cuerpos formas regulares y volúmenes iguales, para comparar directamente sus pesos, y conocer por tanto su densidad, se ha buscado el medio de hacerla independiente de la forma y del volumen; para esto se les pesa *hidrostáticamente*, es decir, en el aire y en el agua. No tenemos necesidad de decir que el agua debe estar perfectamente pura, y que siendo su volumen variable en las diferentes temperaturas se reducen los distintos cuerpos que se pesan á una temperatura igual, que ordinariamente es de cuatro grados del termómetro centígrado.

Se sabe, segun lo que hemos dicho antes, que un cuerpo sumergido en un liquido desaloja un volumen perfectamente igual al suyo perdiendo de su peso una porcion igual esactamente al peso del volumen del liquido desalojado; y que asi un cuerpo que se pese primero en el aire y despues en el liquido, dá por diferencia de estos dos pesos, el de un volumen de liquido igual al suyo: estos dos pesos comparados entre sí dan la relacion de la densidad del liquido y del cuerpo solido. Si es el agua la que se elige en esta esperiencia, y se toma su densidad como unidad de los pesos específicos se tendrá la del cuerpo sólido haciendo la siguiente propocion: *el peso del volumen de agua desalojado por el cuerpo, es al peso del mismo cuerpo, como uno es al cuarto término que representa la densidad de este cuerpo.*

De lo dicho resulta:

- 1.º que cuando dos cuerpos tienen volúmenes iguales, sus densidades son como sus masas.
- 2.º que cuando dos cuerpos pierden pesos iguales en

el mismo liquido tienen iguales volúmenes.

3.º Las gravedades específicas de los cuerpos que tienen el mismo peso, están en razón recíproca de sus volúmenes.

4.º La gravedad específica de un sólido, que sobrenada en un líquido más pesado es á la densidad de este líquido, como el volumen de la parte sumergida es al volumen del cuerpo entero.

CAPITULO QUINTO.

Fenómenos capilares.

Quando se pone en contacto con la superficie de un líquido un disco de cristal, de metal ó de cualquiera otra sustancia, se vé que adhiere con cierta fuerza, que es siempre la misma, mientras sean las dimensiones iguales. Para convencerse de esto se equilibra el disco después de haberlo suspendido en un brazo de balanza, y se le hace tocar la superficie de un líquido, y será necesario añadir nuevos pesos para poderlo separar. No puede atribuirse esta adherencia á la presión del aire, pues se verifica igualmente en el vacío; es necesario considerarla, como el resultado de la afinidad de las moléculas del líquido por el sólido: y como se ve que cuando el li-

quido puede mojar el disco, el peso que hay que añadir para vencer esta adhesión es mayor, que el de la pequeña capa de aquel que permanece unida después de la separación, debe creerse que el efecto es debido en parte á la afinidad de las partículas del líquido consigo mismas. Se observan fenómenos producidos por la misma causa, aunque diferentes en apariencia, cuando se sumergen en el agua, el alcohol &c. tubos de pequeños diámetros, ó laminas de cristal ó cualquiera otra materia, colocadas en situación vertical, y muy próximas unas á otras. Lo mismo sucede, cuando se sumerge un trozo de azúcar en el café, ó se estiende agua alrededor de un monton de cenizas, arena &c. ; esto es, que se vé el líquido elevarse y mantenerse sobre su nivel natural.

Examinando la forma que toma la superficie del líquido en los pequeños tubos se vé que es una curvatura, cuya cavidad está vuelta hácia arriba, y que se llama menisco cóncavo ; pero cuando se sumergen estos tubos ó estas laminas de cristal en un líquido que no es susceptible de mojarlos, como el mercurio para los cuerpos húmedos, ó el agua para los cuerpos grasos, se nota que el líquido en vez de elevarse desciende en los tubos por bajo del nivel del líquido contenido en el depósito, dando lugar á una superficie curva y convexa hácia fuera, á la cual se dá el nombre de menisco convexo. La elevación ó descenso son tanto mas considerables, cuanto mas corto es el diametro del tubo ; y estos fenómenos son los que designan los físicos con el nombre de *capilares*.

Los fenómenos capilares, llamados así para expresar que los tubos que los producen son de un diametro, cuya pequeñez se aproxima á la de un *cabello*, no dependen de la presión atmosférica por que se verifican lo mismo en el vacío que al aire libre, sinó de la afinidad del líquido hácia el tubo, y de la atracción de las moléculas del líquido entre sí. Esta afinidad se ejerce á distancias infinitamente pequeñas entre el tubo y el líquido, y en-

tre las moléculas líquidas consigo mismas, porque si se varia el grosor de un cristal sin cambiar su diámetro le elevacion permanece la misma que antes; lo cual demuestra que mas allá de cierta distancia, por pequeña que sea, todas las capas que se pueden añadir á la materia del tubo no dan ningun resultado apreciable. Una de las consecuencias de este hecho es que la naturaleza de la materia del tubo no influye en nada, y que la altura es en todos los casos la misma que si el líquido se elevara en un tubo de igual diámetro formado por el líquido mismo. La concavidad del menisco acompaña siempre á la elevacion de la columna del líquido, asi como por el contrario el descenso corresponde constantemente á un menisco convexo; de la correspondencia de estos dos hechos Mr. de Laplace ha sacado la explicacion del fenómeno. En efecto cuando un líquido en quietud tiene una superficie horizontal debe admitirse, que independientemente de la gravitacion existe otra fuerza, que inclina las moléculas unas hacia otras; y el cálculo demuestra, que si la superficie es convexa, la atraccion propia del fluido consigo mismo aumenta, disminuyendo al contrario si la superficie es cóncava.

El mercurio y el agua ofrecen dos ejemplos de esto, M. de Laplace ha deducido estas consecuencias matemáticas, á saber que; en un tubo muy estrecho la variacion de la fuerza atractiva para una columna circular es casi exactamente reciproca en razon al diámetro interior del tubo, y que la altura se reduce á la mitad si el tubo se remplaza por dos planos paralelos, cuyo intervalo sea el mismo que su diámetro interior. Examinemos ahora, segun estos datos matemáticos, la teoria del fenomeno, y empezemos por el menisco cóncavo (*fig. 85.*)

Supongamos un canal infinitamente estrecho, que atraviesa el tubo, y lleno en su parte inferior desemboca en el punto H, mientras que su otra estremidad termina en el punto S el mas bajo de la curvatura del menisco: la estremidad H de este pe-

queño tubo imaginario es oprimida en H por una fuerza igual á la accion de un líquido terminado en una superficie plana, mientras que en S está sometido á la accion de una superficie cóncava, y por consiguiente, segun lo dicho, está sometido á dos fuerzas desiguales. No puede pues haber equilibrio y el líquido debe elevarse, como sucederá en efecto hasta que el peso de la pequeña columna compense la diferencia de ambas fuerzas. Estas acciones obran en razon inversa del diametro del tubo, y la altura de la pequeña columna seguirá tambien la misma relacion; lo cual se comprueba por la observacion.

Cuando la estremidad de la columna es convexa la accion que ejerce sobre la superficie propia es mayor que la del plano en razon inversa del diámetro del tubo, en este caso el pequeño canal curvilineo que suponemos en el interior del líquido (*fig. 85*) será comprimido mas perfectamente por el lado de la superficie convexa que por el de la superficie plana, y para restablecer el equilibrio el líquido deberá bajar por el lado donde la accion es mas fuerte, hasta que se compense esactamente la diferencia de nivel.

Esta teoría, que se funda enteramente sobre la forma del menisco, explica todos los fenómenos capilares sin escepcion, tales como las ascension del agua en los cilindros concéntricos y los tubos cónicos; explica tambien la fuerza en los planos que empuja uno hácia otro dos cuerpos flotantes que se mojan, por ejemplo dos bolas de corcho, ó dos cuerpos flotantes que no se mojan, como las bolas de corcho carbonizadas; del mismo modo la fuerza que hace tambien alejar dos bolas iguales una susceptible de mojarse y otra no; asi como la forma esférica de las gotas de lluvia, que no depende de la presion del aire, porque tienen la misma en el vacio.

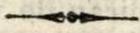
La atraccion, causa general de los fenómenos capilares, se manifiesta tambien entre las moléculas de los fluidos, y Mr. Lehot ha demostrado que influye sobre el movimiento de los líquidos en los vasos que los contienen. Cuando un líquido oscila en

un sifon inverso deberia tener un movimiento análogo al del péndulo, es decir, que las oscilaciones deberian tener siempre la misma estension, y continuar indefinidamente; mas como no sucede asi es preciso que exista necesariamente una resistencia que impida el movimiento y esta resistencia nace del contacto del líquido con el tubo comunicandose desde aquí seguidamente.

Si pues se introducen en un sifon columnas iguales en longitud de liquidos, de diferente naturaleza, las oscilaciones disminuiran de estension de una manera igual, por que variará la atraccion del tubo para con el liquido, y la de este para consigo mismo; la observacion corrobora esta hipótesis. Para hacer estas esperiencias, Mr. Lehot inclina primero el sifon, aplica el dedo pulgar á la estremidad de una de sus ramas, y pone el aparato en la posicion vertical; entonces la presion atmosférica mantiene la diferencia de nivel, la cual puede medirse á placer antes de hacerle oscilar, facilmente se concibe que la atraccion de los liquidos consigo mismo, y con la materia de los tubos en que corren, debe influir sobre la rapidez ó intensidad de la corriente: pero no entraremos aqui en muchos pormenores sobre este objeto.

CAPITULO SESTO.

De la dinàmica.



La dinàmica es aquella parte de la mecànica que se aplica á la consideracion de los movimientos que experimentan los cuerpos bajo la influencia de algunas fuerzas.

Nos hemos estendido suficientemente sobre las diferentes especies de movimiento en uno de los capitulos dedicados á las propiedades generales de los cuerpos: sin embargo no podemos dejar de desenvolver las leyes segun las cuales obran los diferentes cuerpos en movimiento: empezaremos por esponer sucintamente los movimientos compuestos que se hacen en linea recta ó curva.

Movimiento rectilineo compuesto.

Este movimiento tiene lugar siempre que las fuerzas obran sobre los cuerpos, y conservan entre si la misma relacion. Podemos demostrar por una experiencia lo que acabamos de enunciar: sea en efecto el cuerpo M (*fig.* 86) impelido por dos fuerzas, de las cuales una ZM lo haria ir á B, si obrase sola; y otra Z'M lo haria ir á A en las mismas circunstancias: cuando obran simultaneamente estas fuerzas describe el cuerpo la diagonal MC del paralelógramo MACB; pero si varia el angulo M, la diagonal variará tambien; por egemplo, si la fuerza Z'M continuara en la misma direccion MA, y ZM tomase la direccion MF la

... que los contienen. Cuando un liquido oscila en

diagonal seria MG ; y si ella fuera MD la diagonal seria ME . Esta diagonal, que representa la velocidad del movil puede variar, como hemos visto, con la magnitud del angulo, sin que la intensidad de las fuerzas cambien; y si el angulo fuera nulo, ó casi nulo, la diagonal seria igual á la suma de ambas fuerzas.

Movimiento curvilineo compuesto.

Se podria decir que la palabra movimiento curvilineo supone siempre la idea de composicion, porque todo movimiento de este género tiene lugar cuando dirigiendose un cuerpo en linea recta es separado de esta direccion por una fuerza, que obra constantemente en sentido diferente al movimiento primitivo: para presentar esto con mas claridad, supongamos que el movil M , (*fig.* 87) sea impelido á la vez por dos potencias diferentes MF , MG ; que la potencia MF sea uniforme, y la MG acelerada. En el primer instante correrá el cuerpo la diagonal Ma en el segundo, la diagonal ab ; en el tercero bc , cd &c. Cada una de estas diagonales tiene una direccion diferente de las demas; y si las tomamos infinitamente cortas, suponiendo los instantes muy pequeños, producirán la curva $Mabcdef$; tal es el movimiento de todos los cuerpos arrojados en una direccion distinta de la perpendicular al horizonte; por ejemplo la piedra que se arroja, la bala que se dispara.

Lo que acabamos de decir del movimiento compuesto dá la esplicacion de un hecho singular que alguna vez sucede en el mar, y que puede imitarse por medio de un carrito, que tiene una columna en cuyo vértice lleva unas pinzas que se abren cuando se quiere. Para hacer la esperiencia se elige una superficie muy plana y lisa que disminuya cuanto sea posible los razonamientos; despues se pone una bala en las pinzas, y un dedal sobre el carro en tal disposicion, que cuando el aparato esté en quietud caiga la bala dentro; en seguida se hace andar el carro y cuando lleve una velocidad uniforme, se abren las

pinzas por medio de una cuerda, y la bala cae dentro del dedal, aunque naturalmente debia caer fuera. Para comprender esto mejor supongamos que M (fig. 87) sean las pinzas que contiene la bala 6 : f el espacio corrido mientras la bala cae de M á 6 : la bala tiene un movimiento horizontal comun con la columna, cuya velocidad es uniforme cuando la bala llegue de M á 1 , el punto 1 de la columna estará en a ; cuando haya caído á 2 , el punto 2 estará en b ; cuando haya llegado á 3 , el punto 3 estará en c &c. de manera que al fin de la caída el punto 6 , donde se hallan la bala y el dedal habrá llegado á f ; el dedal por la recta $6f$, y la bala por la curva $Mabc$, &c.

Cantidad de movimiento.

La cantidad de movimiento de un cuerpo es la expresion del producto de su masa por su velocidad: de manera que un cuerpo tiene mas movimiento, cuando su velocidad es mayor permaneciendo su masa la misma; ó cuando siendo la misma su velocidad, se aumenta su masa: asi cuando dos cuerpos tienen masas iguales, el que tenga mas velocidad tendrá mas movimiento; y si dos cuerpos tienen iguales velocidades, tendrá mas movimiento el que tenga mas masa.

Choque de los cuerpos no elásticos.

Lo que acabamos de decir de la cantidad de movimiento facilitará la inteligencia de lo que sucede cuando un cuerpo en quietud es chocado por otro; en este caso sucede como si el cuerpo móvil adquiriese mayor masa perdiendo de su velocidad, segun la relacion de las masas; es decir, que la velocidad se divide entre ambos cuerpos, los cuales se mueven en la direccion del cuerpo chocante, y la velocidad es tanto menor, quanto mayor sea la masa del cuerpo chocado: si los dos cuerpos son iguales en

masa, la velocidad se reduce á la mitad; y si el cuerpo chocante tiene doble masa, la velocidad se disminuye en un tercio &c.

Si los cuerpos que deben chocarse tubieren movimientos en direcciones opuestas, se concibe facilmente lo que debe suceder: el movimiento se estingue en ambos, ó en uno de ellos á lo menos, y si queda alguno despues del choque, ambos cuerpos obedecen á la impulsión del mas fuerte, siendo la cantidad de su movimiento comun, igual á la diferencia del mayor sobre el mas pequeño.

Choque de los cuerpos elásticos.

En los cuerpos elásticos sigue el movimiento la misma ley; pero con esta diferencia, que la elasticidad dá á las meléculas de los cuerpos la propiedad de recobrar su posicion primitiva, rehaciéndose con una fuerza igual á aquella que las habia comprimido. Cuando dos cuerpos elásticos se chocan, el movimiento debe dividirse como si los cuerpos no tuvieran esta facultad; pero como en el punto de contacto se egerce una presión sobre las moléculas, cuya reaccion debe ser igual de una parte y otra, el movimiento del cuerpo chocado es doble; vamos á aclarar con esperiencias el principio que hemos sentado.

Supongamos dos bolas mm' (fig. 88), suspendidas en el punto A por los hilos Am, Am' y un arco CBD con divisiones: si las dos bolas son de marfil y de iguales masas, y se eleva una m hasta la division 6 describiendo un arco y se deja bajar libremente por el mismo, vendrá á chocar en m' que está en 0, que sube entonces hasta la sesta division por el arco BD, mientras la primera bola permanecerá inmóvil en 0.

En este caso la bola chocante divide al momento su velocidad con la chocada, de modo que ambas tienden á moverse con una velocidad de tres grados; pero como esta division de la velocidad desenvuelve en cada bola una fuerza de resorte tambien

de tres grados, se sigue que la bola chocante debe retroceder con tres de velocidad ; pero ella tiene aun tres para seguir adelante, los cuales destruyen el retroceso, y hacen que la bola quede sin movimiento ; mientras por el contrario la bola chocada que tendria al principio el movimiento comunicado si hubiera sido el choque entre cuerpos no elásticos, adquiere otros tres grados por la accion del resorte, que juntos á los primeros hacen subir la bola hasta el 6

Dos bolas de iguales masas, que se mueven en direccion contraria y con la misma velocidad, cambian su movimiento, y se elevan á una altura igual á aquella de donde han descendido : si las masas son iguales, y las velocidades diferentes retrocederan despues de haber cambiado su velocidad ; es decir, que si la bola m descende de 4, y m' de 8, despues del choque m' retrocederá hasta 4, y m hasta 8.

Ecsaminemos lo que sucederia si la masa de la bola quieta fuese doble de la de la bola en movimiento. Si elevamos esta ultima hasta la division 9, la veremos despues del choque volver hasta 3, mientras que la otra bola retrocederá hasta 6 : en este caso el primer efecto del choque es reunirse las bolas ; la velocidad 9 está aplicada á una masa 3, de donde resulta para esta masa una velocidad de 3. La fuerza de resorte que se desenvuelve está determinada por la perdida de 6 grados de velocidad, la cual hace retroceder á la bola chocante con 6 grados ; pero como ella tiene en sentido opuesto una tendencia igual á tres grados, no puede retroceder sino con 3. La bola chocada recibe una velocidad de 3, que se unen á los 3 que debe recibir naturalmente por la division de las fuerzas, y por esta razon llega á 6 el retroceso que debe experimentar.

Fuerzas centrales.

Supongamos que el cuerpo A (*fig. 89*) esté sometido á un tiempo á dos fuerzas perpendiculares entre sí, y cuya intensidad esté en razon de 3 á 1, el movi-

miento se verificará entonces segun la diagonal Ad y continuaria hacia ImD si nada cambiase; mas si por el contrario la potencia AC se halla colocada entre dH en angulo recto con la nueva direccion AD ; el movimiento será compuesto nuevamente, y el cuerpo, irá desde d á e . Si esta potencia se halla entonces colocada en eI formando un angulo 3 , con eE , el cuerpo se dirigirá de e hacia f , y si continua el movimiento componiendose de una manera analoga, el cuerpo se dirigirá de f á g despues á h &c. hasta volver de nuevo al punto A , despues de haber dado la vuelta. Esto sucede en la honda porque la mano pasando por los puntos $CHIK$, hace pasar la cuerda por las direcciones $AC, dH, eI, \&c.$ Esta cuerda conservando una longitud constante representa una fuerza que no varia de intensidad sino tan solamente de posicion. Si consideramos estos elementos como infinitamente pequeños su serie formará un circulo. Todo cuerpo que se mueve por un circulo es impelido por dos fuerzas que deben obrar continuamente: porque si una de estas dos fuerzas se anulára el cuerpo no podria circular porque no obedeceria ya mas que á una sola fuerza: por egemplo, si la cuerda de una honda se rompiese cuando se halle en eI , la piedra escaparia por eE , cuya linea se llama tangente. Estas dos fuerzas cuya composicion produce el movimiento circular, y de las cuales una tiende á alejar el cuerpo del centro del movimiento y por el contrario á acercarlo la otra han recibido el nombre de *fuerzas centrales*. Para distinguir las se ha dado á la que separa el cuerpo el nombre de *fuerza centrífuga*, y á la que tiende á aprocsimarlo el de *fuerza centrípeta*. Los planetas estan sometidos á la accion de estas dos fuerzas. En este caso la fuerza centrífuga que resulta de la rotacion tiende á separarlo de su centro de movimiento, mientras que la gravitacion, que ocupa el lugar de la fuerza centrípeta tiende á aprocsimarlos á su centro.

Vamos á referir aqui los teoremas que los matemáticos han demostrado:

1.º *Las fuerzas centrífugas de dos cuerpos que*

se mueven con la misma velocidad á igual distancia del centro, son entre si como las masas de estos cuerpos.

2.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos iguales, que se mueven en tiempos periódicos iguales á diferentes distancias del centro, son entre si como los numeros que representan estas diferentes distancias.

3.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos, cuyos tiempos periódicos son iguales, y cuyas masas están en razon inversa de sus distancias al centro, son iguales entre si.

4.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos iguales que se mueven á igual distancia del centro con velocidades diferentes, son entre si como los cuadrados de sus velocidades.

5.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos desiguales que se mueven á igual distancia del centro con velocidades diferentes, son entre si como los productos de su masa, multiplicados por el cuadrado de sus velocidades.

6.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos desiguales, que se mueven con iguales velocidades á diferentes distancias del centro, están entre si en razon inversa de sus distancias al centro.

7.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos desiguales que se mueven con desiguales velocidades, á diferentes distancias del centro están entre si como las masas de estos cuerpos multiplicadas por la distancia que hay del centro del uno al otro.

8.º Las fuerzas centrifugas de dos cuerpos desiguales, que se mueven con desiguales velocidades, á diferentes distancias del centro están entre si, como los productos de las masas de estos cuerpos por el cuadrado de sus velocidades multiplicados por las distancias al centro uno del otro.

CAPITULO SEPTIMO.

Hidrodinámica é Hidráulica.

La Hidrodinámica es aquella parte de la física cuyo objeto es determinar las leyes del movimiento de los fluidos; y la aplicación de estos principios á la conduccion de aguas ha recibido el nombre de Hidráulica; denominacion que se dá tambien á todas las máquinas que sirven para conducir el agua.

Presion constante.

Lo primero que hay que hacer cuando se quieren observar las leyes que siguen los líquidos en su curso, es producir una presion constante, porque sin esto sucedería que en circunstancias poco favorables el líquido correría mas rápidamente que en otras mucho mas ventajosas. Se sabe en efecto, que la presion de un líquido sobre la pared del vaso que lo contiene, es tanto mayor, quanto mas elevado sea el nivel, y en este caso corre mas rápidamente por el mismo orificio, que cuando su nivel baja y la presion es menos intensa. Como en todas estas experiencias el nivel debe bajar sin cesar ha sido necesario recurrir á varios medios para obviar este inconveniente: estos medios son principalmente el vaso constantemente lleno, y el flotador de Prony.

Vaso constantemente lleno.

AB (fig. 90) representa un receptáculo al cual está ajustada una bálbula cónica z móvil por medio del brazo de palanca L, y que deja entrar el líquido en las cajas dd' por el tubo b , destinadas á impedir la agitación causada por la caída del líquido. á medida que el líquido sale por la abertura e se deja entrar una cantidad igual en AB, si esta cantidad fuese excesiva el sobrante escaparía por la escotadura r ; de donde resulta que siendo la altura la misma la presión es constante.

Flotador de Prony.

Este ingenioso aparato, que debemos al sabio cuyo nombre lleva, está representado en la (fig. 91); consiste en un cilindro en que se introduce un vaso de cobre llamado *flotador* casi de igual diámetro; al cual se fija con alambres un vaso colocado en su parte inferior y destinado á recibir el líquido por medio de un embudo. Resulta de esta disposición que el flotador se hunde tanto mas en el cubo cuanto mayor es la cantidad de líquido que pasa por el embudo al vaso inferior, y que el flotador reemplaza por su inmersión sensiblemente al líquido vertido. Como el líquido al cual comprime antes por la elevación de su columna en el vaso grande, se halla actualmente en el vaso que comunica con el flotador por medio de los alambres produce en virtud de su peso una compresión igual en el vaso grande cualquiera que sea la altura del líquido.

Teorema de Torricelli.

Este teorema consiste en que *saliendo las moléculas del orificio de un vaso tienen la misma velocidad que si cayesen libremente en el vacío de una altura igual á la del nivel del líquido por cima*

del centro del orificio: de donde resulta que la velocidad de la corriente depende de la profundidad del orificio bajo el nivel, y de ninguna manera de la naturaleza del liquido; todos los cuerpos que caen en el vacío de una misma altura adquieren la misma velocidad; consecuencia verdaderamente maravillosa porque el mercurio que pesa trece veces y media mas que el agua, no adquiere mas velocidad; y así si suponemos una columna de 32 pies sobre el orificio, la presión para el agua correspondería al peso de una sola atmósfera mientras sería mucho mas considerable para el mercurio, que equivaldría entonces al peso de trece atmósferas y media. Resulta de este hermoso teorema que en un mismo liquido las velocidades de la corriente son como las raíces cuadradas de las profundidades de los orificios bajo el nivel, por que las velocidades que adquieren los cuerpos al caer son entre si como las raíces cuadradas de las alturas de donde caen. Si por tanto, se tuviese una columna de liquido de cien pies de altura, y se le hiciesen dos aberturas una en la parte inferior esto es, á cien pies bajo el nivel, y la otra un pie solamente bajo la superficie, la velocidad del liquido saliendo por el orificio inferior sería 10 veces mayor que la del liquido que sale por el superior.

Contraccion de la vena fluida.

Quando se hace una abertura en el fondo de un vaso, ó en una de sus paredes laterales sabemos que el liquido toma la forma de este orificio, y se esparce despues de presentar en cierta estension una columna trasparente que parece inmovil. Al salir por este orificio la columna tiene el mismo diametro que él, pero bien pronto empieza á disminuir mas y mas hasta cierto límite, que se llama *contraccion de la vena*, mas allá del cual aumenta nuevamente hasta su dispersion. Si el orificio en vez de ser redondo fuese cuadrado, no solamente se contraeria

la vena sinó se desfiguraria. En su origen presentará la (*fig. 93*), un poco mas lejos su seccion será una cruz (*fig. 94*), despues un cuadrado cuyos angulos corresponden á los lados del orificio; y esta forma continúa hasta mas allá de la contraccion; los orificios de formas diversas presentan particularidades mas ó menos análogas á estas.

Tubos adicionales.

Se dá este nombre á los tubos que se adaptan á los orificios hechos en paredes delgadas para facilitar la salida de los líquidos, Cuando los tubos adicionales son *cilindricos*, y del mismo diámetro que los orificios á que están unidos, bien pase la vena fluida sin tocar el tubo, ó quede *libre* como se dice, ó bien adhiera al mismo tubo, la corriente se verifica á todo grueso lo cual se designa por la expresion *á tubo lleno*; en este último caso la salida de líquido es mucho mas considerable que en el otro. Se puede aun facilitar la corriente aplicando un tubo *cónico*, y en este caso parece que la forma mas favorable es la que resulta de la reunion de dos troncos de conos opuestos, que representan exactamente la figura de la vena, es decir, que ri (*fig. 95*) sea tres veces igual á ci , y que LL sean las siete octavas de zz : se pueden tambien formar tubos que retarden la salida del líquido, para esto basta formarles algunas dilataciones en su longitud.

Los inconvenientes que se experimentan en estas dilataciones deben tener alguna analogia con los ensanches de los tubos adicionales, esto es, que disminuyen la velocidad de la circulacion.

Unidad de medida en la distribucion de las aguas.

Lo que se llama pulgada de agua es la cantidad de este líquido que sale en un minuto por una abertura circular de una pulgada de diámetro, practicada en una pared vertical y cuya altura sea una linea so-

bre la parte superior del orificio. Esta cantidad corresponde á 28 cuartillos; pero segun lo que hemos dicho de los tubos adicionales puede hacerse esta cantidad la mitad mayor.

Surtidores.

Segun el teorema de Torricelli la velocidad adquirida por las moléculas de un liquido en el instante en que sale por un orificio practicado en la pared inferior de un cilindro horizontal, que comunica con un receptáculo (*fig. 96*) debia elevarlo á la altura del nivel de este liquido en el depósito, pero muchas causas se oponen á ello, tales son el rozamiento con las paredes de los tubos de conduccion y contra el orificio, la resistencia del aire, y las aguas que caen desde el punto mas elevado sobre la columna ascendente. Se practica el orificio en paredes delgadas sin adaptarles tubos, porque cualquiera que sea su forma, cilindrica ó cónica, la altura del surtidor es menos considerable. Mariotte ha demostrado que en las circunstancias mas favorables el surtidor no tiene mas que cinco pies de altura en un receptáculo de cinco pies una pulgada, y que en general para determinar la altura que debe tener un depósito que produzca un surtidor de una altura dada, es necesario valuar esta altura por pies, añadir tantas pulgadas como unidades tenga la altura del surtidor dividirla por cinco y elevarla al cuadrado; asi para tener un surtidor de 100 pies será preciso dividir 100 por 5 que darán 20, que elevados al cuadrado da 400 pulgadas, ó 33 pies prosximamente que deben añadirse á los 100 del surtidor para saber la altura del receptáculo.

Reaccion producida por la corriente de los liquidos.

Si se suspende por un hilo un vaso cilindrico ó cúbico permanecerá inmovil, porque las presiones que se egercen sobre los puntos opuestos de sus

paredes verticales estan equilibradas ; pero si se ora da una de ellas el liquido se derramará hacienda experimentar al vaso un retroceso análogo al que experimenta un cañon. Se hace mas sensible este efecto por medio del *molinete hidráulico* ó la *máquina de reaccion*. Este aparato consiste en un tubo de cristal ó de metal, que lleva en su parte inferior otros dos cilindros mas pequeños, cuyas estremidades estan encorbadas perpendicularmente á su direccion ; el cilindro principal ó depósito está colocado verticalmente entre dos ejes ó suspendido por un hilo y adquiere un movimiento de rotacion muy rápido, cuando se deja salir el liquido abriendo las dos espitas RR' figura 97.

Bombas.

Se distinguen cuatro especies á saber; bomba de compresion sublevante, bomba de compresion impelente, bomba de atraccion sublevante y bomba de atraccion impelente.

La primera se compone de un cuerpo de bomba AB (fig 98) en cuyo fondo hay un tubo BN, abierto en su parte inferior, ó mas bien atravesado lateralmente de muchos agujeros que dejan pasar el agua sin permitirlo á otros cuerpos ; en la union de este tubo con el cuerpo de bomba hay una bálbula s, que levantandose deja entrar el agua en el cuerpo de bomba, pero bajandose en seguida le impide salir; el émbolo l que juega en el cuerpo de bomba está igualmente provisto de una bálbula, y coronado de un asa x por la cual está unido á la vara xX, que sirve para ponerlo en juego ; á la parte superior del cuerpo de bomba esta adaptado el tubo AT que lleva en lo alto un tubo de descarga T. Si se eleva el émbolo bajando la palanca YZX de modo que se coloque en la posicion yZu el émbolo se elevará en el cuerpo de bomba AB un espacio igual á Xu ; y levantandose en este tiempo la bálbula s dejará pasar el agua del deposito al cuerpo de bom-

ba por la presión del agua exterior y del aire atmosférico: si se baja en seguida el émbolo, la presión que resulta cierra la válvula *s* y abre la *S*, y por esta causa el agua que antes estaba bajo el émbolo se halla encima, oprime la válvula *S* contra la boca, é impide volver á descender al líquido. Un segundo golpe de émbolo introducirá en el cuerpo de bomba otra cantidad de agua que bien pronto estará sobre él cuando haya bajado otra vez, de manera que al cabo de un cierto número de golpes, el tubo *AT* estará lleno: desde entonces á cada golpe de émbolo dejará salir el tubo de descarga *T* una masa de agua igual á un cilindro cuya base será igual á la superficie del émbolo y su altura á *Xu*.

La bomba de compresión impelente consiste en un cuerpo de bomba cerrado por abajo, abierto por su parte superior, y en el cual se mueve un émbolo *k* (*fig. 99*) cuya válvula *S* está colocada en la estremidad inferior del émbolo, abriéndose de arriba abajo; el tubo ascendente *DO* está puesto al lado del cuerpo de bomba con el cual comunica, y en el punto de su reunión hay una válvula *s*. Por su propio peso llena el agua el cuerpo de bomba, que está enteramente sumergido en el líquido cayendo por la abertura *C*; si se baja entonces el émbolo *k* trayendo la palanca *YXZ* á la posición *yuZ*, la resistencia del agua contra la válvula *S* la cierra inmediatamente; este agua no pudiendo ya escapar á la parte superior del émbolo, y estando comprimida sube por el tubo *DO* levantando la válvula *s*, que tan luego como se eleva el émbolo se cierra por la presión del agua que acaba de pasar sobre ella. La válvula *S* vuelve á abrirse al mismo tiempo por su propio peso y por el del agua, de manera que una nueva cantidad de agua pasa bajo el émbolo el cual la impele al tubo ascendente: al cabo de cierto número de golpes de émbolo saldrá el líquido por el tubo de descarga *O*.

La bomba atracción sublevante está compuesta de un cuerpo de bomba *AB* (*fig. 100*,) abierto por arriba y en cuya parte inferior está adaptado un tubo *FP* de

aspiracion : una bálbula está colocada en la uniuon del tubo y el cuerpo de bomba; sirve levantandose para dejar pasar el agua del tubo de aspiracion PF al cuerpo de bomba AB, é impedirle bajandose volver á descender por el mismo cilindro, un émbolo semejante al de la bomba de compresion sublevante se mueve en el cuerpo de bomba AB.

Cuando la bomba no está en juego las dos bálbulas estan cerradas ; pero si se eleva el émbolo I, el aire contenido en el tubo de aspiracion desde la superficie del agua *aa* hasta la bálbula, teniendo mas espacio que ocupar pierde su fuerza elástica enrareciéndose, y no puede equilibrarse con el aire exterior que oprime con ventaja la superficie del agua; obligada esta entonces sube por el tubo de aspiracion hasta que la elasticidad del aire interior unida al peso de la columna de agua se equilibre con la presion atmosférica. Después de algunos golpes de émbolo llega el agua al cuerpo de bomba, pasa el traves del émbolo levantando sucesivamente las bálbulas *s, S*, y elevandose el embolo la obliga á salir por el tubo de descarga. Es inútil decir que el tubo de aspiracion no puede tener mas de 32 pies de elevacion ; y aun en la práctica no se le dá mas que de 20 á 25. Por haber ignorado este principio los fontaneros de Cosme de Medicis, gran duque de Toscana, que descaban subir el agua á 50 ó 60 pies se admiraron viendo que no pasaba cierto limite, y fueron á consultar á Galileo sobre la causa de su admiracion. Se ha pretendido, pero en vano ciertamente, que el grande hombre respondió *que se elevaba hasta aquel punto y no mas, por que la naturaleza solo tenia horror al vacio hasta los 32 pies.*

La bomba de atraccion impelente difiere de la anterior solamente en que el émbolo es solido, y ademas en que al lado del cuerpo de bomba hacia la parte inferior esta adaptado un tubo ascendente HR (fig. 101) en cuyo fondo lleva una bálbula *s*, y un tubo de descarga R.

Arriete Hidraulico.

Esta máquina descansa sobre el principio que un liquido que se mueve en un canal, cuya abertura se cierra de repente, ejerce contra todos los puntos de la pared una accion tanto mayor cuanto sea mas considerable la masa del liquido, y la rapidez con que se mueva.

Si pues hubiese un orificio en algun punto del canal saldría por el un chorro de agua que se elevaría en el primer momento á mas altura que el nivel del liquido en el depósito. Al mismo genio que creó los globos aerostáticos debemos el arriete hidraulico cuya descripcion vamos á dar.

CC (fig. 102), *cuerpo del arriete* es un canal en el cual se mueve el agua de un depósito que correría por el orificio O, si nada se opusiera á ello: en esta estremidad se ajustan diferentes piezas que constituyen la cabeza del arriete, las cuales son una bala hueca B que descansa sobre correas ó *bozales*, y cuya densidad es doble de la del agua; este liquido por su velocidad se aplica contra la abertura O, donde hace el oficio de bálbula por cuya razon se le llama *balbula de descenso*. Otra bala b menor y de la misma densidad que la primera, tapa la abertura o que se levanta de abajo arriba y lleva el nombre de *bálbula de ascension*; A es un depósito de aire de donde parte un tubo CC' que sirve para conducir el agua; s es una pequeña bálbula, que abriéndose de fuera á dentro, está destinada á suministrar aire al depósito A. "He aqui, dice Mr. Hachette, los efectos de esta máquina puesta en movimiento, el agua corriendo por el orificio O adquiere la velocidad debida á la altura de su caída; y obliga á la bala B á salir de su bozal y elevarse hasta el orificio o. Este orificio está terminado por rodetes de cuero, ó de telas embreadas contra los cuales la bala se aplica exactamente; al momento que se detiene el curso por este

orificio, levanta el agua la bala b que cierra el orificio o del depósito de aire A ; esta se introduce al mismo tiempo en el depósito, y en el tubo de ascension CC' y pierde en fin la velocidad que tenia en el momento en que la abertura o se ha cerrado; entónces las balas Bb vuelven á caer por su propio peso sobre su bozal, el agua del depósito principia á correr de nuevo por el orificio O la balbala b se cierra, y los mismos efectos se reproducen en un tiempo que no cambia sensiblemente en un mismo arriete."

Nosotros remitimos para mas pormenores á la obra del sabio matemático, cuyas palabras acabamos de citar, y nos contentaremos con decir que en la practica el arriete hidraulico dá mas de 60 por ciento de fuerza real al agua del depósito; cantidad que dá la rueda de cangilones mejor construida.

Movimiento de los gases.

Los gases están sometidas al teorema de Torricelli cuando los orificios por donde salen están practicados en paredes delgadas, es decir, que *las moléculas tienen al salir del orificio la misma velocidad que si hubieran caído de una altura igual á la del nivel*. Observemos que la altura de la columna gaseosa de este teorema, no es la *altura real* de la columna que está sobre el orificio; y que la columna segun la cual debe determinarse la velocidad es mucho mas pequeña. Para establecer este calculo se supone *una columna liquida que tenga la misma densidad que la capa gaseosa del orificio, y de una altura tal que pueda ejercer sobre esta capa toda la presion que sostiene*; la superficie de esta columna imaginaria es el nivel de donde se juzga que descenden las moléculas. Para fijar las ideas dirémos que en el nivel del mar en que la presion atmosférica es de 28 pulgadas francesas, siendo la densidad del aire 0,0013 y la del mercurio de 13, 59, la columna de li-

quido de la misma densidad que el aire, que equilibraría la presión atmosférica, debería tener una altura

$$28 \times 13,59$$

de ————— ó 8130 varas, y en este caso la

$$0,0013$$

velocidad de las moléculas sería de 285,5 varas por segundo que es la velocidad del aire entrando en el vacío.

Una de las consecuencias curiosas de este teorema es que á la misma temperatura la velocidad del aire saliendo de un vaso donde estuviera comprimido por cien atmósferas sería de 285,5 varas por segundo, como la del aire al penetrar en un recipiente en que la densidad del aire fuese una centésima parte de la de la atmósfera.

Otra consecuencia no menos admirable es que entrando los diferentes gases en el vacío adquieren velocidades, que están en razón inversa de las raíces cuadradas de sus densidades, porque son entre sí como las raíces cuadradas de las alturas de que se supone descienden las moléculas, y en razón inversa de las densidades que son las alturas. De donde resulta que el gaz mas ligero, el hidrógeno, se precipita mas rápidamente en el vacío; y como su densidad es de 0,0686 de la del aire, su velocidad debe ser de 1267,25 varas por segundo, esto es, doble de la de una bala saliendo de la boca de un cañón.

Hay todavía muchos otros fenómenos que se refieren al curso de los gases, tal como la contracción de la vena &c en cuyos pormenores no entraremos; pero no debemos pasar en silencio los gasómetros.

Gasómetros.

Se da este nombre á los aparatos que sirven para dar á los gases velocidades constantes en su curso. Cuando se quiere establecer una gran regularidad en el curso es preciso servirse de un aparato, cuya exactitud depende de la del vaso Mariotte. Esté pues

un vaso V (fig. 103) lleno de aire, que se quiere hacer salir uniformemente; se adapta á su parte superior un vaso de Mariotte provisto de una llave R, una abertura O por donde se llena de agua, cerrándola con un tapon, y un tubo TH que se mueve como se quiera. Segun lo que hemos dicho, tan luego como se abra la llave R saldrá el agua con una velocidad constante por P, y acumulándose en el fondo del vaso comprimirá el aire de una manera uniforme, y le obligará á salir con una velocidad constante por la llave R luego que esta se abra.

Los grandes gasómetros que se usan para el alumbrado están fundados en otro principio, y es el de un cilindro cerrado por el fondo, y vuelto dentro de un vaso como lo estaria una probeta en la cual se recojen gases. Este cilindro es de metal pero no se sumerge en el liquido del otro vaso por que está sostenido por el gas, y por otro lado lo está tambien por contra pesos. El gas sale entónces por un cilindro que se abre un poco mas arriba de la superficie del agua, y que tiene una llave que se abre cuando se quiere repartir el gaz en los tubos de conduccion: como el peso que carga los gasómetros es constante, lo es tambien su salida.

CAPITULO OCTAVO.

Leyes de la caída de los cuerpos.

Después de lo que dijimos de la caída de los cuerpos en el capítulo 2.^o de la *atracción y pesadez* solo nos queda que manifestar las leyes á que está sometida la velocidad que adquiere un cuerpo cayendo.

Se sabe que la dirección de la pesadéz es perpendicular al horizonte ; que esta tendencia dirige todos los cuerpos hácia el centro de la tierra, pero siendo la tierra un esferoide aplanado por los polos, como dirémos al hablar del péndulo, se sigue que la dirección de todas las fuerzas *no deben concurrir en un solo punto*. Nos falta determinar si la velocidad varía mientras la caída de un cuerpo, y caso que esto suceda, la ley que sigue esta variación en la naturaleza. No se puede con facilidad valuar directamente el espacio que corre un cuerpo en un tiempo dado, por la resistencia del aire, y demás causas que pueden influir.

Se habia imaginado en un principio que á diferentes distancias de la tierra la acción de la pesadéz no era la misma ; pero como ensayando á grandes alturas, y hondas profundidades, no habian hallado diferencia sensible en la rapidéz de la caída se habia concluido, que era invariable.

Newton probó después que la atracción de la tierra obra tanto menos sobre los cuerpos, cuanto mas distantes estan segun este fisico, si la luna abandonada á la fuerza centripeta que la solicita cayera

sobre nuestro globo, correria cerca de 15 pies y una pulgada en el primer minuto de su caída; espacio que un cuerpo corre en un solo segundo en la superficie de la tierra. Si este cuerpo cayera por tiempo de un minuto, el espacio que correria, como lo probaremos mas adelante por las leyes de aceleracion, seria 3600 veces mayor, que si hubiera sido llevado á la misma distancia que la luna; pero la luna está 60 veces mas distante del centro de la tierra que los cuerpos que estan en su superficie; y ademas 3600 es el cuadrado de 60.

Se ha deducido de aqui que la accion de la pesadez disminuye como aumenta el cuadrado de la distancia, y he aqui como se puede juzgar de la intensidad de la pesadez, á una distancia como la de la luna, admitiendo con Newton que la fuerza centrípeta de ella es la misma que la de los cuerpos terrestres. Supongamos (fig. 104) que la tierra esté representada por *t* y la luna por *L*, la orbita de la luna por *L, A, B, C*; es claro, segun lo dicho antes, que no puede describir esta curva sino en virtud de la composicion de dos fuerzas; y como se pueden valuar los lados de un paralelogramo cuando se conoce su diagonal, y las fuerzas componentes cuando se conoce la resultante, y ademas se puede tambien calcular la velocidad de la luna y la curva de su órbita, podemos llegar á la apreciacion de su fuerza centrípeta hacia la tierra. Para ello supongamos que *LC* representa el arco de la órbita lunar corrido en un minuto; *LD* representa la cantidad que este astro se aprocsima á la tierra; *LE* la que se alejaria por la tangente, si la fuerza centrípeta fuese destruida, *LD* es pues la cantidad que representa 15 pies y una pulgada. La luna por la accion de su fuerza centrípeta, debe acercarse á nosotros una cantidad igual al cuadrado del arco que ella describe, dividido por el número que representa el diámetro de su orbita; pero el arco que describe la luna en un minuto de su movimiento medio, es de.....71494,062 varas castellanas. El cuadrado de este nú-

mero es de.....5111400901,259 varas.

Este número dividido por el diámetro de la órbita

que es de.....8950137943,18 varas.

Dá por cociente.....5,611 varas.

En efecto la experiencia ha demostrado que en París, un cuerpo cayendo corre á poco diferencia 15 pies franceses en el primer segundo; en el segundo siguiente 3 veces la misma cantidad; 5 veces el mismo número en el tercer segundo &c. y que en una palabra, si se representa por uno el espacio corrido en el primer segundo, los espacios corridos en los segundos siguientes, crecerán en la progresion aritmética de los números 1, 3, 5, 7, 9 se sigue de esta progresion que al fin de cada tiempo, la suma de los espacios corridos es como el cuadrado de los tiempos; al fin del primer segundo, el espacio es 1 cuyo cuadrado es 1; al cabo del segundo el espacio es 4 (1 por el primero y 3 por el segundo) el cuadrado de 2 es 4: al fin del tercer segundo el espacio es 9 (1 por el primero, 3 por el segundo y 5 por el tercero) el cuadrado de 3 es 9; al fin del cuarto tiempo el espacio es 16.

Si ahora remplazamos la unidad por el número que corre realmente un cuerpo cayendo en un segundo, espacio que es cerca de 15 pies, tendremos para corresponder á la progresion aritmética 1, 3, 5, 7, 15 pies, 45 idem, 135 pies &c. Se pueden demostrar estas leyes por medio de una máquina ingeniosa que lleva el nombre de su inventor Athwood; he aquí en que consiste esencialmente esta máquina, prescindiendo de las perfecciones que le han dado muchos artistas, tales como el movimiento de un péndulo que sirve para indicar el numero de segundos en que se verifica la caída; el resorte que hace empezar la caída á un momento dado &c.

A, (fig. 105) es una pólea muy ligera, y suspendida de modo que tenga el menor rozamiento posible (ordinariamente el eje de la pólea descansa sobre dos ruedas que hacen el rozamiento mucho menos con

siderable); BC son dos cuerpos cilíndricos perfectamente iguales en peso y volumen, y unidos por un hilo muy delgado DEF que pasa por cima de la polea: GH son dos pequeñas masas que se llaman pesos adicionales y se pueden poner como se quiera sobre el cuerpo B: KL es una regla graduada; e I un anillo que se puede fijar indiferentemente en cualquier lugar de la escala, siendo bastante ancho para dejar pasar el cuerpo B y estrecho para detener el peso adicional H.

Los pesos BC están en equilibrio, como hemos dicho, pero si se sobrecarga el cuerpo B con el peso adicional G faltará el equilibrio; y como el pequeño cuerpo está obligado á ceder una parte de su velocidad, desciende mas lentamente y en una relacion que se puede hallar facilmente, conociendo su peso asi como el de las masas B, C, movidas por su caída. Si se pone la parte inferior del cuerpo B, cargada de la masa G, á la altura del cero, y se le abandona en seguida, teniendo cuidado de contar en un péndulo que mide los tiempos iguales adecuados á estas caidas, se verá que al fin del primer tiempo la estremidad inferior del cuerpo B estará en 1; al cabo del segundo en 4; y al fin del tercero, en 9.

Ecsaminemos ahora lo que sucederia, si este peso adicional no obrara mas que por cierto tiempo; y para ello sustituyamos el peso H al G; volvamos á poner la parte inferior de B en cero y dejémosla caer de nuevo. Al fin del primer tiempo, cuando la parte inferior B llegue á 1, el peso H quedará sobre el círculo I; lo cual quitará al cuerpo B su peso adicional y detendrá la accion de su pesadez. El cuerpo B adquirirá entonces una velocidad uniforme tal que al fin del primer tiempo, su parte inferior corresponde á 1; al fin del segundo, á 3; al cabo del tercero, á 5; al fin del cuarto tiempo, á 7 &c. siempre en la progresion aritmética arriba enunciada. De aquí se vé que si la pesadez cesa de obrar, continuará el cuerpo moviéndose con la velocidad adquirida, y correrá en el segundo tiempo de su caída un espacio

doble del que corrió en el primer tiempo.

Antes de conocer la máquina de Athwood determinó Galileo las leyes de la caída de los cuerpos, por medio del siguiente aparato.

Plano inclinado de Galileo.

Este aparato de Galileo no es un plano propiamente dicho sino una línea inclinada sobre la cual se desliza un cuerpo, ordinariamente es una cuerda muy delgada de 20 pies de largo, tendida entre dos puntos fijos y sólidos y sobre la cual debe rodar un carrito. En este caso produciría la pesadez todo su efecto, si la cuerda estuviese verticalmente; por el contrario no produciría ningún movimiento si estuviese horizontal; y como la de que se trata tiene cierto grado de inclinación, la pesadez se disminuye en una relación fácil de calcular, estando la velocidad representa por su valor primitivo, multiplicada por el seno del ángulo de inclinación de la cuerda sobre el horizonte. Como se puede sin cambiar nada la relación de los espacios corridos en tiempos dados, disminuir ó aumentar el movimiento absoluto que una fuerza imprime, cualquiera que sea la relación en que se aumente ó disminuya esta fuerza, la ley que vamos á observar en la caída sobre un plano inclinado, se aplica á la pesadez misma. Pero si se desliza el carro, y se notan los espacios que corre en los dos primeros tiempos de su caída, se halla que estos espacios son entre sí como el cuadrado de los tiempos empleados en correrlos.

Siendo muy difícil y aun imposible apreciar exactamente por medio de la máquina de Athwood, ó del plano inclinado, si la intensidad de la pesadez es la misma en todos los climas, ha sido forzoso recurrir á otros medios que nos ofrece el péndulo.

Del péndulo.

Este instrumento es un cuerpo pesado A (fig. 106)

suspendido del hilo CE , en el punto fijo C , á cuyo alrededor puede describir arcos mas ó menos grandes, como BD , FG , que se llaman oscilaciones ó vibraciones.

Se dá el nombre de *duracion de la oscilacion* al tiempo que el cuerpo A gasta en correr el arco BD .

Cuando se aleja el péndulo de la vertical y se le lleva á F ó B desciende describiendo la curva BA ; y sube por la AD en virtud de la velocidad adquirida hasta que esté en G , ó D , altura igual por el lado contrario del arco á aquella de donde salió, llegado á este punto cae de nuevo, y volveria á subir á F ó D , para volver al punto G ó D , oscilando indefinidamente de este modo, si la rigidez del hilo y la resistencia del aire no se opusieran á ello.

Cuando las oscilaciones son muy pequeñas su duracion es independiente de su amplitud; se les llama isócronas, por que todas se hacen en tiempos iguales. Cuando las oscilaciones tienen una amplitud de 4 ó 5 grados, su duracion se hace sensiblemente mayor. El peso de la bala y la naturaleza de la sustancia que la componen no influye nada en esta duracion. La duracion de las oscilaciones de muchos péndulos, cuyas varas son de diferentes longitudes es como las raices cuadradas de las longitudes de estas varas; en efecto si se toman tres péndulos, cuyas longitudes sean entre si como los numeros 1, 4, 9, la duracion de las oscilaciones será, como los numeros simples 1, 2, 3, ó si se quiere, el péndulo 1 comparado á aquel cuya longitud es 4, hace dos oscilaciones por una de este, y tres por una del péndulo cuya longitud es 9.

Las leyes que acabamos de enunciar sobre la velocidad relativa y el numero relativo de las oscilaciones de muchos péndulos de diferentes longitudes subsistirán aunque se aumente ó disminuya la accion de la pesadez; solamente en el primero de estos casos, la duracion absoluta de cada oscilacion seria mas corta, asi como en el segundo caso seria mayor.

Esto nos da, pues, un medio para conocer, comparando en todos los puntos del globo el numero abso-

luto de oscilaciones, que hace un péndulo cuya longitud permanece constante, en un mismo espacio de tiempo, si la intensidad es la misma en todos los lugares de la tierra.

Antes de hablar de la aplicación de este instrumento á la valuacion de la pesadez, hablaremos del péndulo compuesto que es el que realmente sirve mientras que el que acabamos de mencionar no es mas que una representacion de lo que sucede teóricamente, por que hemos supuesto toda la materia que lo compone reunida en un solo punto. Se llama este péndulo compuesto por que la velocidad de sus oscilaciones se compone de la velocidad que tendria cada una de las moléculas que forman la vara, y la masa misma del péndulo, obrando á distancias desiguales del centro de movimiento.

Para comprender éste mejor, damos el ejemplo siguiente: sea *FP* (*fig.* 107) un péndulo ordinario, *F* el punto fijo, *P* el disco y *F* la vara. Se concibe facilmente, segun lo que hemos dicho, que el punto *m* y otros, y aun todos los que esten proximos al centro de suspension marcharian mas lentamente mientras que los puntos *p* y los que esten muy distantes iran mas despacio; los primeros son pues retardados y los segundos acelerados en su velocidad; pero entre todos estos puntos debe haber uno que no sea acelerado ni retardado, y ese punto es el que se llama *centro de oscilacion*, que es el centro de gravedad comun á la bola y á la vara tomadas juntas.

Se llama *pendulo sexagesimal* al que hace una oscilacion en un segundo. En Paris la longitud de este péndulo es de 42,69 pulgadas castellanas; en Londres de 42,74 pulgadas castellanas; esta última longitud ha sido determinada en 1818 por el capitán Kater, por medio de un ingenioso aparato que inventó.

Este instrumento es un péndulo con una vara gruesa que lleva dos cuchillos colocados de tal modo que el filo del uno sea el centro del oscilacion del otro, por y consiguiente despues de haber hecho oscilar el péndulo sobre uno de los cuchillos, se en-

cuentra exactamente la misma duracion, y el mismo número de oscilaciones volviendo el aparato de arriba abajo para hacerlo oscilar sobre el otro. La distancia de los dos cuchillos es entónces la longitud absoluta del péndulo. Haciendo oscilar sobre diferentes puntos de la tierra un péndulo cuya longitud sea constante se vé que la velocidad de las oscilaciones varia de un lugar á otro; hasta 1672 no tuvo ocasion de sospechar Richer este hecho observando que los péndulos llevados á Cayesna, situada á 5 grados de latitud, aunque perfectamente arreglados para oscilar en un segundo en Paris median tiempos sensiblemente mayores que en esta última ciudad, pues que se veia obligado á cortarlos línea y cuarto para hacerlos oscilar en un segundo. Richer imaginó al principio que el calor, que era mayor que en Paris; habia hecho alargar las varas; pero cuando calculó la influencia de la temperatura, halló que era mas considerable la dilatacion que se notaba, que la disminucion que era necesario hacer. Se inclinó pues á creer que la accion de la pesadéz debia ser mas debil hacia el ecuador que en una latitud mayor, pero su opinion halló poderosos antagonistas en Pacard, Bartholin, Spole y Rómer que aseguraron que los péndulos de Uranibourg, Paris y Momtpellier debian tener la misma longitud. Despues de muchas contestaciones en fin se convino en que la intensidad de la pesadéz crecía caminando del ecuador á los polos.

Cuando este hecho fué bien reconocido, se quiso esplicar por la fuerza centrífuga que obraba en sentido opuesto á la pesadéz, y aumentaba en sentido inverso, esto es, que es tanto mayor quanto se aproxima uno mas al ecuador. Esta esplicacion sedujo á casi todos los fisicos; sin embargo Bouguer, calculando la fuerza centrífuga en diferentes latitudes, demostró el primero la falsedad de esta esplicacion, é hizo ver que el aumento de la pesadéz tal como se observa del ecuador á los polos, no sigue exactamente la misma proporcion en que dis-

minuye la fuerza centrifuga caminando en la misma direccion. Era necesario pues deducir que se aproximaba uno al centro de la tierra dirigiendose del ecuador á los polos, y por consiguiente el diametro que pasa por los polos del globo es mas corto que el que pasa por el ecuador, y que la tierra estaba aplanada por los polos. Newton fué el primero que emitió esta opinion. Despues de Newton ha sido forzoso admitir el mismo hecho por diversas medidas de los arcos de los meridianos practicadas en diferentes latitudes: en el Peru, por Bouguer y La Condamine; en el cabo de buena Esperanza por la Caille; en la India por Lambton; en Pensilvania, por Moson y Dixon; en Italia por Lemaire y Boscowich; en Francia por Mechain, y Delambre; en España sobre las costas del Mediterraneo por Arago y Biot: en Inglaterra por Roy, Delambre, y Mechain, y en Suecia por Melanderhiel: porque de estas medidas resulta que la longitud de los grados va en aumento del ecuador á los polos, y por consiguiente la tierra esta aplanada hacia los polos.

En efecto si la tierra fuera esférica todos los grados serian iguales, si por el contrario hay diferencia es forzoso admitir que el esferoide terrestre no es regular; y si esta aplanada como se vé (*fig.* 108) dos lineas verticales cerca del ecuador formando entre si un angulo de un grado, se encontrarán mas pronto hacia el ecuador que las verticales que formen un angulo igual en los polos. Entonces perteneciendo el arco de un grado hacia el ecuador á un diametro mas pequeño sera mas corto que el arco de un grado cerca de los polos, y por consiguiente es forzoso admitir las consecuencias que resultan de las observaciones que acabamos de referir, á saber, que siendo la longitud de los grados cerca de los polos mayor que en el ecuador, la tierra está ensanchada por el ecuador y aplanada por los polos.

Se ha hallado combinando las medidas tomadas por los sabios, que el radio de la tierra en el ecua-

dor es de.....7626872,864 varas ó 1144,03

leguas castellanas de 20 al gr.^o

El mismo en el polo...7602159,504 varas ó 1140,323

leguas.

La diferencia.....24713,36 vars. ó 3,707 leguas.

Y como el aplanamiento es la diferencia entre los radios del ecuador y del polo dividida por el radio

1

del ecuador , es de _____

308,62

El radio medio , es decir , que el que corresponde á la latitud de 45.^o , es de 7614927,02 varas castellanas ó 1142,19 leguas castellanas de 20 al grado.

Se ha hallado compariendo las medidas tomadas por los sabios que el radio de la tierra es el ecuador y se han tomado por los polos...
que es el ecuador, la tierra está ensanchada por el
la longitud de los radios cerca de los polos mayor
ciones que acabamos de referir á saber que siendo
tir las consecuencias que resultan de las observa-
ca de los polos y por consiguiente es lo mismo áun-
pedeño para este caso que el arco de un grado en
arco de un grado hacia el ecuador / un grado mas
ángulo igual en los polos. Entonces partiendo el
hacia el ecuador que las verticales que forman un
un ángulo de un grado, se encuentran en un punto
líneas verticales cerca del ecuador formando entre sí
gular: y si esta apicada como se ve (p. 108) des-
es lo mismo, admitiendo el círculo terrestre no se re-
dos serian iguales, si por el contrario hay diferen-
en efecto si la tierra fuera esférica todos los gra-

CAPITULO NOVENO.

Acústica.

Produccion y propagacion del sonido.

Quando las moléculas de los cuerpos elásticos son desalojadas momentaneamente de su posicion ordinaria vuelven á ella formando oscilaciones isócronas mas ó menos numerosas, que se comunican al aire por si mismo elastico, y que se propagan á lo lejos por su medio, despues de haber ecsitado las capas más próximas de un modo analogo al que se observa cuando se arroja una piedra en la superficie del agua tranquila; por que se vé entonces propagarse las ondas circularmente al rededor del centro del sacudimiento. Cuando estas oscilaciones de los cuerpos elásticos son muy rápidas producen en nosotros la sensacion del sonido, y la mayor ó menor rapidez engendra los tonos graves ó agudos. Es facil en efecto conocer que estas vibraciones son muy rapidas, cuando los cuerpos son conmovidos de manera que produzcan sonido; basta para esto acercar el dedo á una pequeña lamina metálica, por egemplo, una campana, para sentir una multitud de vibraciones. No es menos fácil demostrar que resulta el sonido de estas vibraciones cuando tienen cierto grado de velocidad: no hay mas que hacerlas muy lentas pri-

mero, y sucesivamente mas rapidas tomando una cuerda estirada por un peso débil para contar las oscilaciones y se verá que en este caso el sonido no es sensible: se añaden despues nuevos pesos que acelerando las undulaciones las hacen demasiado rapidas para contarlas, y producen el sonido mas agudo pero entonces el calculo suple la falta de nuestros sentidos, y nos descubre esta rapidéz siempre que tengamos conocida la longitud y el peso de la cuerda, y tambien el que la estira. Se ha hallado que los sonidos dejan de ser sensibles aun al oido mas delicado cuando una cuerda hace menos de treinta y dos vibraciones por segundo, que es lo que produce el sonido de un cañon de organo de treinta y dos pies abierto por su estremidad. Tambien es facil demostrar que el sonido se transmite por el aire, cuando no hay ninguna otra sustancia interpuesta entre el oido y el cuerpo sonoro, y para evidenciarlo se toma una pequeña campana se le suspende con un hilo de cañamo en un recipiente en que se hace el vacio; mientras hay aire en el se oye muy bien el sonido de la campana, pero cuando no lo hay en vano se agita la campana; si se deja entrar poco á poco aumenta el sonido de intensidad en proporcion á la cantidad de aire que ha entrado. Todos los fluidos elásticos y los vapores transmiten el sonido; asi, para hacer la experiencia que hemos citado es necesario secar el recipiente por medio de la potasa cáustica, el cloruro de calcio ó cualquiera otra sustancia absorbente de la humedad.

Los liquidos transmiten muy bien el sonido y Franklin nos asegura haber oido bajo el agua el ruido de dos piedras que se golpeaban una con otra á la distancia de media milla: lo mismo sucede con los solidos por esta razon oye el minero los golpes del que está al lado opuesto, y se sirven de esto como de guia cierta par a dirigirse hacia su compañero, y comunicar las galerias subterranas. Esta transmision se observa aun mejor en los aqueductos donde se halla una larga serie de tubos metálicos; si alguno dá un gol-

pe en una de las estremidades , mientras que se aplica el oido al otro extremo, se oyen dos sonidos, uno mas rapido que llega por el canal , y otro mas lento que viene por la atmósfera. Diremos de paso que M. Delaplace ha calculado que estando representada la velocidad del sonido en el aire por 1, lo estaria por $4\frac{1}{2}$ para el agua pura, 4, $\frac{7}{10}$ para el agua del mar y 10 para el laton.

Ecsaminaremos como pueden transmitirse por el aire las vibraciones, y pues que su continuidad hace la transmision durable, y prolongado el sonido, podemos considerar el fenómeno en toda su sencillez, observando lo que pasa en un sacudimiento instantaneo, como la esplosion de un arma de fuego. Si suponemos que la esplosion tenga lugar en una masa de aire esférica , en el momento de suceder las moléculas de esta esfera son rechazadas fuertemente, comprimen á las inmediatas, que á su vez rehacen sobre las siguientes para transmitirles una fuerza , que comunicándose de instante en instante va siempre decreciendo hasta que llega á cierta distancia del centro de esplosion en que ya se hace insensible. Pero cuando ha cesado la causa de la esplosion las moleculas que habian sido comprimidas dilatandose por su elasticidad propia empujan los obstáculos que se les presentan; por consecuencia las moleculas que nada habian experimentado en el primer instante son comprimidas igualmente despues y se rehacen del mismo modo sobre las siguientes ; de manera que por estas condensaciones y dilataciones se propaga la undulacion en la masa de aire, como se vé transmitirse el movimiento en una serie de bolas elasticas cuando se choca la primera.

Velocidad del sonido.

La esplosion de que acabamos de hablar, puede servirnos para determinar alguna de las propiedades del sonido, su velocidad por egemplo: en efecto la luz que lo acompaña podrá darnos el instante

físico en que se hace la explosión, pues es tan rápida la transmisión de la luz que á todas las distancias en que podemos observarla parece instantánea. Por este medio determinaron en 1738 los miembros de la Academia de Ciencias la velocidad del sonido que se creía de 889,7 pies castellanos por segundo, y hallaron ser de 401,24 varas castellanas en el mismo espacio de tiempo. Las experiencias se hicieron entre Montmartre y Montlhery haciendo la señal con un cañon de artillería.

Se observó el tiempo que pasaba desde que se veía el fuego hasta oír el ruido, y dividiendo el espacio (cerca de 34510 varas) por el tiempo observado, se obtuvo la velocidad del sonido. De estas experiencias y de las hechas en 1822 por una comisión encargada á los miembros de la Academia de Ciencias resulta que la velocidad del sonido es constante, que es sensiblemente la misma en los tiempos de lluvias y en los secos, que la intensidad del sonido no tiene influencia alguna en su velocidad y que la dirección y fuerza del aire lo tienen manifestándose de la manera siguiente. Si su dirección concurre con la del sonido se aumenta la velocidad, si es perpendicular á la propagación, la velocidad no se altera, y en fin la rapidez disminuye cuando el viento corre en dirección opuesta.

Cuando se compara la velocidad dada por una teoría fundada sobre las leyes de la mecánica, y la que se halla por la experiencia, se ve que esta última (401,24 varas castellanas) es casi una sexta parte mas considerable que la otra (336,07 varas á diez grados) M. Delaplace pensaba que se debía atribuir al calor desprendido en el aire por la compresión la diferencia que se observaba entre estos números: lo que hace probable este desprendimiento, que no se puede evidenciar, es que los calculos hechos en esta hipótesis por Delaplace y por M. Poisson dan resultados que se acercan mucho á los que provienen de la observación.

De las fórmulas dadas por los matemáticos se saca una consecuencia importante para la distinción

que se debe hacer entre la velocidad é intensidad del sonido; por que la velocidad debe ser la misma en todas las alturas de la atmósfera, mientras que la intensidad disminuye de tal manera, que Sanssure nos dice que en las elevadas regiones de los Alpes no se oye sino á corta distancia el ruido de un tiro de escopeta ó pistola. La velocidad del sonido puede dar lugar á observaciones curiosas y alguna vez importantes: tales son las que indican la distancia de una ciudad sitiada por el numero de segundos ó fracciones de segundos que pasan ó corren desde que se observa el fuego hasta que se oye el ruido, ó la distancia del rayo que truena manifestandose por la que media entre los relampagos y el trueno.

Del ruido y del sonido musical.

Es necesario distinguir en el sonido, el ruido y el sonido musical; este consiste en una serie de vibraciones isócronas, que producen en nuestro oído una acción agradable, mientras el ruido es un choque instantáneamente comunicado á las partículas aéreas. En el sonido musical deben hacerse tres distinciones, relativas á la *intensidad*, al *tono* y al *metal del sonido*. 1.º la intensidad depende de la amplitud de las vibraciones, y se puede uno convencer de ello pasando un arco de violin por un instrumento de cuerda; 2.º el tono depende del numero de vibraciones que se efectúan en un tiempo dado, lo cual determina el sonido grave ó el agudo; y 3.º el metal es la cualidad particular en los sonidos que hace distinguir un instrumento de otro, desuerte que los producidos por una flauta difieren de los de un violon &c.

De la onda sonora.

Supongamos una lamina elástica colocada en una columna cilindrica de una densidad uniforme y vibrando perpendicularmente á esta columna: al principio esta lamina elástica agitará la capa de aire

que la toca é inmediatamente la empujará y comprimirá ; despues á su vuelta dejará un vacio donde esta capa podrá dilatarse de tal manera que las particulas de aire contiguas á la lamina que vibra, irán y vendrán como ella por vibraciones semejantes. Estas particulas de aire por sus vibraciones agitarán las inmediatas, estas á las que le sigen, y asi la conmocion se continuará indefinidamente mientras el cuerpo elastico vibre ; y á la reunion de las diferentes undulaciones comunicadas sucesivamente á las diversas capas de aire es á lo que se ha dado el nombre de *onda sonora*.

Disminucion de la intensidad del sonido.

Cuando el sonido se propaga en una masa de aire como por ejemplo, un tubo cilindrico, ha demostrado la experiencia que puede propagarse á grandes distancias conservando la misma intensidad.

A la verdad el rozamiento de las particulas del aire con las paredes del tubo quita una parte del movimiento, y debe disminuir necesariamente la intensidad del sonido ; pero M. Biot observó en los acueductos de Paris, á una longitud de 1131 varas castellanas, que la voz mas baja de una persona puesta á una de las estremidades de aquella larga serie de tubos se oia muy distante por el observador, que estaba en la otra estremidad.

Lo que prueba aun la constancia de la intensidad del sonido en un tubo cilindrico es que saliendo de él, se propaga á una distancia de su estremidad esactamente igual á aquella donde hubiera sido transmitido saliendo del centro de agitacion si se hubiera producido directamente en el aire libre.

Cuando por el contrario el sonido es producido en una masa de aire indefinida, se propaga al rededor de su centro al principio á la primera capa de aire, despues á la siguiente, y asi á las demas, de manera que á cada instante las particulas de aire agitadas se hallan sobre una superficie esférica cuyo radio vá sin

cesar en aumento. En este caso la intensidad del sonido disminuye en razón inversa del cuadrado de la distancia del centro de agitación.

Reflexion del sonido.

Cuando el sonido se propaga en una masa de aire indefinida las ondas sonoras que resultan se extienden indefinidamente; pero si encuentran un obstáculo son susceptibles de reflejarse á la manera del calorico y de la luz, es decir, haciendo un angulo de incidencia igual al de reflexion. La velocidad del sonido reflejo es exactamente la misma que la del sonido directo.

La intensidad del sonido reflejo es igual á la que tendria la onda sonora cuya longitud fuese la misma que la de la onda refleja, si esta hubiera propagado en línea recta.

Cuando un sonido es reflejado confusamente resulta lo que se llama *resonancia*; al contrario cuando es repetido distintamente se le llama *eco*; así pues un eco no es otra cosa que la reflexion ó repetición de un sonido.

Las paredes opuestas de las habitaciones son capaces de reflejar el sonido, pero los intervalos entre el sonido directo y el reflejo son absolutamente imperceptibles; para distinguir con facilidad los sonidos es necesario que pase de uno á otro un decimo de segundo por lo menos, esto es, que para oír el sonido reflejo no debe llegar al oído hasta un decimo de segundo despues de producido.

No sucede lo mismo con la resonancia por que se pueden oír en lugares cerrados y de poca estension, tales como ciertos anfiteatros en que son favorables al orador, por que dan mas fuerza á la voz. No es inutil decir que las resonancias no son siempre el resultado de la reflexion del sonido, pues muchas veces son producidas por la vibracion de las paredes contra las cuales vá á dar la onda sonora. Los ecos son monosilabos ó polysilabos segun tienen una ó muchas sílabas repetidas distintamente.

Se citan ecos que repiten el mismo sonido muchas veces: en Inglaterra hay uno en el parque de Woodstok que repite veinte silabas en la de noche, y diez y siete solamente de dia: esta diferencia parece provenir de que estando mas frio el aire en la noche tiene menos elasticidad, y hace menor la velocidad del sonido: se citan tambien otros ecos que repiten de la misma manera hasta cuarenta veces, tal como el que parece ecsistir en el castillo de Simonetta en Italia.

En otro tiempo se construian bobedas elípticas como muy favorables á la produccion de los ecos; pero esta forma era evidentemente mala, por que se sabe que la elipse tiene la propiedad de reflejar al segundo foco lo que le ha sido enviado por el primero; asi dos personas colocadas en los dos focos de una elipse pueden oirse aunque hablen muy bajo sin que las oigan las que los rodean, como sucede en una sala del Conservario de artes; la forma mas ventajosa que se puede dar á una sala parece ser la parabólica.

De la bocina.

La bocina fundada sobre la reflexion del sonido consiste en un tubo (*fig.* 109) de cobre ó lata de longitud variable, y con una de sus estremidades mas ancha. En este instrumento los sonidos producidos en su estremidad mas estrecha adquieren á cierta distancia del centro de agitacion todo el impulso que al aire libre recibiria una onda esférica; y como las vibraciones no pueden hacerse sino en un espacio correspondiente á los lados del instrumento, resulta que estendiendose el movimiento vibratorio en un espacio mucho mas pequeño, la intensidad del sonido debe ser mucho mas fuerte.

De la trompetilla acústica.

La trompetilla acústica es en cierto modo, la bo-

cina inversa ; su objeto es aumentar los sonidos destinados á herir la membrana del timpano. Su grande abertura recibe mayor dilatacion de la onda sonora, que se va estrechando á medida que se propaga hacia la abertura angosta colocada en el oido, y aumenta considerablemente el sonido. Este instrumento sirve para las personas que tienen el oido tardo y la forma conica parece la mas ventajosa (fig. 110.)

Vibraciones de las cuerdas elásticas.

Cuando una cuerda ó hilo metálico está estirado por un peso constante, si se le separa de su direccion rectilinea, y se le abandona en seguida á si mismo, no vuelve á su posicion primitiva sino despues de cierto numero de oscilaciones. La fuerza lateral que la solicita le imprime un movimiento acelerado hácia su primera posicion, pero una vez llegada á ella la traspasa en virtud de la velocidad adquirida, y se separa hasta que la fuerza se gasta, despues de lo cual la hace mover en sentido contrario ; entonces oscila el hilo á un lado y otro de su posicion primitiva, y forma asi una serie de oscilaciones visibles á simple vista, y cuya estension disminuye constantemente. La estension ó amplitud de estas oscilaciones no tiene influencia sensible sobre su duracion, y el tono del sonido que resulta de ellas no cambia: solamente cuando se hacen las vibraciones con gran rapidez el tono es mas ó menos *grave* ó *elevado* segun es mayor ó menor la velocidad de estas vibraciones.

Para determinar las leyes de las oscilaciones de las cuerdas elásticas se sirven de aparatos llamados *monacordios* ó *sonómetros*. Estos instrumentos consisten en una caja vacia cuyas paredes son de tablitas secas, delgadas y elásticas, y cuyo objeto es aumentar el sonido ; sobre esta caja se estiran por medio de pesos una ó muchas cuerdas que para que el peso que las estira no se altere por el rozamiento se les pasa por dos póleas movibles. Hay dos especies de este

instrumento sonómetro vertical, (fig. 111) y sonómetro horizontal (fig. 112.)

En las experiencias que ecsigen esactitud se debe siempre usar la misma cuerda, y cuando se trata de darles diversas longitudes se sirven de una pequeña puente movible (fig. 113) que se aprocsima ó aleja á uno ú otro punto de tension para obtener una longitud menor de cuerda. Es inutil decir que se aumenta ó disminuye la tension de la cuerda aumentando ó disminuyendo el peso.

El sonómetro vertical es susceptible de dar mayor esactitud que el horizontal, porque en este la tension de la cuerda es mas ó menos modificada por el rozamiento, que cada pólea experimenta en su eje, y este rozamiento es tanto mayor, quanto el peso que estira la cuerda es mas considerable, en cuyo caso la pólea está mas comprimida sobre su eje. Este inconveniente no ecsiste en el sonómetro vertical, y por esta causa debe emplearse con preferencia, siempre que se quiera dar esactitud á los resultados.

Por medio de este instrumento se obtienen las consecuencias siguientes:

Primera.—Cuando dos cuerdas de la misma sustancia y diámetro son igualmente tensas, el número de las vibraciones, que hacen en un tiempo dado, estan en razon inversa de las longitudes.

Segunda.—Cuando la materia el diámetro, y la longitud son las mismas siendo diferente la tension y los números de vibraciones que hacen en un tiempo dado, son proporcionales á las raices cuadradas de los pesos que las estiran.

Una misma cuerda es susceptible de vibrar toda, ó en ciertas partes separadas entre sí por puntos que se llaman *nodos de las vibraciones*, en los cuales son estas nulas. Asi, cuando se quiere hacer vibrar una cuerda en toda su longitud, basta fijarla por sus dos estremidades, y conmoverta por medio de un arco de violin, y dará un sonido de cierta intensidad; pero si se le pone en medio y debajo de ella

una puente, (*fig.* 114), se observa que dá un sonido semejante al que daría una cuerda, cuya longitud fuese justamente la mitad de la primera.

Esto procede de que la cuerda vibra separadamente en toda su longitud, como si estuviera sola, y fija por sus estremidades. Entonces produce la cuerda dos sonidos que se llaman *unisonos*, cuyo conjunto es imposible distinguir.

Una cuerda puede vibrar en dos, tres, ó mas partes separadas entre sí por nodos de vibraciones; para esto, basta poner la puente móvil á la mitad, á la tercera parte, &c., y se conoce entonces que el sonido producido es justamente el mismo que daría una cuerda cuya longitud fuese de la mitad, tercera parte &c. de la longitud de la cuerda primitiva; esto consiste, como hemos dicho antes, en que la cuerda se divide en dos, tres partes &c. separadas entre sí por nodos de vibracion.

Cuando en las esperiencias precedentes se pone la puente en medio de la cuerda, el número de vibraciones ejecutadas por cada mitad en un tiempo dado es doble del que dá la cuerda entera; y el sonido que resulta de ellas es lo que se llama *octava aguda* del sonido que daría la cuerda entera.

Cuando la cuerda vibra en tres partes el sonido que dá una de ellas es mas agudo que el anterior; y es la octava del que producen las otras dos terceras partes: en música es la *quinta* del sonido la que produce la cuerda vibrando en toda su longitud.

Se demuestra fácilmente por la esperiencia la existencia de los nodos de vibracion; para ello se pone una puente en un punto de la cuerda tal, que las partes resultantes tengan una relacion simple con la longitud primitiva. Asi, si la puente está colocada á un $\frac{1}{4}$ de la longitud de la cuerda, la parte mayor será de $\frac{3}{4}$ y para que dé el mismo sonido que la pequeña es indispensable dividirla en tres porciones iguales entre sí, y del mismo largo que la mas pequeña; en efecto pónganse sobre la cuerda en cada tercera parte de la mayor longitud, pequeños puen-

tes de papel blanco , y sobre el medio de cada cuarta parte de papel encarnado ; luego que pase el arco sobre la cuerda cuya longitud sea igual á un $\frac{1}{4}$ caeran al momento los puntos encarnados, mientras que los otros quedan quietos. Esta esperiencia hecha la primera vez por Sauveur y que lleva su nombre prueba evidentemente la existencia de los *odos de las vibraciones*, porque los puentes blancos quedan quietos apesar de las vibraciones de la cuerda. Los puntos donde estan colocados las puentes encarnadas se llaman *vientres de las vibraciones*”

Vibracion de las varas sonoras.

Quando una vara solida de cristal, hierro, cobre &c. produce un sonido las vibraciones pueden hacerse como en las cuerdas longitudinal ó transversalmente ; pero las leyes á que estan sometidas estas ultimas no son las mismas que las de las cuerdas : este efecto procede de que en las cuerdas la tension se egerce en un solo sentido, mientras en las varas de que se trata se egerce esta fuerza de resorte sobre la curvatura misma. Quando las vibraciones son longitudinales son mucho mas sensibles que en las cuerdas, y los sonidos que estas producen, segun M. Chladni, estan en razan inversa de las longitudes, lo cual no sucede en las vibraciones longitudinales, por que estan en razon inversa del cuadrado de las longitudes. Parece, segun las esperiencias de M. Chladni, que el espesor de la lamina no tiene ninguna influencia sobre el sonido producido.

Quando se quieren hacer vibrar varas solidas es preciso elegir las que sean rectas, igualmente gruesas en toda su estension, y muy homogéneas. Quando se sirven de varas planas basta tenerlas con los dedos, y hacerlas vibrar con un arco ú otra vara de metal tocandolas en uno de sus extremos. En el momento que empieza la conmocion se oye un sonido, que no siempre es el mismo, y que varia segun la vara está fija por ambos extremos ó solamente

por medio. Una vara en estado de vibracion se halla dividida por nodos de vibracion analogos á los que presentan las cuerdas cuya ecsistencia se demuestra facilmente sembrando de arena fina su superficie; entonces se ven moverse todos los granos de arena y reunirse en los nodos: los mismos efectos se observan en las varas cilindricas, en que los nodos de vibracion se hacen sensibles por pequeños anillos de papel, que se ponen sobre su superficie.

La esperiencia demuestra que una vara dividida por 1, 2, 3, 4, &c. nodos de vibracion oscila de la misma manera que otra de $\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{3}$ de la longitud total. Cuando la vara esta fija por un extremo solamente los sonidos que produce por 1, 2, 3, 4, &c. nodos de vibracion son entre si como 1, 3, 5, 7, 9, &c. pero si la vara está libre en sus extremos, y fija solamente por medio, forma por lo menos un nodo de vibracion en el punto donde está sujeta, y si no estuviera fija por medio formaria muchos: en este caso los sonidos que se obtienen por 1, 2, 3, &c. nodos de vibracion, son como los numeros 2, 4, 6, 8, &c. Las varas fijas por sus extremos vibran del mismo modo. (Chladni)

Los medios de excitar en las varas solidas vibraciones longitudinales, y que han sido empleados por Mr. Savart en sus bellas esperiencias sobre esta parte de la fisica consisten: 1.º en frotar una vara en toda su longitud con un trapo humedo; 2.º en chocarla por uno de sus extremos con un pequeño cilindro de metal; y 3.º en fijar con un pequeño tubo de cristal muy delgado á una de las estremidades de la vara de manera que sea como la prolongacion de una linea que seria paralela á los lados de la vara dividiéndola en dos partes iguales en direccion de su grueso; y en pasar sobre este pequeño tubo un trapo mojado. (Mr. Savart) El segundo medio es mas sencillo.

Mr. Chladni en sus investigaciones sobre la acustica ha avanzado á decir que una vara rigida de cualquier materia, y fija por un extremo toma mo-

vimientos análogos á los de un tubo abierto por una estremidad. Mr. Savart, que ha repetido esta experiencia, no ha podido nunca producir sonido cuando era inmóvil el obstáculo en que estaba fija la vara, pero cuando era susceptible de vibrar las varas resonaban entónces, cualquiera que fuesen sus dimensiones; sin embargo nada autoriza á comparar el sonido que resulta aqui con el de un tubo abierto por una estremidad.

Mr. Savart ha hallado que, en el caso en que los dos extremos de una vara esten libres, las vibraciones que producen tienen mucha analogía con los de un tubo de organo abierto por ambas estremidades.

El mismo fisico ha notado que la longitud era casi indiferente, con tal que las varas muy cortas sean tambien muy delgadas y estrechas.

Cuando una vara está vibrando los limites de las undulaciones se marcan por líneas de reposo llamadas *lineas nodales* cuyo número depende de las dimensiones y naturaleza de la vara: asi una vara contiene tantas mas líneas nodales, cuanto mayor es su longitud y menor su espesor. Cuando las laminas no tienen mas que 7 á 10 líneas de ancho aquellas son rectas y paralelas entré si, pero á medida que su espesor excede de este limite las líneas se encorvan y forman lo que Mr. Chladni ha llamado *lineas girantes*.

Un hecho curioso, y que Mr. Savart ha notado, es que cuando se hace vibrar una vara rígida fija por su medio las líneas nodales de las estremidades son las primeras que se forman, mientras las que se deben presentar al medio son las ultimas y nunca se forman con tanta claridad. ¿No dependerá este fenómeno de la dificultad que encuentran las undulaciones para propagarse al traves de las sustancias solidas?

Otro hecho que Mr. Savart ha observado igualmente es que en el mayor numero de casos las dos mitades de una vara no contienen el mismo

numero de vibraciones, ó líneas nodales; este numero de nodos, como tambien su disposicion es siempre el mismo en una misma vara; pero varia de una á otra, aunque se hayan tomado en la misma placa, y tengan iguales dimensiones.

Aun ha observado Mr. Savart que la disposicion de las líneas nodales no era identica sobre las dos superficies de una misma lamina: este fisico ha hallado que las líneas nodales, que se forman sobre una superficie, corresponde cada una al centro de las partes vibrantes de la placa opuesta; sin embargo parece que esta correspondencia no es perfecta cuando las varas son muy delgadas; pero como este fenómeno se presenta en todas las varas rigidas que tienen de una línea á línea y media de espesor cualquiera que sea su naturaleza, resulta que los movimientos vibratorios de una mitad del espesor son contrarios á los que se producen en los puntos correspondientes de la otra mitad.

Vibraciones de las placas, y de las membranas.

Cuando se frota con un arco el borde de una lámina elástica resultan movimientos vibratorios muy curiosos, y analógos á los que son susceptibles de tomar las varas, y las cuerdas. Cuando estos movimientos son excitados en las placas y membranas, los limites de las undulaciones estan indicados por líneas de reposo, que se han llamado *figuras ó líneas nodales*. Estas *líneas nodales* se observan facilmente hechando arena fina y seca, en la superficie de una lamina elástica, en estado de vibracion, porque produce figuras ya simples, ya compuestas, pero que presentan una perfecta simetria. Estos movimientos han sido estudiados con mucho cuidado por Mr. Chladni.

Para hacer estas esperiencias se sirve de las laminas de cristal muy planas é igualmente gruesas, que las mas veces se tienen con los dedos, y se frotan los bordes con un arco de violin; ordinariamente se pu-

len en los bordes de las laminas de cristal para que esten lisos, y no corten las cerdas que forman la parte esencial del arco.

Los sonidos que se obtienen haciendo vibrar las placas dependen de la naturaleza de la sustancia, de su forma, y tamaño, de la manera con que se fijan, y de la presion del arco. Las figuras nodales que resultan son muy variadas; asi las lineas son ya rectas, ya curvas, y ya entrelasadas una con otra.

No daremos aqui todos los pormenores que reclama este genero de esperiencias contentandonos con repetir los casos mas sencillos. La figura 115 representa la que da el sonido mas grave cuando las placas son cuadradas, y de cristal, metal, madera ú otra qualquiera sustancia homogénea; esta figura se obtiene poniendo la placa sobre una punta en su mitad, y frotandola en uno de sus angulos con un arco.

El sonido mas grave, despues del anterior, está representado por la figura 116, donde se vé que las lineas nodales pasan por las diagonales. Se obtiene poniendo la lámina como la anterior, pero pasando el arco por la mitad de uno de sus lados.

Cuando se varia la forma de las láminas, y los puntos donde se aplica el arco se obtiene un gran numero de figuras que difieren unas de otras, y representan la figura 117.

El modo de vibracion no es lo mismo en las placas, cuya elasticidad no es igual en todas direcciones; asi en los discos de madera, cuyo plano está paralelo á la direccion de las fibras, las vibraciones que se producen en él presentan fenómenos, que tienden sin duda á demostrar que la reaccion elástica no se hace de la misma manera é igualmente en todos sentidos.

Las membranas tirantes son tambien capaces de producir sonidos; M. Savart ha visto que para producir este efecto basta hacer vibrar á cierta distancia de la membrana un vaso de cristal ó una placa solida, para que inmediatamente vibre esta membrana.

Comunicacion de los movimientos vibratorios entre los cuerpos solidos.

Se sabia hace mucho tiempo que cuando un cuerpo vibra y está en contacto con otro, este divide el movimiento con el primero, y vibra de la misma manera que él; pero estaba reservado á M. Savart, estudiar el modo de hacerse esta comunicacion; sus primeras investigaciones sobre este objeto estan consignadas en una memoria impresa en 1819, de la cual dió conocimiento á la Academia en su sesion de 15 de Noviembre del mismo año.

De los trabajos de M. Savart, resulta:

1.^o Cuando dos planchas delgadas están reunidas y colocadas perpendicularmente entre sí, si se excitan vibraciones transversales en una las producen longitudinales en la otra, y reciprocamente. Para probarlo se ha servido del aparato representado figura 118. Esta formado de una plancha de cristal *V*, puesta sobre una regla de madera *b*, y sostenida por dos listones *tT* cuyo objeto es separar la regla y la plancha, é indicar los nodos de vibracion; y otra segunda plancha *V'* mas corta que la primera unida á ella de modo que le sea perpendicular, y descanse sobre una parte vibrante. Cuando este aparato se pone verticalmente, y se vibra por medio de un arco la plancha *V*, se observa hechando arena fina y seca sobre la regla *V*, que ella es el punto de las vibraciones longitudinales; por que se vé entonces moverse la arena sobre la plancha en direccion de su longitud, y formarse una ó muchas lineas nodales, si tienen un largo suficiente.

Si en lugar de tener verticalmente el aparato precedente se le pone horizontalmente, y se producen ondas longitudinales en la pequeña plancha *V'* pasando por una de sus superficies un dedo mojado, se vé que la arena de que esta cubierta la plancha *V* salta perpendicularmente á la superficie sobre que esta puesta; lo cual demuestra que las ondas longitu-

dinales escitadas en la plancha V' producen ondas transversales en la plancha V. Segun esto se vé que se pueden comunicar facilmente vibraciones determinadas á un cuerpo, sin obrar inmediatamente sobre él; en efecto los Señores Savart y Leblanc han empleado con buen exito este procedimiento, para hacer vibrar planchas longitudinalmente ecsitando vibraciones transversales en un tubo de cristal, que llevaba en una de sus estremidades una lámina de la misma sustancia, ó adaptando á una copa tambien de cristal una lámina de lo mismo, ó de cualquiera otra materia.

Estos resultados nos demuestran que en los violones la pieza que se llama *el alma*, y cuyo objeto es unir las dos tablas del instrumento, es el punto de las vibraciones longitudinales por su comunicacion con la tabla superior, cuyas vibraciones transmite á la inferior. Entonces adquiere el sonido la mayor intensidad.

2.º Cuando dos planchas delgadas estan juntas, y puestas de manera que una de ellas caiga perpendicularmente sobre cualquiera de los puntos de la estension de la otra, ecsitandose ondas longitudinales en la segunda, la primera será el centro de las vibraciones transversales, y reciprocamente.

Para demostrar esta proposicion se han servido del aparato (*fig* 119); se compone de una regla de madera B, que lleva un encage R perpendicular á la superficie de la regla, cuyo objeto es recibir una plancha de cristal C, y la cual lleva una segunda plancha tambien de cristal A, paralela á la regla B. Sobre esta segunda plancha se fija perpendicularmente á su superficie, y en un punto cualquiera de su estension, la lámina A' cuya manera de vibrar quiere estudiarse; estando vertical este aparato, si se frota con un arco la plancha C, la segunda plancha A será el lugar de las vibraciones longitudinales, y la plancha A' que estará horizontal será el de las ondas transversales.

3.º Cuando dos planchas delgadas estan dispuestas

de modo que una de ellas caiga perpendicularmente sobre uno de los puntos de la otra que sea inmóvil, si se excitan vibraciones transversales en la segunda, la primera será también el punto de las vibraciones transversales, y reciprocamente excitando vibraciones transversales en la primera la segunda será igualmente el punto de las vibraciones transversales.

Se prueba esta proposición sirviéndose del aparato representado en la figura 119, y teniendo cuidado de poner la plancha A' sobre uno de los nodos de la plancha A, como se vé figura 120. En este aparato el punto N está inmóvil por el listón C; se pone el instrumento en situación vertical, y se hecha arena sobre la plancha A'; después se excitan vibraciones con el arco en la plancha A, y se vé entonces que la plancha A' es el lugar de las vibraciones transversales.

Este cambio en la manera de vibrar, que acabamos de señalar, no tiene lugar sino cuando las planchas están libres, porque en la última proposición en que el punto de contacto está inmóvil por un obstáculo, las vibraciones transversales que se excitan en la una se transmiten á la otra sin sufrir variación; esto procede de que en este caso colocada la segunda plancha entre dos partes vibrantes está agitada á derecha é izquierda ejecutando por esta causa los mismos movimientos, que si estubiese agitada en su estremidad libre. Las vibraciones longitudinales no se comunican de una plancha á otra del mismo modo que las transversales, porque fijada una plancha por una estremidad no parece susceptible de ejecutar vibraciones longitudinales. (Para mas pormenores vease la memoria de Mr. Savart citada arriba.)

Instrumentos de viento.

Los instrumentos de viento están formados de tubos de formas variables en los cuales por muchos medios el aire puede ponerse en estado de vi-

bracion en direccion de su longitud. Es cosa muy notable que la materia de los tubos, su espesor, y diametro no influyen nada en el sonido producido, sinó solamente la longitud de la columna de aire, su elasticidad, y la manera de soplar.

El sonido difiere segun que el tubo es de metal ó de madera, lo cual debe depender del rozamiento que el aire experimenta entre sus paredes, y tambien de la debil resonancia que estas son capaces de producir.

Se concocen dos clases de instrumentos de viento unos de boca, y otros de caña ó lengüeta. El aire es el cuerpo sonoro en los instrumentos de boca, tales como la *trompa*, el *clarin*, el *flageolet*, la *flauta*, el *cañon de organo* &c. su teoría es de todo punto semejante á la de las vibraciones longitudinales de las cuerdas.

En los instrumentos de lengüeta, tales como el *clarinete*, *bajon*, *oboé* &c. se distinguen dos partes, que difieren esencialmente, la *lengüeta* y el *tubo del cuerpo*; la 1.^a se compone (fig. 121) de una lengüeta AA' formada de una hoja de laton fija en A sobre una pieza cilindrica de madera ó metal A'P, ahuecada en forma de canal en la direccion A'P: se introduce este sistema en una abertura O semicircular practicada en el centro de un tapon B que cierra el tubo SY. Cuando se sopla por la abertura O el aire procura entrar en el canal para escaparse; pero como este es muy pequeño relativamente al diametro del tubo SY sucede que si es empujado con fuerza oprime la lengüeta contra el canal y lo cierra; bien pronto recobra esta en virtud de su elasticidad propia su primitiva posicion, y permite la entrada al aire; encontrándose oprimida de nuevo, vuelve á tomar despues su primera situacion, y permite la entrada al aire, continuando asi sucesivamente. Si se aplica la abertura o sobre el canal de un fuelle de organo, las oscilaciones de la lengüeta son demasiado rápidas para producir un sonido, el cual es las mas ve-

ces ronco y desagradable; entonces se agrega otro tubo cuyo objeto es aumentar la fuerza de los sonidos, y hacerlos mas dulces.

El tono mas ó menos elevado que produce un tubo semejante depende particularmente de la longitud de la lengüeta, medida desde el punto donde está fija, y ademas de su elasticidad, peso, y curvatura; por que sucede que cambiando alguno de estos elementos se cambia tambien el tono.

Determinado el punto en que se ha de fijar la lengüeta y su largo, el aire necesita para traerla á la muesca ser empujado con gran fuerza, que deberá ser tanto mas considerable cuanto la lengüeta esté mas distante del canal; y como la mayor separacion hace la agitacion mas lenta resulta de ella, que el sonido producido debe ser mas grave; por el contrario el sonido es mas agudo, cuando en igualdad de circunstancias disminuye solo el largo de la lengüeta: se remedian estas variaciones de longitud con un grueso alambre ó laton encorbado Ff, que se junta á la lengüeta oprimiendola con fuerza contra el canal; lleva este el nombre de *alambre de templar*, y sirve para aumentar ó disminuir la longitud de la lengüeta haciendo por este medio el sonido mas grave ó mas agudo.

Las bocas producen siempre un sonido ronco causado por el roce de la lengüeta con la sustancia del canal; para remediar este grave inconveniente Mr. Grenié practicó la muesca en madera ó metal pero con esquinas muy vivas dándole la forma de un paralelepipedo: la lengüeta es de laton dorado muy plana, y cortada en forma rectangular á fin que llene casi exactamente la cara hueca del canal, y por medio de un fuerte alambre de templar la fijó á su gusto: de este modo la lengüeta entra en el canal, y no choca contra la materia de que se compone sino contra el aire mismo, de suerte que el sonido es muy puro, dulce, y mucho mas armonioso.



Organo del oido.

El organo del oido en el hombre presenta al exterior un pavellon ensanchado como el de la corneta acústica; este pavellon se estrecha poco á poco en una especie de tubo llamado *conducto auditivo* revestido de una materia vizcosa y de pelos, cuyo objeto será sin duda impedir la entrada de cuerpos estraños. El fondo del conducto auditivo está cerrado por una membrana seca, tersa, elastica, y delgada y de un grueso igual: detras de esta membrana está la *caja del timpano*, que encierra cuatro huesillos, á saber: *el martillo, el ayunque, el lenticular y el estrivo*: estos huesos se enlazan entre si y forman una cadena continua desde la membrana del timpano, donde se enlaza el *martillo*, hasta la *ventana oval* donde esta fijo el *estrivo*; la ventana oval es un agujero oblongo practicado en el fondo de la caja del timpano y cubierto con una membrana; este agujero se abre en un canal huesoso llamado *caracol*, porque está en forma espiral; comunica despues con una cavidad exterior mas grande llamada vestibulo, que tambien comunica con la caja del timpano por otro conducto, que lleva el nombre de *ventana redonda*, y esta cerrada por una membrana seca.

En el vestibulo terminan tres cavidades cilindricas y semicirculares que encierran cuerpos de color pardo ó gris, y que acaban dilatandose en su estremidad: estos son los tres canales que con el caracol, y vestibulo forman juntos una cavidad en la parte mas solida de la materia huesosa, que se ha llamado *laberinto*; el laberinto está tapizado en el interior con una membrana ecesivamente delgada, y llena de un liquido en el cual penetra, y va á ensancharse el *nerbio acústico*. Tales, en general, la disposicion de las diferentes partes del organo del oido.

Segun esto es facil concebir que viniendo las undulaciones sonoras á herir la membrana del timpano serán transmitidas por el aire, y la cadena, que for-

man los cuatro huesos á las paredes del laberinto, y desde allí por el liquido intermediario hasta el nervio acústico.

En el organo del oido la membrana del tímpano puede ser destruida, y desprendidos los tres primeros huesos, sin que falte la facultad de oír, toda la vez que subsista la membrana que cierra la ventana redonda, y que el estrivo, que cierra el labarinto, permanezca unido á la ventana oval que él debe cerrar; porque si falta, la membrana que tapa el labarinto se rompe, y deja salir el liquido que encierra esta cavidad, siendo la sordera entonces un resultado necesario. De aquí es que la existencia del nervio acústico, su dilatacion en un liquido, por cuyo medio se propagan las vibraciones sonoras, y la pulpa nerviosa que lo forma, son las condiciones absolutamente precisas para la audicion.

Organos de la voz.

Este organo solo se halla en los animales dotados de pulmones como los mamíferos, las aves, y los reptiles. En el hombre se forma la voz por el aire contenido en el pecho, de donde es arrojado por los músculos de la espiracion: para este efecto el aire inspirado en el pulmon y contenido en el pecho se arroja por la contraccion que espirementan estas cavidades, y pasa á un conducto llamado *traquearteria*, que está formado de anillos cartilagosos y flecsibles. A la estremidad de este canal hay dos laminas membranosas tirantes de forma rectangular, de cuyos bordes tres están unidos á las paredes de la traquearteria, y los planos colocados casi paralelos el uno al otro están á muy poca distancia; el aire lanzado del pecho, y antes de salir por la boca, está obligado á pasar por el intervalo que dejan estas laminas entre sí. Este sistema de dos membranas, que puede semejarse á una lengüeta cuyas laminas fuesen contractiles y elásticas, ha recibido

el nombre de *glotis*, mientras el lugar de la tráquea donde está colocado este aparato así como las piezas que lo acompañan se llama *laringe*; se ha dado el nombre de *epiglótis* á una membrana oval, elástica, semejante á una lengua, que fija por su base es susceptible de varios movimientos en la tráquea elevandose ó bajandose sobre la glotis, para modificar la fuerza del aire que sale por ella. Esta membrana vibra al mismo tiempo que la glotis, y como el aire despues de haber pasado la epiglótis no encuentra ya obstaculo, llega á la garganta y á la boca para salir.

Segun esta sucinta esposicion se puede ver con alguna evidencia, que el órgano de la voz puede compararse á un instrumento de lengüeta libre en el cual el pecho sirve de fuelle, la traque-arteria de conductor del viento, la glotis de lengüeta, y la boca de canal por donde el aire debe salir.

Los sonidos son modificados en las cavidades de la boca y nariz; así la concavidad de estas en el hombre influyen mas que la boca para dulcificar la voz, que es sorda y desagradable cuando se tapa la nariz, ó cuando uno está afectado de las enfermedades dichas con impropiedad catarros del cerebro, en este caso la voz es desagradable, y se dice que una persona habla por la nariz, mientras que sucede todo lo contrario.

Los mamíferos y reptiles tienen una sola glotis colocada en el punto donde la traquearteria termina en la boca.

En las aves es mas complicado el organo de la voz, así en la clase de las cantoras la glotis está colocada á la salida de los pulmones y al principio de la traque-arteria; lo que demuestra hasta la evidencia que el instrumento vocal es una lengüeta, y que si se corta bien lejos de la cabeza el cuello de una ave chillona, como lo ha hecho el Baron Cuvier, sigue chillando como antes. (Veanse para mas pormenores las *Lecciones de Anatomia* de Mr. Cuvier.)

CAPITULO X.

Del Calórico.

El calórico ó calor, es segun algunos fisicos un fluido muy sutil, invisíble, imponderable, estendido por todas partes; su accion se manifiesta en todas direcciones al través de la materia de los cuerpos, y disminuye á proporción que aumenta la distancia.

El calórico hace variar el volumen de los cuerpos; los dilata acumulandose en ellos, y retirandose los hace contraerse. El calórico sale de los cuerpos en forma de rayos, asi cuando dos cuerpos tienen desiguales cantidades de calórico el mas frio recibe del mas caliente rayos de calor, hasta que haya entre ambos equilibrio de temperatura.

Los instrumentos destinados para medir la temperatura de los cuerpos se llaman *termómetros*, esto es, *medidores del calor*. La invencion del termómetro viene desde fin del siglo 16; unos la atribuyen á Nicolas Drebbel, otros á Sanctorius ó al padre Pablo, y otros en fin refieren este descubrimiento á Galileo ó á Descartes; como quiera que sea, el termómetro consiste en un largo tubo, con una bola muy delgada en una de sus estremidades en la cual hay una pequeña columna de alcohol colorado, que sube hasta la mitad del tubo y sirve de indice: esta columna sube ó baja segun que el aire encerrado en la bola se dilata ó contrae por la accion del mismo calor.

El termómetro que hoy esta en uso se compone de un tubo, cuyo diámetro interior es muy delgado, y esactamente cilindrico, cerrado por una de sus estremidades, y terminado en la otra por un receptáculo tambien cilindrico, ó por una bola muy delgada, llena, como una parte del tubo, de mercurio bien purificado y hervido. Las divisiones ó grados están señalados sobre el tubo del instrumento, ó sobre una planchita de metal, ó bien aun sobre una tira de papel metida, en un tubo de cristal que se pega al termómetro.

Construccion del termómetro de mercurio.

Se principia ^spor elegir un tubo cuyo diámetro interior sea muy pequeño y cilindrico: despues se le ahueca con la lampara del esmaltador en forma de bola una de las estremidades (*fig.* 122): se deja enfriar y en seguida se pasa por cima de carbones para espeler la humedad, y una porcion de aire contenido en la bola y en el tubo; hecho esto se sumerge la punta abierta en un vaso que contenga mercurio caliente, el cual debe hacerse hervir precedentemente: á medida que la bola se enfria sube el mercurio por el interior del tubo, llega á ella y la llena en parte; entonces se saca el tubo volviendo la bola hacia abajo, se calienta de nuevo esta bola hasta el punto de hervir el mercurio; una vez puesto en ebulicion, se evapora arrojando el vapor del aire que quedó dentro del tubo, y cuando no arroja ya ni vapor acuoso, ni aire, lo cual se conoce cuando el vapor mercurial se condensa al salir por la estremidad del tubo, se quita prontamente el aparato del fuego, sumergiendo de pronto la estremidad abierta en el mercurio caliente; bastan algunos instantes para llenar del todo la bomba, pero se deja asi el instrumento hasta que esté sensiblemente frio: se arregla en seguida para que el mercurio no baje mucho, por que es preciso que el vertice de la columna mercurial esté á tres ó cuatro pulgadas del

receptáculo, lo cual depende absolutamente de la sensibilidad que quiera darse al instrumento, y del grado de frío que con él se quiera indicar.

Se cierra el tubo, teniendo cuidado de extraer el aire que contenga en su interior, por cima de la columna de mercurio; para ello se lima ó deslustra la estremidad del tubo á la lampara del esmaltador, se calienta en seguida la bola hasta que el mercurio suba á la boca, y en el momento que empieza á salir se tapa dirigiendo el soplete sobre el extremo preparado.

Despues de esto es necesario graduar el instrumento, pero para que sea comparable á si mismo es preciso contar las divisiones por medio de puntos fijos, que puedan determinarse en todos tiempos y lugares donde quieran hacerse observaciones; estos puntos fijos son la temperatura del hielo fundido, y la del agua hirviendo.

Se sumerge el tubo termométrico en la nieve líquida, ó agua al principio de la congelacion, cuidando que la bola y la columna mercurial del tubo estén bien rodeadas del líquido: se señala en el tubo con un diamante el punto en que la columna permanece estacionaria, y este es el primer termino fijo de la escala, ó el cero del termómetro: se mete el tubo en seguida en el agua hirviendo, y se señala 100 en el punto donde se detiene igualmente la columna, y este es el segundo termino fijo de la escala. Es indispensable que el agua que se use sea muy pura, que el vaso sea de metal, y ademas que la altura de la columna barométrica en el momento de operar sea de 28 pulgadas francesas, porque el agua no llega á 100°, mientras el barómetro no marca las 28 pulgadas. Cuando la presion es diferente de 28 pulgadas se conoce la temperatura que le corresponde trayendo el punto de ebulision á la presion ordinaria, lo cual se consigue por medio del calculo.

Se divide el intervalo comprendido entre los dos terminos fijos en 100 partes iguales, que se prolongan por cima de la señal del agua hirviendo, y por bajo de la del hielo fundido.

El termómetro que acabamos de describir es el que se conoce con el nombre de *Centígrado*.

El *termómetro de Reaumur* está dividido en 80 partes desde el cero de la nieve líquida hasta el del agua hirviendo, estos dos termómetros son los únicos que se usan en Francia.

En Inglaterra usan otro inventado por *Fahrenheit* en el cual está dividido el espacio entre los dos puntos fijos en 212 partes, el cero del termómetro centígrado corresponde al grado 32 del de *Fahrenheit*, y el 100 al 212 del mismo. En el *termómetro de Delisle* está dividida la escala en 150 partes; el termino del agua hirviendo está marcado por cero, y el cero del centígrado corresponde al grado 150 de esta escala.

Es muy fácil comparar entre sí los grados de estos diversos termómetros. Si tomamos por termino de comparacion los grados del termómetro centígrado tendremos que:

1 grado centígrado es á 1 de Reaumur :: 100 : 80 :: 5 : 4,
luego uno centígrado = $\frac{4}{5}$ grados de Reaumur ;

1 grado centígrado : 1 *Fahrenheit* :: 100 : 180 :: 5 : 9,
luego 1 grado centígrado = $\frac{9}{5}$ grado *Fahrenheit*;

1 grado centígrado : 1 grado *Delisle* :: 100 : 150 :: 2 : 3,
luego uno centígrado = $\frac{3}{2}$ grados *Delisle*.

Se ve pues que para convertir un numero dado de grados del termómetro de Reaumur en centígrados es preciso multiplicar este numero por $\frac{5}{4}$

De la misma manera para convertir un numero cualquiera de grados *Fahrenheit* en centígrados, se restan 32 y se multiplica el resultado por $\frac{5}{9}$: lo mismo debe decirse del termómetro *Delisle*; se multiplica el numero de grados por $\frac{2}{3}$ solamente, y como la escala es decendente se restan de 100 á fin de obtener grados centígrados.

Termómetro de aire.

Este termómetro se compone (*fig. 123*) de un tubo terminado por un lado en una bola llena de aire

seco , sirviendo de índice para señalar una pequeña columna de mercurio que se le introduce.

Este instrumento es el mas esacto que poseemos, pero su escceciva sensibilidad hace que se prefiera al de mercurio anteriormente dicho. Siendo uniforme la dilatacion del gaz para cada grado de temperatura , á lo menos mientras no es muy elevada, comparó Mr. Gay-Lussac la marcha del termómetro de mercurio á la del aire, y encontró que se correspondia esactamente entre 0 y 100, pero pasado este termino no se dilataba ya el aire uniformemente.

Termómetro diferencial de Leslie.

Este termómetro es un tubo á cuyas estremidades se hacen al soplete dos bombas ó bolas de la misma magnitud esactamente, y se da á este tubo la forma de la letra U (*fig. 124*): una columna de acido sulfúrico de color rojo intercepta la comunicacion del aire de una á otra bomba : este acido ocupa el brazo horizontal elevandose hasta cierta altura, que debe ser la misma en los brazos verticales. Si las bolas están á igual temperatura las columnas verticales permanecerán á un mismo nivel ; pero si la de una cambia dilatando la columna de acido sulfúrico marchará hacia la bola mas fria.

Termoscopio del Conde Rumfort.

Es el mismo termómetro de Leslie, pero con dimensiones mucho mayores ; la columna liquida es de algunas lineas de ancho, y está colocada en medio del brazo horizontal : este termoscopio es muy sensible, y basta poner la mano á distancia de algunos pies de una de las bolas, para que al instante marche la columna liquida muchas líneas hacia la bola opuesta.

§ I.

DILATACIONES.*Dilatacion de los cuerpos sólidos.*

Todos los cuerpos sometidos á la accion del calorico aumentan de volumen á medida que se acumula este agente entre los intérvalos que dejan entre si las moléculas que los componen : para ver un ejemplo de ella tomese una barra metálica, y medida con gran esactitud métase en un fogon encendido, al sacarla vuelva á médirse, y se verá que su longitud se ha prolongado una cantidad notable; en enfriandose esta barra volverá á su primitivo largo, siempre que esté á la misma temperatura, que tenia antes de la esperiencia : si en lugar de calentar los cuerpos se les enfria se contraerán tanto mas cuanto mayor sea el enfriamiento.

La dilatacion de los cuerpos solidos es muy debil y esto supone que la cohesion de sus particulas es grande, y se opone á la accion del calorico que tien- de á separarlas. Los Señores Dulong y Petit han demostrado que la dilatacion de los cuerpos solidos es uniforme entre 0° y 100° ; que pasado este punto ya no lo es creciendo con la temperatura, de modo que la dilatacion es mayor por cada grado entre 100° y 200° , que entre 0 y 100° , y lo es tanto mayor cuanto el cuerpo se aproxima al punto de fusion donde la dilatacion llega á su maximum.

Los señores Lavoisier y Laplace han examinado las dilataciones de un gran numero de cuerpos sólidos entre 0 y 100° , y han hallado que los cuerpos comprendidos en la tabla siguiente se dilataban por cada grado del termómetro centígrado del modo que sigue.

Ahora que conocemos la dilatacion de los cuerpos metálicos, cuya importancia es grande sobre

todo en las artes por las útiles aplicaciones que á ellas se hacen de la propiedad que tienen los metales de dilatarse, espondremos mas adelante algunas de estas útiles aplicaciones como la del péndulo compensador, el termómetro de Breguet y el pirómetro de Wegdwood.

La tabla siguiente manifiesta las dilataciones que experimentan muchos cuerpos solidos por cada grado centígrado desde 0 á 100° reducidos á una magnitud, que se considera como 1 á la temperatura del hielo fundido.

NOMBRES DE LAS SUSTANCIAS.	DILATACION	
	en una regla cuya longitud es 1 á la temperatura del hielo fundido.	En un gr. ^o centígrado
	De 0 á 100.	
Mercurio.....	0,00600601	1 16650
Plomo.....	0,00284836	35108
Estaño de Falmouth.....	0,00217298	46161
Estaño de las Indias ó de Melac.....	0,00193765	51609
Plata de copela.....	0,00190974	52353 1
Plata llamada de Paris....	0,00190868	52392

Latón	0,00187821	1 <hr/> 53215
Cobre	0,00171783	1 <hr/> 58231
Oro llamado de Paris no fundido	0,00155155	1 <hr/> 64452
Oro de refinar	0,00146606	1 <hr/> 68202
Acero amarillo templado , fundido á los 65º	0,00123956	1 <hr/> 80674
Alambre de hierro tirado á la hilera	0,00123504	1 <hr/> 81157
Hierro dulce forjado	0,00122045	1 <hr/> 81937
Acero sin templar	0,00107912	1 <hr/> 92664
Cristal sin plomo, en tubos.	0,00087572	1 <hr/> 114191
Cristal frances con plomo..	0,00087199	1 <hr/> 114680
Platina (segun Borda)	0,00085655	1 <hr/> 116748
Flint-glass ingles	0,00081166	1 <hr/> 124834

Péndulo compensador.

La medida de la dilatacion de los metales se ha empleado con buen ecsito para corregir las variaciones de longitud de las varillas en los relojes de pendulo, por el aumento ó disminucion de temperatura; porque es sabido que la marcha de estos relojes es muy irregular cuando el pendulo está formado de un solo metal: este pendulo se compone de una vara metálica terminada en la parte inferior por un disco muy pesado de otro metal, y suspendida por la estremidad superior de modo que puede oscilar libremente: si este aparato, que es el regulador del reloj, se alarga son mas lentas las oscilaciones y el reloj atrasa; al contrario si es mas corto por la disminucion de temperatura adelanta el reloj.

Para remediar esta irregularidad, que el calor produce en la marcha de los relojes, se construyen los pendulos del modo siguiente: ABCD (*fig. 125*) es un marco de hierro: LC una lámina de metal á la cual estan unidas dos varillas paralelas bien soldadas sobre el alambre de hierro, y está fijada en el punto V del marco de cobre de modo que pueda moverse atravesando BC.

Si la temperatura de este sistema varia, aumentando por ejemplo, los alambres de hierro del primer marco lo mismo que la vara VP se prolongarán; pero los alambres de cobre, dilatandose en una mayor proporcion que las varas de hierro, harán subir la pendola de manera que si es esacta la compensacion, el disco P permanecerá á igual distancia del punto de suspension, que antes del cambio de temperatura.

Este sistema de dos marcos no basta para compensar esactamente por que la diferencia de dilatacion entre los dos metales empleados no es bastante grande, pero se puede obtener una compensacion perfecta multiplicando los marcos (*fig. 126.*)

Se ha conseguido tambien arreglar el movimien-

to de los cronómetros, oponiendo siempre á sí misma la dilatacion; pero en vez de emplear varas se ha hecho uso de laminas metalicas. Se toma pues una lamina de hierro, y otra de cobre de igual dimension, y se colocan una sobre otra asegurandolas con tornillos; estas laminas están rectas á la temperatura que se les ha fijado (*fig. 127*); pero si esta cambia se encorvan. Si la temperatura es mayor, las laminas se encorvan de manera, que el hierro cuya dilatacion es menos considerable, que la del cobre en un determinado numero de grados está hacia dentro de la concavidad (*fig. 128*), y el cobre hácia fuera de la lamina; lo contrario sucedería si bajase la temperatura (*fig. 129*).

Si se aplica este sistema á la vara de la pendola (*fig. 130*) se concibe que es posible establecer una compesacion esacta combinando la longitud de las laminas, y el peso de las pequeñas masas que se fijan á sus estremidades, para que sea la misma la distancia del punto de suspension al centro de gravedad del sistema.

Sabido es que en los relojes el regulador del movimiento es un volante ABD movido por un resorte espiral SR (*fig. 131*): si la temperatura de este aparato varia, el volante y la espiral varian de dimensiones, y alteran por esta causa la duracion de las oscilaciones. Este inconveniente se remedia fijando en el volante láminas compensadoras CP, C'P', semejantes á las que acabamos de describir; pero encorvadas de ante mano las estremidades de estas laminas, acaban en tornillos y llevan pequeñas masas de oro: de este modo se ha llegado á obtener una compensacion tal, que los relojes provistos de laminas compensadoras están totalmente ecstentos de variaciones.

Termómetro de Breguet.

Mr. Breguet ha construido con láminas compensadoras un termómetro de una sensibilidad admira-

ble (fig 132), está formado de tres metales á saber oro , plata y platino reducidos á laminas tan delgadas que su grueso es de 0,01 linea, estas láminas están unidas por la presion, dandoles la forma de una espiral ; esta se une á un apoyo fijo por su parte superior llevando en la inferior una aguja horizontal equilibrada por contrapesos , y que recorre un cuadrante tambien horizontal sobre el cual están señaladas las divisiones : cuando el termómetro está en un lugar cuya temperatura es constante toma la misma temperatura , y el grado de alargamiento que conviene á sus laminas ; pero si la temperatura varía al momento se tuercen ó destuercen las espirales girando al instante la aguja. En este instrumento la aguja corre espacios iguales en iguales cambios de temperatura , lo cual le hace comparable á si mismo , ó con los instrumentos contruídos sobre el mismo principio.

Pyrómetro de Wedgwood.

El principio sobre que está fundado este pyrómetro depende de la propiedad que tiene la arcilla de contraerse y disminuir de volumen cuando se eleva su temperatura: la causa de la contraccion no es bien conocida, pero es muy probable que esta disminucion de volumen es debida á la íntima combinacion de los elementos de la arcilla á medida que se eleva la temperatura , y no por la pérdida del agua como se cree generalmente ; esta última causa no puede influir mas que en las temperaturas bajas, pero de ningun modo en las mas elevadas.

El pyrómetro de Wedgwood se compone de un cilindro de arcilla cuya contraccion se quiere experimentar , y de dos reglas de cobre , ó laton ligeramente inclinadas la una hacia la otra , y soldadas sobre una plancha del mismo metal ; esta segunda pieza del pyrómetro se llama *regla ó medida*. Las reglas tienen 26,2 pulgadas de largo, y forman un canal cuyo diámetro es en la estremidad mas an-

cha de 6 líneas y en la mas angosta de 4; una de las reglas tiene dividida toda su longitud en 240 partes iguales que se llaman *grados del pyrómetro de Wegdwood*, el cero de la escala está puesto en la estremidad mas ancha; este instrumento se hace portátil dividiéndolo en dos, como puede verse en la (fig. 133)

Los cilindros de arcilla tienen 6 líneas de diametro y de 7 á 8 de largo, deben estar cocidos al calor rojo, y de un tamaño justo para venir bien al cero de la division.

El cero de este instrumento corresponde á $580^{\circ},5$ del termómetro centigrado; pero es evidente que para comparar sus grados á los del termómetro centigrado era preciso conocer los grados intermedios de un instrumento á otro; esto no es posible, y por tanto no es cierto que un grado de este pyrómetro valga 72° centesimales, pues no tenemos ningun medio esacto de comparar entre si las indicaciones que nos suministran ambos instrumentos.

Dilatacion de los liquidos.

La dilatacion de los liquidos es mucho mas considerable en igual temperatura que la de los sólidos, siendo tanto mayor cuanto mas próximo está el liquido á la ebulicion.

Ninguna ley se observa en estos resultados. Para probarlo constrúyanse varios termómetros con diferentes liquidos, y caliéntense de la misma manera sumergiéndolos en agua cuya temperatura se eleve gradualmente, y se verá que la marcha de estos diversos instrumentos no es la misma como lo convence el cuadro siguiente formado por Deluc (*Investigaciones sobre las modificaciones de la atmósfera* página 271)

Mer- curio.	Aceite comun.	Aceite esen- cial de manzan- nilla.	Aceite esencial de tomillo.	Alco- hol.	Agua sa- turada de sal co- mun.	Agua.
80°	80°	80°	80°,3	80°	80°	80°
75	74,6	74,7	74,8	73,8	74,1	71
70	69,4	69,5	68,5	67,8	68,4	62
65	64,4	64,3	63,3	61,9	62,6	53,5
60	59,3	59,1	58,3	56,2	57,1	43,8
55	54,2	53,9	53,3	50,7	51,7	38,5
50	49,2	48,8	48,4	45,3	46,6	32,0
45	44,0	43,6	43,4	40,2	41,2	26,1
40	39,2	38,0	38,5	35,1	36,3	20,5
35	34,2	33,6	33,6	30,3	31,3	15,9
30	29,3	28,7	28,0	25,6	26,5	11,2
25	24,3	23,8	23,8	21,0	21,9	7,3
20	19,3	18,9	19,0	16,5	17,3	4,1
15	14,4	14,1	14,2	12,2	12,8	1,6
10	9,5	9,3	9,4	7,9	8,4	0,2
5	4,7	4,6	4,7	3,9	4,2	0,4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
- 5	....	....	....	-3,9	- 4,1	....
-10	....	....	....	-7,7	- 8,4	....

Este cuadro nos demuestra que el movimiento de los termómetros contruídos con aceite comun, y los esenciales de manzanilla ó tomillo difieren del de mercurio, y esta diferencia es mucho mayor para con los de alcohol y agua pura. El mercurio es entre todos los liquidos el mas uniforme en la dilatacion; asi es que se han servido de él con preferencia para la construccion de los termómetros: despues de las esperiencias de los Señores Petit y Dulong se ha probado que su

dilatacion absoluta es de $\frac{1}{8550}$ de su volúmen á cero por cada grado centigrado entre la temperatura del hielo, y la del agua hirviendo.

La dilatacion del agua ofrece una particularidad notable, cual es la de disminuir de volumen hasta cierta temperatura, mas allá de la cual el volumen aumenta como el de otros cuerpos: asi es que el agua á cero se condensa hasta que llega á la temperatura 4,°1, que es su maximun de densidad dilatandose en seguida á medida que se calienta.

Dilatacion de los Gases.

La dilatacion de los gases es uniforme y perfectamente igual en cada grado del termómetro; esto procede sin duda de que en estos cuerpos es absolutamente nula la cohesion, y nada se opone á la accion del calórico.

No solamente la dilatacion de los gases permanentes es uniforme en cada grado del termómetro, sino que esta misma ley se aplica igualmente á todos los vapores mientras no pasan del estado liquido, como resulta de las esperiencias de Mr. Gay-Lussac: segun este fisico un gaz permanente, cualquiera que sea su naturaleza, se dilata por cada grado del termómetro centigrado $0,00375$ de su volumen primitivo á cero; y $0,375$ de 0° , á 100° permaneciendo la misma presion; esto es aplicable igualmente al vapor de un liquido cualquiera.

Estos resultados han sido confirmados por Mr. Dalton fisico ingles, que se ocupaba casi al mismo tiempo que Mr. Gay-Lussac, de investigar los cambios de volumen que sobrevienen á los gases por la accion del calórico: segun Mr. Dalton el aumento del volumen de un gaz en un grado será $0,00372$, el cual difiere poco del número obtenido por Mr. Gay-Lussac; sin embargo la cantidad $0,00375$ nos parece mas exacta, y habia sido ademas anunciada hace algunos años por Mr. Charles para los gases que no se disuelven en el agua.

§ II.
DE LA CONDUCTIBILIDAD.

La conductibilidad de los cuerpos para el calor es la facultad mayor ó menor que tienen de dejar pasar el calor de una molécula á las inmediatas: así cuando se calienta una barra metálica por un extremo, la otra se calienta igualmente pocos momentos después, lo que depende de que el calórico se comunica de una molécula á otra hasta llegar á la estremidad opuesta.

Conductibilidad de los cuerpos sólidos.

Todos los cuerpos sólidos no tienen el mismo grado de conductibilidad, la madera, el carbon &c. son muy malos conductores del calórico.

El ingles Ynghenouz imaginó un aparato por cuyo medio se puede medir la conductibilidad de los cuerpos para el calor; consiste en una caja metálica, (fig. 134) que contiene en una de sus paredes cilindros de diferentes sustancias cubiertos de una ligera capa de cera virgen; se vierte en ella agua hirviendo, y se conoce la conductibilidad de los cuerpos sometidos á la esperiencia por el espesor de la cera fundida: operando así se encuentra que entre los cuerpos sólidos los metales son los que tienen mayor facultad de conducción, aunque no todos en un mismo grado: la plata y el cobre conducen mejor el calor que el hierro, plomo &c. y estos lo hacen mejor á su vez que el platino, que es uno de los metales peores conductores: las sustancias minerales, vegetales y animales, son también malos conductores del calor.

Conductibilidad de los cuerpos líquidos.

Hasta ahora no se ha determinado bien la facultad

tad conductora de los líquidos ; unicamente se sabe que son malos conductores , porque calentandose un líquido en su parte superior no se calienta mas que la capa que está en contacto con el foco del calor: verdad es que la masa total acabará por calentarse algo , pero esto proviene de otro fenómeno , cuales el calórico radiante, que atravesandola eleva un poco su temperatura.

Conductibilidad de los cuerpos gaseosos.

Nada esacto se sabe sobre esta facultad en los gases ; pero se presume que son peores conductores del calor que los líquidos, y se cree tambien que cuanto mas se dilatan tanto peores conductores son.

Sin embargo si se calienta un gaz, obsérvase que es de un modo considerable , mas esto proviene ó de la grande movilidad de sus moléculas ó de la mayor conductibilidad del vaso que lo contiene, ó del calórico radiante en fin, que atraviesa los intervalos que dejan entre si los átomos que componen el gaz.

§ III.

CALORICO RADIANTE.

Hemos dicho ya que el calórico escapa de la superficie de los cuerpos calientes bajo la forma de rayos, y puede uno convencerse de ello poniendo la mano á alguna distancia de un cuerpo caliente, en cuyo caso se siente una sensacion de calor producida por los rayos caloríficos que hieren la mano : estos rayos tienen la propiedad de reflejar en la superficie de los cuerpos lisos formando el angulo de incidencia igual al de reflexion. Si se colocan dos espejos cóncavos el uno frente al otro (*fig. 135*) y á distancia de 5 á 6 varas de modo que sus concavidades se miren, y sus ejes estén sobre una misma línea y se

pone en el foco del uno un cuerpo combustible, y esca por ejemplo, y en el del otro carbonos encendidos, se verá inflamarse la yesca y arder no obstante que está á una gran distancia del cuerpo caliente.

En esta esperiencia es preciso inferir, que el cuerpo caliente colocado en el foco del primer espejo, despide continuamente rayos de calor sobre él; que estos rayos reflejan paralelamente al eje, y haciendo el angulo de incidencia igual al de reflexion van á caer sobre el segundo espejo, y que reflejando del mismo modo que sobre el primero se juntan todos en el punto F, al cual hemos llamado foco; en este foco es donde se reúnen todos los rayos que caen sobre el segundo espejo, y se coloca el cuerpo que se ha de inflamar.

En la misma esperiencia puede reemplazarse el cuerpo caliente por un pedazo ó trozo de nieve, y poner un termómetro en el foco de un segundo espejo; al cabo de algunos segundos se le vé bajar muchos grados. De aqui han deducido algunos fisicos que ecsisten rayos de frio, que llaman frigorificos, los cuales reuniéndose en el foco del segundo espejo enfrían el termómetro; pero esto es una falsa esplicacion, porque siendo el termómetro el cuerpo mas caliente debe perder calor, hasta que haya equilibrio de temperatura entre el y la nieve.

Del poder radiante de los cuerpos.

En una misma temperatura varia el poder radiante de los cuerpos segun el estado de la superficie; por donde se vé que todos los cuerpos deben tener diferentes poderes radiantes; en efecto asi lo enseña la esperiencia, y lo han demostrado los señores Leslie y Rumfort, que han hecho sobre este objeto muchos esperimentos.

El medio que se emplea para estas esperiencias, ha sido practicado con buen exito por Mr. Leslie; consiste en tomar un cubo vacio, cuyos lados sean

de diferentes sustancias, y se llena de agua hirviendo, metiendo un termómetro en este cubo para indicar á cada instante la temperatura del aparato.

Mr. Leslie pone el cubo á tres pies de distancia de un espejo metálico en cuyo foco tiene puesto de antemano una de las bolas de su termómetro diferencial, él llama á esta bola, *focal*. Leslie observa el efecto que produce uno de los lados del cubo en su termómetro, despues presenta otro siguiendo así observando esactamente la marcha de su termómetro, segun que cambia de lado; tambien ha hecho otras esperiencias con un cubo, cuyas superficies son diferentes de las del primero, y notó el efecto que producía cada lado mirando á su termómetro.

En estas esperiencias el espejo que refleja los rayos caloríficos, y el aire mismo absorven una parte de los rayos; pero haciendo abstraccion de esta pequeña cantidad de calor absorbido la tabla siguiente indica el poder radiante de diversas sustancias, espresando por 100 el mayor efecto.

Poder radiante.

Negro de humo.....	100
Agua.....	100
Papel blanco.....	88
Crown-glass.....	90
Tinta de China.....	88
Agua elada.....	85
Mercurio.....	20
Plomo brillante.....	19
Hierro bruñido.....	15
Estaño, cobre, plata, pro &c.....	12

Poder absorbente de los cuerpos.

Quando los rayos de calor caen sobre una superficie bruñida reflejan, como en el experimento de la reflexion; pero si caen sobre una superficie empañada

da los absorve en gran parte: cuando se dá una capa de negro de humo á la superficie cóncava de un espejo, en cuyo foco esté colocado un termómetro, se observa por la inmovilidad de este instrumento, que si se pone un cuerpo caliente á alguna distancia, la mayor parte de los rayos son absorbidos; lo cual prueba, que los cuerpos cuya superficie es negra, escabrosa ó desigual, ó de algun color subido absorven mas pronto los rayos de calor que los de una superficie brillante.

Poder reverberante de los cuerpos.

Este poder reverberante se gradua cubriendo sucesivamente la superficie del espejo de diversas sustancias, y observando á cada experimento el termómetro de Leslie, cuya bola focal estará puesta en el foco del espejo; en estas esperiencias es indispensable que la superficie del cubo vuelta hacia el espejo sea constantemente la misma, y el agua renovada en cada vez, para que tenga siempre igual temperatura.

Representando por 100 el poder de reflejar del laton el de algunas sustancias se espresa del modo siguiente.

Poder reverberante.

Plata	90
Estaño en hojas.....	80
Acero	70
Plomo.....	60
Vidrio.....	10
Cristal aceitado.....	5
Negro de humo.....	0

Este cuadro nos muestra que los cuerpos bruñidos, que reflejan con mas abundancia el calórico son aquellos cuyo poder emisor es mas fuerte, y por el contrario los cuerpos que tienen mayor poder radiante son aquellos, cuya facultad de reflejar es mas de-

bil ; por ultimo los cuerpos cuyo poder absorbente es considerable son los que tienen mayor poder radiante.

Segun estos precedentes se vé, que para conservar un liquido caliente mucho tiempo, es necesario encerrarlo en un vaso cuyas facultades emisivas y absorbentes sean debiles; asi es que los metales bruñidos son muy apropósito para este uso.

Cuando se construye una chimenea debe cuidarse de cubrir el interior de azulejos ó losetas blancas y no pintarlas de negro á fin de que el calórico se refleje á la habitacion. Los vestidos negros son malos porque es muy considerable el poder emisor y absorbente ; en verano incomodan por la gran cantidad de calor que absorven ; y en invierno yelan por la de calórico que roban al cuerpo, despidiéndolo por todos lados á los cuerpos que nos rodean ; segun esto deberá uno vestirse de blanco asi en invierno como en verano.

§ IV.

Leyes del enfriamiento de los cuerpos.

Cuando se aísla en el espacio un cuerpo caliente pierde tanto mas calor cuanto mas elevada esté su temperatura, que la del medio en que está sumergido; el enfriamiento de los cuerpos en un gaz cualquiera se hace por la irradiacion y el contacto con el gaz que los rodea ; en el vacio es debido unicamente á la irradiacion ; resulta pues de las experiencias esactas de los señores Petit y Dulong, 1.º que si pudiera observarse el enfriamiento de un cuerpo colocado en el vacio, y terminado por una circunferencia desprovista absolutamente de calor, ó de la facultad de irradiar, las velocidades del enfriamiento decrecerian en progresion geométrica, cuando las temperaturas disminuyesen en progresion aritmética : 2.º en una misma temperatura, las velocidades

del enfriamiento por el aumento de temperatura en progresion aritmética, de la circunferencia vacía en que está colocado el cuerpo, decrecen como los terminos de una progresion geométrica disminuidos por un número constante: 3.º la velocidad del enfriamiento en el vacio, á un mismo exceso de temperatura, crece en progresion geométrica creciendo la temperatura de la circunferencia en progresion aritmética: 4.º la velocidad del enfriamiento, debido al solo contacto de un gaz, es absolutamente independiente de la naturaleza de la superficie de los cuerpos: 5.º la velocidad del enfriamiento debido al contacto de un gaz varia en progresion geométrica, cuando el exceso de temperatura varia tambien en la misma progresion: y 6.º el poder refrigerante de un fluido elástico disminuye en progresion geométrica, cuando su tension ó tirantez disminuye en la misma progresion; ó de otro modo, el poder refrigerante de un gaz es proporcional á una cierta potencia de la presion; el esponente de esta potencia, que depende de la naturaleza del gaz, es para el aire de 0,45, para el hydrogeno 0,315; para el gaz acido carbónico 0,517 y para el hydrogéno carbonado de 0,501.

Equilibrio de temperatura.

Quando dos cuerpos están desigualmente calientes se verifica entre ellos un cambio de rayos caloríficos hasta que se igualan sus temperaturas, y entonces se dice que hay equilibrio de temperatura; si los cuerpos están en contacto el mas caliente divide su calor con el mas frio, ya sea de molécula á molécula, ó por irradiacion, hasta establecer el equilibrio de temperatura: asi es que cuando tocamos por ejemplo un cuerpo cuya temperatura es mas baja que la nuestra experimentamos la sensacion del frio por que este cuerpo que tiende á ponerse en equilibrio de temperatura nos roba una parte de nuestro calorico; lo mismo sucede cuando entramos en un subterrá-

neo cuya temperatura es sensiblemente la misma en todas las estaciones, que en el verano nos parece fria y caliente en el invierno, lo que depende de que estando nuestro cuerpo en verano mas caliente que el aire del subterráneo le cede una parte de su calórico, mientras que en el invierno está mas fria la superficie de nuestro cuerpo y lo recibe del aire del subterráneo,

§ V.

VARIACION DE ESTADO.

Fusion de los cuerpos solidos.

El calórico hace pasar á los cuerpos del estado sólido al de liquido : todos los cuerpos solidos al cambiar de estado no presentan los mismos fenómenos ; unos como el sebo y la cera se reblandecen ; otros, como ciertas ligas metálicas, se ponen mas quebradizas antes de fundirse : pero lo que hay mas notable en estas variaciones de estado es que desde el momento en que el cuerpo comienza á fundirse su temperatura permanece constante en toda la duracion de la fusion. Se llama *latente* el calor absorbido mientras esta fusion de los cuerpos, el cual es de todo punto insensible al termómetro.

El cuadro siguiente indica el punto de fusion de algunas sustancias.

Mercurio.....	—	39°
Nieve ó yelo.....	0	
Aceite comun.....	+	10
Manteca de puereo.....		27
Sebo.....		33
Fósforo.....		43
Azufre.....		109
Estaño.....		210
Bismuto.....		256

Cuando los líquidos pasan al estado sólido pierden todo el calórico que habían absorbido al verificarlo del sólido, al líquido.

Ebulicion de los líquidos.

Cuando se calientan los líquidos llega un momento en que se forma el vapor al mismo grado de elasticidad que el aire que lo rodea: entonces se vé producir ampollas de vapor que agrandan á medida que se elevan, hasta romperse en su superficie: este movimiento tumultuario producido en los líquidos por la formación repentina del vapor es lo que se llama *ebulicion*; pero esta no tiene lugar en todos los líquidos á un mismo grado de temperatura; el punto de ebulicion, de un mismo líquido varia tambien con la presión; así se halla que bajo la presión ordinaria que es de 28 pulgadas

El éter sulfúrico hierve á.....	35°, 5
El alcohol.....	78°, 8
El agua.....	100°,
La esencia de trementina pura..	156°, 8
Mercurio.....	350°,

Segun esta tabla se ve, que bajo la presión ordinaria, el éter sulfúrico hierve á los 35,°5; pero si se pone en el recipiente de la máquina neumática verificandose el vacío hervirá á 0,°: si en lugar de disminuir la presión se aumenta, sirviendose para ello de un vaso metálico de paredes gruesas, y cerrado herméticamente, el cual lleva el nombre de *olla de Papin*, puede calentarse el vaso hasta enrojarse sin hervir el líquido que encierra; porque á medida que se forma el vapor adquiere una grande fuerza elástica, oprime al líquido en su superficie, y le impide calentarse considerablemente: si se le dá salida al vapor formado de este modo lo hace con violencia, y forma un rayo de muchos metros de altura: se usa la *olla de Papin* para estraer la galetina de

los huesos y para hacer cola : mientras dura la ebullicion de los liquidos la temperatura permanece constante, lo cual prueba que el calórico es absorbido por el vapor á medida que se forma.

Del frio producido por la evaporacion de los liquidos.

Supuesto que los liquidos absorven el calórico mientras pasan al estado de vapor , se sigue que esponiendo un liquido al aire libre robará á los cuerpos que le rodeen la cantidad de calor necesaria para reducirse á vapor , y asi sucede en efecto ; si se toma un termómetro cuyo receptaculo esté cubierto de algodón , se empapa este en el eter sulfúrico y se agita vivamente en el aire, se verá bien pronto descender el mercurio hasta 15 grados bajo cero; esto prueba que el éter para evaporarse robó calórico al receptaculo con el cual estaba en contacto : por semejanza de razon se esplica la sensacion de frio que uno experimenta cuando se vierte en una parte del cuerpo algunas gotas de un liquido, cuya evaporacion es pronta.

En España se usan unos vasos llamados *alcarrazas* para tener el agua fresca aun en los mayores ardores del estio: están hechos de una sustancia muy porosa de suerte que el agua contenida en ellos puede atravesar facilmente sus paredes, y aparecer en la superficie exterior bajo la forma de gotitas: este agua se evapora robando calórico á los vasos y á los liquidos que contienen, y de la continuacion de esta evaporacion se deduce que el agua de estos vasos debe refrescarse considerablemente.

Aun por la simple evaporacion del agua puede producirse el yelo en una atmósfera cuya temperatura sea mas elevada que la conveniente para su formacion ; basta poner en el recipiente de la máquina neumática dos vasos uno sobre otro , el superior que contenga agua pura, y el inferior una substancia que tenga mucha afinidad con el agua , por egeemplo , acido sulfúrico , y se verifica despues el vacío hasta un

punto considerable dejando en reposo el aparato; al cabo de algunos minutos aparece el agua perfectamente congelada. Este fenómeno es muy fácil de explicar; el agua que está en la cápsula superior se reduce parcialmente á vapor, el cual es prontamente absorbido por el ácido sulfúrico: entonces se forma un nuevo vacío que bien pronto ocupa otra cantidad de vapor, pero como este no puede formarse sin quitar al agua su calórico, resulta que le roba lo bastante para hacerla pasar al estado de yelo. Esta esperiencia es de Mr. Leslie.

§ VI.

DE LOS VAPORES.

Sabiendo ya que los líquidos pueden transformarse en vapores vamos á considerar estos con relacion á sus fuerzas elásticas, á su densidades, á su mezcla con los gases y tambien á su formacion en el vacío.

Fuerza elástica.

El aparato que se emplea para medir la fuerza elástica de los vapores á la temperatura ordinaria es muy sencillo; consiste en un tubo barométrico en el cual se echa mercurio hervido casi hasta llenarlo, acabandolo de hacer con el líquido cuyo vapor quiere esperimentarse; se da vuelta al tubo tapando la boca con el dedo, y haciendo correr el líquido en toda su longitud á fin de que se desprendan las ampollas de aire que puedan quedar adheridas á sus paredes; se vuelve el tubo para que arrastrado el aire por el líquido pueda subir y escapar, y entonces acaba de llenarse, bien del líquido, ó bien de mercurio si se juzga haber puesto ya lo bastante del primero: hecho esto, y tapando la boca con el dedo, se sumerge en un baño de mercurio, quitando el dedo despues de sumergido: en

tonces se observa que el liquido se evapora al momento en todo ó en parte, lo que depende del espacio, de la temperatura, y de la naturaleza, ó cantidad del liquido; para que la esperiencia sea rigurosa es necesario que permanezca sobre la columna de mercurio una ligera capa del liquido la cual pasa al estado de vapor.

Si se compara la altura del mercurio en este tubo barométrico á la de un barómetro perfecto se vé que no es la misma, y que es mas elevada en el barómetro que en el tubo donde está el vapor; este descenso no puede proceder sino de la fuerza elástica del vapor del liquido que oprime la columna, y la diferencia de nivel indica precisamente la fuerza elástica del vapor del liquido que se emplea en la temperatura en que se opera.

Una diferencia muy grande, que ecsiste entre los vapores y los gases es, que si en un espacio dado se aumenta la cantidad de materia capaz de producir un gaz, se aumenta tambien la fuerza elástica del gaz; miéntras que si se aumenta la cantidad de liquido que no se ha evaporado, no se varia absolutamente la fuerza del vapor; de igual modo aumenta la fuerza elástica de un gaz á medida que se disminuye el espacio que ocupa, mientras que no pudiendo soportar el vapor una presión mayor que la conveniente á su máximo de fuerza elástica, según la temperatura en que se opera, se convierte en liquido á medida que disminuye el espacio que lo contenia.

Se obtiene la fuerza elástica del vapor de un liquido desde 0,º hasta el punto de la ebulicion sirviéndose para ello de un tubo semejante al anterior, que se coloca al lado de un barómetro perfecto, se le rodea de un mango de cristal lleno de agua muy clara, cuya temperatura se conoce por un termómetro de receptáculo prolongado que se mete en el mango, se deja enfriar, y se observa á cada grado del termómetro la diferencia de ambos niveles, lo cual indica la fuerza elástica del vapor que corresponde á

las diversas temperaturas observadas. Esta experiencia puede repetirse con un gran numero de liquidos, y se halla que á la temperatura de su ebulicion se equilibran con la presion ordinaria que es igual á 28 pulgadas; esto es, que hacen bajar el mercurio en el tubo al nivel de aquel en que el tubo está sumergido.

Tambien puede observarse la fuerça elástica de un vapor á 0,^o y aun mas bajo; mas para esto es necesario encorvar la estremidad cerrada del tubo barometrico, y sumergirla en una mezcla refrigerante, cuya temperatura se conozca: este procedimiento tan ingenioso es debido á Mr. Gay-Lussac.

Para observar en fin la fuerça elástica de un vapor sobre 100,^o dispuso Mr. Dalton un aparato del modo siguiente: se encorba un tubo barometrico dandole la forma de sifón (*fig.* 136) se coloca de modo que la rama mas corta contenga el liquido que se quiere vaporizar; que esté lleno de mercurio, y ademas que el mercurio en la otra rama se halle á la misma altura; se cubre la rama mas corta con un cilindro de cobre el cual se llena de aceite á diferentes temperaturas; en este caso es evidente que la fuerça elástica del vapor equilibra á la presion atmosferica, y al ceso de nivel en la rama larga. Si se quiere una temperatura mas elevada, se calienta mas el aceite vertiendo al mismo tiempo mercurio en la rama larga del sifón, y entonces el ceso de nivel de esta sobre la pequeña, unido á la presion atmosferica, es igual á la fuerça elástica del vapor en esta nueva temperatura.

El Dr. Ure de Glasgow ha modificado la forma de este aparato sustituyendo al cilindro metalico un recipiente de cristal en el cual se hecha el liquido, permitiendo asi calentarlo directamente. A continuacion damos una tabla de la fuerça elástica del vapor de agua, desde—20,^o hasta 130,^o—

Tabla de la fuerza elástica del vapor del agua entre -20° y $+130^{\circ}$.

GRADOS.	TENSION.	GRADOS.	TENSION.	GRADOS.	TENSION.	GRADOS.	TENSION.
-20	1,333	18	15,353	56	119,39	94	611,18
-19	1,429	19	16,288	57	125,31	95	634,27
-18	1,531	20	17,314	58	131,50	96	658,05
-17	1,638	21	18,317	59	137,94	97	682,59
-16	1,755	22	19,417	60	144,66	98	707,63
-15	1,879	23	20,577	61	151,70	99	733,46
-14	2,011	24	21,805	62	158,96	100	760,00
-13	2,152	25	23,090	63	166,56	101	787,27
-12	2,302	26	24,452	64	174,47	102	815,26
-11	2,461	27	25,881	65	182,71	103	843,98
-10	2,631	28	27,390	66	191,27	104	873,44
-9	2,812	29	29,045	67	200,18	105	903,64
-8	3,005	30	30,643	68	209,44	106	934,81
-7	3,210	31	32,410	69	219,06	107	966,31
-6	3,428	32	34,261	70	229,07	108	994,79
-5	3,660	33	36,188	71	239,45	109	1024,04
-4	3,907	34	38,254	72	250,23	110	1066,06
-3	4,170	35	40,404	73	261,43	111	1100,87
-2	4,448	36	42,743	74	273,03	112	1136,43
-1	4,745	37	45,033	75	285,07	113	1172,78
0	5,059	38	47,579	76	297,57	114	1209,90
1	5,393	39	50,147	77	310,49	115	1247,81
2	5,748	40	52,998	78	323,89	116	1286,51
3	6,123	41	55,772	79	337,76	117	1325,98
4	6,523	42	58,792	80	352,08	118	1366,22
5	6,947	43	61,958	81	376,00	119	1407,24
6	7,396	44	65,627	82	382,38	120	1448,83
7	7,871	45	68,751	83	398,28	121	1491,58
8	8,375	46	72,393	84	414,73	122	1534,89
9	8,909	47	76,205	85	431,71	123	1578,96
10	9,475	48	80,195	86	449,26	124	1623,67
11	10,074	49	84,370	87	467,38	125	1669,31
12	10,707	50	88,742	88	486,09	126	1715,58
13	11,378	51	93,301	89	505,38	127	1762,56
14	12,087	52	98,075	90	525,28	128	1810,25
15	12,837	53	103,06	91	545,80	129	1858,63
16	13,630	54	108,27	92	566,95	130	1907,67
17	14,468	55	113,71	93	588,74		

De la densidad de los vapores.

El procedimiento por el cual se determina la densidad de los vapores es debido á Mr. Gay-Lussac: empieza por soplar á la lámpara del esmaltador una pequeña ampolla de cristal (*fig. 137*) muy delgada que se pesa; en seguida se llena exactamente de liquido calentandola y sumergiendola en él lo mismo que se haría para llenar un tubo de termómetro: estando llena la ampolla se tapa la punta al rayo del soplete, ó á la luz de una bugía: pesandola de nuevo, y deduciendo este peso del primero, se sabe el del liquido contenido en la ampolla: se pone esta bajo una campana de cristal dividida en partes de igual capacidad y llena de mercurio, la cual está metida boca abajo en un baño del mismo mercurio, contenido en una pila que se pone en un hornillo: se cubre la campana con un gran cilindro de cristal lleno de agua, (*fig. 138*) calentado el aparato hasta hervir el agua del cilindro, esta calienta al mercurio de la campana igualmente que la pequeña ampolla de cristal: el liquido contenido en ella se dilata, y rompiendo la caja se reduce á vapor; entonces se mide con gran cuidado la altura de la columna en la campana partiendo del nivel del mercurio que está en la pila; se deduce esta altura de la del mercurio, que contiene el barómetro en el instante mismo en que se hace la esperiencia, y así se tiene la fuerza elástica del vapor, reduciendo por el calculo las alturas de ambas columnas á 0°. Se conoce el volumen del vapor por el numero de divisiones que ocupa en la campana, por donde se ve que es facil hallar las relaciones de los volúmenes del liquido y del vapor á una temperatura y presión dadas.

Es necesario en esta esperiencia asegurarse si todo el liquido se ha vaporizado, porque si no lo está se cometerian grandes errores; seria preciso volver á empezar la esperiencia, y operar con una cantidad menor de liquido.

Operando del modo que acabamos de describir, y despues de hechas las reducciones necesarias, ha encontrado Mr. Gay-Lussac que á la temperatura 100,º y bajo la presion de 28 pulgadas ocupaba el vapor del agua 1696,4 veces su volumen en el estado liquido, de donde se sigue que el peso del vapor del agua es á el del aire, como 10,577 es á 16,964; ó proximamente como 10 es á 16, es decir, que un volumen de vapor de agua á 100,º pesa 10, mientras un volumen semejante de aire tambien á 100º pesa 16. He aqui segun Mr. Gay-Lussac la densidad de algunos vapores halladas por el procedimiento descrito.

DENSIDADES.	Peso de 2 cuartillos á 0 bajo la presion de 28 pulgadas.	
Aire.....	1,000	1,299
Vapor de agua....	0,625	0,810
Alcohol.....	1,613	2,096
Eter sulfúrico.....	2,586	3,360
Carbonato de azufre	2,645	3,436
Esencia de tremen-		
tina.....	5,013	6,515

Mezcla de los vapores con los gases.

En un espacio lleno de aire ó de un gaz cualquiera, la cantidad de vapor que se forma tiene la misma fuerza elastica, y es esactamente igual á la que se formaria siendo la temperatura la misma, si el espacio dicho estuviera vacío; solamente la vaporizacion es mas lenta, y tanto mas cuanto el gaz con que se combina es mas denso; la fuerza elastica del vapor así formado se junta con la del aire, y esto inclina á creer que el gaz no ejerce ninguna presion sobre el vapor, y que la formacion del gaz es unicamente debida al calórico.

Evaporacion de los liquidos.

Cuando se espone un liquido al aire libre, se sabe que poco á poco se disipa, y que pasado cierto tiempo desaparece del todo; este efecto se llama *evaporacion*.

Hemos visto antes que un liquido introducido en un espacio vacio, ó lleno de aire seco, una parte de él pasa al estado de vapor, y esta cantidad depende de la temperatura; sin otra diferencia entre el aire y el vacio, que la desigual rapidez de la evaporacion, pues en este se verifica súbitamente, y de un modo lento en el aire.

Segun esto se vé que espuesto un liquido al aire libre, el agua, por ejemplo, se evaporará si la cantidad de vapor acuoso contenida en el aire no es conveniente á aquella temperatura; la evaporacion será tanto mas rapida cuanto el aire esté menos cargado de humedad, la temperatura del liquido sea mas elevada, mayor superficie presente, y segun en fin las capas de aire que están en contacto con la superficie liquida sean renovadas sucesivamente á medida que se carguen de vapor. Mr. Dalton ha hallado que la evaporacion del agua en una atmósfera tranquila y seca era proporcional á la fuerza elástica del vapor que se forma; así á una temperatura igual la evaporacion es mas rapida en los liquidos cuya fuerza elástica es mas considerable.

La formacion del vapor no puede efectuarse sin robar calorico á la masa liquida de donde sale (Vease lo que dijimos con este objeto en la pag. 226 sobre el frio producido por la evaporacion de los liquidos.)

Condensacion de los vapores.

Cuando un liquido ha pasado al estado de vapor, tres causas diferentes pueden volverlo á su primitivo estado, á saber, la compresion, el enfriamiento, y la afinidad de una sustancia con el vapor condensado.

La presión que sufre un vapor disminuyendo sucesivamente el espacio que ocupa basta para volverlo al estado líquido : la condensación de un vapor por enfriamiento se obtiene haciéndolo pasar al través de un líquido frío: el vapor en fin se condensa por el contacto con sustancias que tienen mucha afinidad con él ; así es que , algunas sales, por ejemplo, cuya afinidad con el agua es grande se apoderan de su vapor en cualquier parte donde lo encuentran.

§ VII.

DE LOS HYGROMETROS.

Los hygrometros tienen por objeto dar à conocer la cantidad de agua en estado de vapor que hay en el aire atmosférico, ó en un gaz cualquiera.

El principio sobre que está fundada la construcción de los hygrometros es el de que las sustancias orgánicas cambian de volumen á medida que absorben vapores ó los despiden, todos saben que en tiempo húmedo está mas flexible el pergamino que en el seco ; las cuerdas de guitarra se alargan cuando el aire está húmedo ; al papel y otra porción de sustancias que podrian citarse, sucede lo mismo que al pergamino.

Se construyen una porción de hygrometros inútiles á las ciencias , pero que presentan á los ojos del vulgo el grosero efecto que produce en ellos el aire húmedo ó seco : la principal pieza de estos instrumentos es una cuerda de guitarra atada por un extremo á un punto inmovil, y por el otro á una figurita, que ordinariamente es un capuchino ; segun que el aire es mas ó menos húmedo se alarga ó encoge haciendo mover el brazo ó capucha de la figura.

El hygrometro que se usa con preferencia es el de Saussure ; la pieza principal es un cabello limpio de grasa , lo cual se hace hirviéndolo algunos minutos en agua en que se haya disuelto un cen-

tésimo de sulfato de sosa: este cabello se fija solidamente por un extremo, y el otro se enrosca en una polea, á la cual se pone una aguja que pueda correr un círculo dividido: este extremo lleva un pesito á fin de que esté convenientemente tirante (*fig. 139*) Para que este instrumento sea comparable á si mismo tomó Saussure dos puntos fijos para dividir la escala, la sequedad extrema y la extrema humedad. Para determinar esta última ponía Saussure el hygrometro bajo una campana cuyas paredes humedecía metiendola luego en un vaso ancho lleno de agua; conservaba las paredes de la campana siempre humedadas hasta que el cabello dejaba de alargarse, marcando entonces el punto donde paraba la aguja; despues llevaba el hygrometro al recipiente de la máquina neumática, y para producir una extrema sequedad, ponía bajo la campana una placa de hierro, batido que habia calentado hasta enrojecerla, cubierta de carbonato de potasa; verificado el vacío observaba el punto donde paraba la aguja, lo marcaba, y dividia el intervalo en 100 partes iguales, poniendo el numero 100 á el punto de extrema humedad, y el 0 en el de sequedad extrema.

Construido de esta manera el hygrometro solo indica la mayor ó menor humedad del aire, y de ningun modo la cantidad total de vapor esparcido en el: sería pues importante conocer las relaciones entre los diversos grados del hygrometro, y las cantidades de vapores que les corresponden; Saussure empezó este trabajo y aun construyó algunas tablas pero inesactas: Mr. Gay-Lussac ha continuado su trabajo y dado al fin las tablas.

De las nieblas y de las nubes.

El agua que hay en todas partes sobre la superficie de la tierra se evapora de un modo invisible, y se eleva en la atmosfera por su fuerza expansiva repartiendose en todas direcciones: esta evaporacion continúa hasta que el aire está perfectamente satura-

do. Si la temperatura disminuye no puede existir todo el vapor en esta nueva temperatura, y entonces se apodera el frio del vapor escedente condensandolo bajo la forma de globulitos huecos que se llaman *vesiculas ó vapor vesicular*. Cuando esta condensacion se hace en las altas regiones del aire forman las vesiculas una nube tanto mayor, cuanto mayor sea la estension de la atmosfera donde se siente el frio; mas al contrario si sucede en las regiones del aire, que están en contacto con la tierra, formarán estas vesiculas la niebla; este es el modo de producirse las nubes y las nieblas.

Del rocío.

Al Dr. Wells es á quien debemos la teoría y esplicacion del fenómeno del rocío. Los diferentes cuerpos que están en la superficie de la tierra lanzan calórico radiante en todas direcciones, pero es muy desigual entre ellos esta irradiacion, la parte de estos cuerpos que mira al cielo irradia hacia el, y si está entonces tranquila y sin nubes la atmosfera, este calórico es perdido para ellos; pero como no pueden reparar esta perdida baja su temperatura, tanto mas cuanto mayores sean la estension del cielo hacia la cual irradian, y su poder radiante. La temperatura puede bajar hasta $-3,0 - 2,0 - 1,0$ para unos y para otros á $0, +1,0 + 2,0 + 3,0$; entonces la capa de aire que descansa sobre los cuerpos se enfria igualmente que el vapor del agua, y se precipitan sobre estos cuerpos fríos tanto mas abundantemente cuanto sea mas baja la temperatura; segun esto se vé que los cuerpos que mas se enfrian son aquellos sobre los cuales cae el rocío mas copiosamente.

El rocío se forma durante la noche; empieza algunas veces un poco antes de ponerse el sol, está cayendo toda la noche, y muchas veces algunos instantes despues de la salida de este astro: la precipitacion del rocío es mas considerable entre la media noche y la salida del sol, que entre su ocaso y la

media noche , porque el frio es mayor en el primer intervalo de tiempo que en el segundo : las circunstancias que pueden aumentar la humedad del aire, aumentan la cantidad de rocío , asi es que en las noches serenas y sin nubes, el rocío es mas abundante despues de la lluvia que en la estacion seca; y lo es tambien mas con los vientos de mediodia y poniente , que con los de norte y este.

De la escarcha.

Cuando los cuerpos se han enfriado, y el rocío ha caído en su superficie , se concibe muy bien que este enfriamiento puede ser bastante grande para llegar á la temperatura de $-2.0-3.0$; helar las gotas de agua que cubren los cuerpos, y formar lo que se llama *escarcha*.

Formacion artificial de yelo en Bengala.

En Bengala se forman yelos artificiales en las noches en que está la atmósfera serena y sin nubes, y en las cuales la temperatura del aire es de algunos grados bajo cero ; para este efecto se hacen en un gran llano agujeros de forma rectangular de 30 pies de lado , y 2 de profundidad llenandolos de cañas de azucar , ó paja de maiz ; sobre esta capa y unos al lado de otros se ponen barreños muy delgados de cerca de dos pulgadas de profundidad llenos de agua : por la tarde se disponen estos vasos , y á la mañana se recoge el yelo que se ha formado durante la noche.

Por mucho tiempo se creyó que la formacion del yelo era debida á la evaporacion; pero á poco que se medite se verá que esto es imposible : por que muchas veces aumenta el peso del agua. El calorico radiante es el que nos da la esplicacion de este fenómeno.

§ VIII.

Capacidad de los cuerpos para el calórico.

Se ha intentado hasta aqui inutilmente determinar la cantidad absoluta de calórico que contienen los cuerpos, pero se ha llegado á medir la cantidad que toman para elevarse un numero igual de grados bajo el mismo peso, y á esta cantidad se le ha dado el nombre de *calor ó calórico específico*.

Mezclando una libra de agua á 34,° y otra de mercurio á 0,° se obtienen dos libras de una mezcla, cuya temperatura es de 33 grados, deduciendo de aqui que el mercurio y el agua contienen diferentes cantidades de calor específico. Esta experiencia nos demuestra que la cantidad de calórico necesario para elevar la temperatura del agua un grado, es suficiente para elevar la de una libra de mercurio 33 grados; luego la capacidad del agua para el calórico es mucho mayor que la del mercurio.

La capacidad de un cuerpo para el calórico aumenta con la temperatura, aun que para el agua es sensiblemente la misma de 20,° á 40,° que de 40,° á 60,° como lo prueba la experiencia siguiente: se mezcla una libra de agua á 15 grados con otra á 45,° y resultan dos libras cuyo temperatura es sensiblemente á 30. El mercurio está en el mismo caso que el agua en las temperaturas bajas por que se encuentra que de 0,° á 100,° son menores las capacidades que de 100,° á 200,° y con mayoria de razon de 200,° á 300,°

Si se opera sobre los mismos cuerpos pero en diferentes estados se vé que las capacidades son de todo punto diferentes; asi el agua parece tener menos capacidad en el estado liquido que en el de yelo, porque mezclando una libra de agua á 75,° con otra de yelo á cero se obtienen dos libras de agua á cero.

Con este método conocido bajo el nombre de *me-*

todo de las mezclas se puede determinar cual es el calórico específico de un gran numero de cuerpos. Para este efecto se empieza por hallar la relacion entre el calórico específico del agua, y el de los cuerpos sometidos á la esperiencia, se representa el primero por la unidad, y á esta se compara la de los otros cuerpos; asi es que en las proposiciones anteriores hemos visto que el calórico específico del mercurio es al del agua como 1 es á 33, y representando el del agua por la unidad lo será el del mercurio por $\frac{1}{33}$ ó por 0,33.

Este metodo no es aplicable cuando los cuerpos sometidos á la esperiencia ejercen una accion quimica sobre el agua, por que combinandose absorben ó despiden calórico, lo que altera del todo los resultados; entonces se les mezcla con cuerpos sobre que no egerzan accion, y cuyo calórico específico sea conocido, á fin de determinar la cantidad de este que contengan.

Conviene indicar aqui ciertas precauciones que deben observarse para operar con toda la esactitud posible; y son la de que los vasos que sirven, y aun el aire que rodee esten á la misma temperatura que la mezcla, que deberá hacerse muy pronto, observando al momento su temperatura con un termómetro metido en la mezcla.

Ademas del método que acabamos de describir, ecsiste otro que es quizá susceptible de mas esactitud: sabemos que una libra de agua á 75,° líquida otra de yelo á 0.°; si pues se eleva la temperatura de otro cuerpo á 75,° y este líquida media libra ó una cuarta parte de su peso de yelo se deducirá que el calor específico de este cuerpo es $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ ó bien de 0,5, de 0,25. Partiendo de este principio es como Lavoisier y Laplace han construido el instrumento que llamaron *calorímetro*.

Se compone de tres vasos metálicos contenidos unos dentro de otros, y separados por pequeñas laminas de metal. El vaso del centro formado de alambre es donde se pone el cuerpo cuyo calor específico se intenta valuar; el intervalo que separa este vaso

del segundo está lleno de nieve triturada, y el que separa al segundo del tercero está igualmente lleno de nieve á fin de que la temperatura del aire no tenga ninguna influencia sobre la nieve del segundo vaso; al aparato se pone una tapadera sobre la cual se coloca tambien nieve (*fig.140.*)

El segundo vaso lleva en su parte inferior una llave, cuyo objeto es dar salida al agua á medida que el cuerpo derrite la nieve. Este agua se recoge y se pesa con sumo cuidado, cuando se juzga que el cuerpo ha llegado á la temperatura de la nieve liquida.

Cuando está liquido el cuerpo cuyo calórico específico se quiere determinar, se le mete en un vaso cuyo calórico específico se ha determinado antes: se eleva la temperatura convenientemente, y se le lleva en seguida al calorímetro: entonces es necesario tener cuidado de observar el calórico específico del vaso.

Cuando los cuerpos son gaseosos es necesario emplear el medio de que se han servido los señores Delaroche y Berard; consiste en tomar un cilindro lleno de agua atrevesado de una serpentina por la cual se hace pasar una corriente del gaz que se somete á la esperiencia, y cuya temperatura es constante. Este gaz calienta el agua cierto numero de grados y se concibe que si se toman sucesivamente diferentes gases pueden conocerse sus calores específicos por la cantidad que se necesita de cada uno para calentar á igual numero de grados una misma masa de agua; porque el calor específico de cada gaz está en razon inversa de los volúmenes empleados.

Si se quieren comparar estos resultados al calórico específico del agua, bastará valuar en peso el volumen de los gases, conocer su grado de frialdad á la salida de la serpentina, el peso del agua caliente y su aumento de temperatura, y el calórico específico en fin del vaso empleado. Por este medio se halla que 265.13 cuartillos de aire atmosférico, bajo la presión de 28 pulgadas, y á 0° de la temperatura del termómetro, pesan 3,76 onzas y son capaces de elevar

la temperatura de 21,58 onzas de agua hasta 4.^o perdiendo 85^o de calor. Se buscará por medio del cálculo la cantidad de agua que se elevaría á 85.^o por la cantidad de calor que eleva 21, 58 onzas á 4^o, haciendo la proporcion 85^o: 4^o: 21,58 onzas:x= 1,01 onzas. Entonces se tiene el peso del aire y del agua á la misma temperatura; y como los calóricos específicos están en razon inversa de los pesos, el calor específico del agua es á el del aire en relacion de 3,76 á 1,01, ó bien de 1 á 0,269.

Calor específico de diversas sustancias comparado al del agua tomada por unidad, segun Lavoisier y Laplace.

Agua.....	1,00000
Azufre.....	0,20850
Hierro batido.....	0,11051
Estaño.....	0,04754
Plomo.....	0,02819
Mercurio.....	0,02900
Oxido rojo de mercurio (deutóxido).....	0,05011
Minio.....	0,06227
Cal viva del comercio.....	0,21689
Cristal sin plomo.....	0,19290
Acido nítrico dilatado... 1,2989.....	0,66149
Acido sulfúrico dilatado... 1,87.....	0,33460
Solucion de nitro formada por { Nitro. 1 } { Agua. 8 }	0,81870
Aceite comun.....	0,30961

NOTA.—Segun Crawford el calor específico de la sangre venosa es de 0,8928 y el de la arterial de 1,030: y segun John Davy el de la sangre venosa es de 0,903 y el de la arterial de 0,913.

Calor específico de diferentes gases bajo una misma presión, según los Sres. Laroche y Berard, siendo la unidad el del aire atmosférico.

	En iguales volúmenes.	En iguales pesos.
Aire atmosférico.....	1,0000	1,0000
Gaz hidrógeno.....	1,9033	12,3401
— ácido carbónico.....	1,2583	0,8280
— oxígeno.....	0,9765	0,8848
— azoe.....	1,0000	1,0318
Protóxido de azoe.....	1,3503	0,8878
Gaz hydrogeno per-carbonado.	1.5530	1,5763
— óxido de carbono.....	1,0340	1,0805
Vapor de agua.....	1,9600	3,1360

Calor específico de los gases comparado con el del agua tomada por unidad.

	Calor específico.
Agua.....	1,0000
Aire atmosférico.....	0,2669
Hydrógeno.....	3,2936
Acido carbónico.....	0,2210
Oxígeno.....	0,2361
Azoe.....	0,2754
Protóxido de azoe.....	0,2369
Gas hydrogeno per-carbonado..	0,4207
Oxido de carbono.....	0,2884
Vapor acuoso.....	0,8470

Ademas del calorímetro de Lavoisier y Laplace, existe otro inventado por Rumford por medio del cual se pueden medir las cantidades relativas de calor producidas durante la combustión de muchas sustancias. Este calorímetro se compone de un vaso de cobre roseta, que tiene ocho pulgadas de

largo, cuatro de ancho é igual altura; en su fondo interior hay una serpentina (fig. 141): uno de los extremos de esta atraviesa el fondo de la caja en forma de embudo y el otro extremo, despues de haber hecho dos revoluciones horizontales, atraviesa la pared del vaso horizontalmente. La tapadera de este calorímetro tiene dos agujeros uno destinado á recibir un termómetro de recipiente cilíndrico, y otro á verter agua en la caja.

Cuando se quiere usar este calorímetro se le llena de agua destilada, y se queman las sustancias bajo la estremidad de la serpentina que acaba en embudo. Los productos de la combastion pasan á la serpentina, y depositan en ella el eceso de su temperatura sobre la del agua. Para tener relaciones del calor desprendido por diferentes sustancias es preciso valuar exactamente la cantidad de cada una de ellas, que es necesario emplear para elevar á una misma temperatura una masa igual de agua.

IX

DE LAS MÁQUINAS DE VAPOR.

Las experimentas hechas con el agua en estado de vapor hicieron concebir la idea de aplicarlo en máquinas para mover los cuerpos pesados; de aquí se inventaron las máquinas de vapor. Se sabe generalmente, que en las máquinas de vapor se aprovecha todo el movimiento que se produce en el agua al salir de la caldera y bajar de un cilindro, que se mueve en un cuerpo de bomba; este cuerpo de bomba está en comunicación con una caldera, donde se forma el vapor por la acción del fuego.

(1) Véase también Lavoisier y Laplace, R. Humboldt.

Elevacion de temperatura que la combustion de 18 granos de diversas sustancias comunica á igual cantidad de agua segun Rumford, Lavoisier y Laplace. (1)

Hydrógeno.....	23400° LL.	
Aceite comun.....	} 11166 LL. 9044 R.	
Cera blanca.....		} 10500 LL. 9479 R.
Aceite de colza depurado.	9307 R.	
Sebo	} 8369 R. 7187 LL.	Gravedad especifica.
Eter sulfúrico.....		8030 R.	0,72834 á 26°
Fósforo	7500 LL.	
Carbon	7226 LL.	
Naphta.....	7338 R.	0,82731 á 13° $\frac{1}{2}$
Alcohol a 42° del areóm.	6195 R.	0,817624
Id. mas acuoso.....	5422 R.	} 0,84714 0,85234
Id. a 33° del areómetro..	5261 R.	
Madera de encina.....	3146 R.	

§ IX.

DE LAS MAQUINAS DE VAPOR.

Las esperiencias hechas con el agua en estado de vapor hicieron concebir la idea de aplicarlo en muchos casos como fuerza motriz; de aqui la invencion de las máquinas de vapor.

Se sabe generalmente, que en las máquinas de vapor de cierta especie todos los movimientos tienen su orijen en el juego alternativo de sube y baja de un émbolo, que se mueve en un cuerpo de bomba: este cuerpo de bomba está en comunicacion con una caldera, donde se forma el vapor por la accion del fue-

(1) LL., significan Lavoisier y Laplace: R., Rumford.

go que está debajo. Importa mucho conocer la manera con que el vapor se emplea en mover el émbolo.

Supongamos un cuerpo de bomba que comunica con la caldera donde puede formarse el vapor, y un émbolo en el cuerpo de bomba: en el instante en que se abre la comunicacion entre la caldera y el fondo del cuerpo de bomba, lo cual se hace por medio de una llave, se introduce el vapor bajo el émbolo, y le hace subir en virtud de su fuerza elastica. Cuando ha llegado al punto mas alto de su elevacion se cierra la llave que establece la comunicacion entre el interior de la caldera y el cuerpo de bomba, y por medio de una segunda llave se hace entrar un caño de agua fria en el cuerpo de bomba, que llega à la base del émbolo, y al caer liquida el vapor.

Entonces la presion atmosférica que obra continuamente sobre la cara superior del émbolo le obliga à descender. Despues pasa una nueva cantidad de vapor al cuerpo de bomba que elevando el émbolo por su fuerza expansiva se condensa por un caño de agua fria; y asi se suceden los efectos de manera, que hacen durables los movimientos sucesivos del émbolo.

De esta manera se empleaba el vapor en las primeras máquinas; pero se veía que no estaban esentas de inconvenientes: al principio era necesario un maquinista muy inteligente para abrir y cerrar la llave de inyeccion, y la que proveia de vapor; ademas el agua fria que caia en el cuerpo de bomba enfriaba las paredes, y esto ocasionaba un gasto considerable de combustible por la gran cantidad de vapor que era necesario suministrar.

Estas máquinas han sido perfeccionadas por el célebre Watt de manera que al presente no existen los inconvenientes, que acabamos de citar en las máquinas que hoy se usan.

En las máquinas de Watt se ha suprimido la presion atmosférica, y el vapor llega alternativamente por encima y debajo del émbolo. La condensacion

del vapor se hace en un tubo llamado *condensador*, que está colocado al lado del cuerpo de bomba. Además las llaves y las balbulas se mueven por la máquina misma, de modo que no es necesario para cuidarla mas que un hombre que entretenga el fuego.

El plan que hemos trazado no nos permite entrar aqui en pormenores sobre la construccion de las máquinas de vapor: esto es mas bien del objeto de la mecánica aplicada. Nuestra idea era solamente demostrar que se podia emplear con buen éxito el vapor como fuerza motriz.

§ X.

DE LAS FUENTES DEL CALÓRICO.

Las principales fuentes del calórico son 1.^a el sol 2.^a las combinaciones químicas; 3.^a la percusión: 4.^a la frotacion y 5.^a la electricidad.

Podemos considerar el sol como una fuente abundante de calor que no se agota jamas, pero que varía segun los lugares y estaciones, esto es, segun las situaciones relativas de la tierra respecto del sol; así los polos que apenas reciben algunos rayos solares están constantemente helados, mientras que las regiones del equador estan siempre ardientes, porque reciben casi perpendicularmente los rayos del sol.

Combinaciones químicas.

En todas las combinaciones químicas hay desprendimiento de calor y algunas veces de luz; así mezclando cuatro partes de ácido sulfúrico y una de agua la temperatura de esta mezcla sube á 100.^o y alguna vez mas.

Combinando la potasa y la sosa con el ácido sulfúrico se obtiene un desprendimiento de calor muy considerable.

El bismuto, el arsénico y el antimonio bien mo-

lidos se inflaman cuanto se les echa en el cloruro gaseoso.

Si se vierte acido sulfúrico sobre una mezcla de benjuí y de clorato de potasa aumenta la temperatura, y la mezcla acaba por inflamarse.

En fin, el fenómeno admirable de la combustion se verifica, ya por desprendimiento de calor y de luz, ó ya sin desprendimiento de luz, y aun sin ninguno apreciable de calor: asi es que el hierro, el fósforo &c. espuestos á la temperatura ordinaria en la atmósfera se combinan con el oxygeno del aire sin desprendimiento de calor sensible para el termómetro, pero si se toma el hierro en alambres muy delgados, y se eleva su temperatura hasta cierto punto sumergiéndolo en el oxygeno se le ve inflamarse con desprendimiento de calor, y una luz tan brillante que ofende la vista.

De la presion.

El cloro, el oxygeno, y el aire atmosférico desprenden por una compresion repentina un calor considerable que puede inflamar la yesca. Si la compresion se hace en un vaso transparente se puede percibir una luz viva aun en medio del dia. Comprimiendo los cuerpos se disminuyen los intervalos que dejan entre si los átomos, y entonces se supone que el calórico de estos cuerpos adquiriendo mas elasticidad, que la de los cuerpos que le rodean se escapa produciendo una elevacion de temperatura mas ó menos considerable.

De la frotacion y del choque.

Nadie ignora que cuando se frotan dos cuerpos uno contra otro hay produccion de calor: asi frotando dos pedazos de madera seca se consigue inflamarlos despues de algunos minutos. De esta manera se proporcionan fuego algunas poblaciones salvages. En el eslabon ordinario las partículas de hier.

ro desprendidas por el choque repentino del acero con una piedra dura, son las que se inflaman, y cayendo sobre un cuerpo combustible como la yesca producen la combustion.

De la electricidad.

Cuando hablemos de los efectos mecánicos de la electricidad veremos que la reunion de dos fluidos puede enrojecer los metales, fundirlos, é inflamar los líquidos combustibles.

Del frio producido por la fusion de los cuerpos.

Sabemos que cuando un cuerpo sólido pasa al estado líquido absorve una cantidad muy considerable de calórico; esta absorcion de calórico se manifiesta en la mezcla de algunos cuerpos.

De las mezclas frigoríficas.

Cuando se mezcla una parte de sal comun y otra de nieve ó yelo bien triturado la mezcla se liquida, y su temperatura llega bajo cero. Un termómetro puesto en la mezcla señala 18° . Este efecto es debido á la afinidad reciproca de la sal y el agua, y á la propiedad que tienen los cuerpos de absorber calórico para pasar del estado sólido al de líquido.

Cuando se quiere congelar el mercurio se usa de una mezcla cuya temperatura sea mucho mas baja que el punto de congelacion de este metal. Se toman tres partes de cloruro de calcio cristalizado, y se mezclan con dos de nieve: el descenso de la temperatura es muy considerable, y alguna vez llega á 55° pero es necesario enfriar antes el cloruro de calcio y la nieve cubriendolas de una mezcla de sal comun y nieve á -18 grados. Se concibe facilmente que el termómetro de mercurio no es á proposito para valuar á una temperatura semejante las can-

tidades de calorico ; pero entonces se usa del termómetro de alcohol que no se congela sino á temperaturas mas bajas.

Calor animal.

Entre los numerosos fenómenos que presenta la economía animal á las especulaciones del fisico , ninguno es mas digno de ocupar su genio que el calor animal. Es muy curioso en efecto ver que en cuanto al calor los cuerpos brutos están sujetos á otras leyes que los cuerpos animados; los unos siguen la temperatura de la atmosfera y se equilibran con ella , mientras los otros conservan el mismo grado aunque esté la atmósfera mas caliente ó mas fria.

Un gran numero de sabios tales como Galeno, Boerhaave, Haller, John Hunter, Bichat, Lavoisier, Crawford, el ilustre de Laplace cuya reciente perdida deploran las ciencias asi como los Señores Thillaye, Brodier, Chaussat de la Rive, el célebre Dulong y Despretz todos han trabajado mas ó menos en investigar la causa de este admirable fenómeno.

Para llegar á la solucion de la cuestion era preciso determinar 1.^o cuales el calor desprendido mientras la formacion del acido carbónico y 2.^o cual es el calor emitido por un animal durante el tiempo en que forma la misma cantidad de acido carbonico. Vamos á extraer de la obra de Mr. Des

pretz los resultados que ya conocemos, y á los cuales ha contribuido mucho.

"Hemos debido primero, dice este fisico, dirigir nuestra atencion sobre la preparacion del carbono puro; por que la presencia de algunas bases en el carbon ordinario hubieran podido alterar los resultados de las esperiencias. Nos hemos procurado carbono puro por la descomposicion del azucar blanco de primera calidad; este azucar era de una blancura perfecta y de hermosa cristalización. Calentado no dejaba el mas mínimo residuo por el contacto del aire. Primero se descompuso en un hornillo ordinario de laboratorio á una temperatura roja, y en seguida calentada en un hornillo de fundir avivado por un fuerte fuelle. La calcinación en este último hornillo duró una hora, y daba un calor considerable por que el cobre y el acero se fundia en él con una gran facilidad."

"El carbon obtenido de esta manera era brillante, duro, y de una combustion muy difícil, porque puesto en medio de carbones encendidos se enrojecia sin levantar la mas pequeña llama, y apenas se retiraba del hornillo se apagaba completamente; una corriente de aire lo apagaba del mismo modo; su combustion no podia sostenerse mas que por oxygeno puro, y si el contacto de este último en su estado de pureza se suspendia un cuarto de minuto se ponía negro inmediatamente: este último caracter unido á la propiedad de no levantar llama distingue muy bien el carbono puro. Lo mismo que el diamante perdía su brillo, y quedaba empañado al principio de la combustion. Estamos seguros que 5 adarmes de este carbon no dan hydrógeno apreciable, aun despues de su transformacion en agua por 10 veces su peso de oxygeno. Las esperiencias de Mr. H. Davy prueban por otra parte que el carbon fuertemente calcinado no contiene $\frac{1}{10000}$ de hydrogeno."

"La experiencia media de cuatro hechas ha dado 7914,° 7 por cantidad de calor desprendida en la

transformacion de una parte de carbono en acido carbónico, ó en otros términos la combustion de una parte de carbono desprende una cantidad de calor capaz de fundir 113,05 libras de nieve."

"La combustion del gas hydrogeno ha dado una cantidad de calor capaz de fundir 683,88 libras de nieve."

"Natural es buscar la fuente del calor animal en la respiracion, por que la observacion enseña que la temperatura de un animal es tanto mas elevada cuanto mas activa es su respiracion."

"En todo tiempo se ha reconocido que el aire es de absoluta necesidad para sostener la vida de los animales, y que ningun animal puede respirar una misma cantidad de aire sino por poco tiempo: los trabajos de Mayow, de Black, de Scheele, de Lavoissier y de Seguin, son bien conocidos para referirlos aquí."

"Todos los fisicos conocen que una porcion del oxígeno del aire se emplea en formar el acido carbonoso. Pocos han pensado que el volumen de acido carbónico, mas el oxígeno restante represente todo el oxígeno del aire despues de la respiracion (Dalton, Meusse, Thomson)."

"En general se admite que hay desaparicion de una porcion de oxígeno; Mr. Davy lleva la disminucion á $\frac{1}{32}$; los Señores Hallen y Pepys á $\frac{1}{120}$; Bostoch á $\frac{1}{50}$; Crawford y Lavoisier han reconocido la desaparicion de una porcion de oxígeno. Algunas experiencias de Mr. Gay-Lussac sobre los pájaros, y las numerosas investigaciones de los señores Humbold y Provençal sobre la respiracion de los pescados, dan igualmente una absorcion manifiesta de oxígeno, y es probable que la desaparicion de cierta cantidad de oxígeno en el contacto del aire y de la sangre, es una condicion tan necesaria á la vida de todos los seres que respiran, como la de la formacion del acido carbónico. A la verdad segun Spallanzani y Schéele el acido carbónico formado en la respiracion

de los insectos unido al oxígeno restante representaría todo el oxígeno del aire, pero nos inclinamos á creer que este resultado no es conforme con la verdad."

"Esta desaparicion es bastante considerable para poderla manifestar poniendo un animal en una campana y adaptandole un tubo que se sumerge en agua; apenas se ha encerrado el animal, cuando se ve subir el agua por el tubo; lo cual indica en el aire disminucion de volumen. La disminucion sería mucho mayor si la exhalacion del azoe no reemplazara en parte el oxígeno perdido y alguna vez en su totalidad."

"Las opiniones están divididas sobre el papel que hace el azoe en la respiracion; segun unos (Mr. Davy y el Dr. Henderson) el gaz azoe es absorbido en la respiracion del hombre y de los mammíferos; y segun los Señores Berthollet y Nysten hay desprendimiento. Mr. Edwards en fin despues de un detenido ecsamen de los trabajos anteriores ha creído deber admitir que hay simultáneamente absorcion y exhalacion. Creemos que esta última opinion es absolutamente infundada por que en mas de doscientas esperiencias, que hemos hecho, siempre hubo exhalacion de azoe; estamos pues de acuerdo sobre este punto con Mr. Dulong."

"Las esperiencias de Mr. Magendie sobre la nutricion parecen igualmente favorables á la exhalacion del azoe; se sabe que resulta de estas esperiencias, que la vida de los animales no pueden sostenerse mucho tiempo por la nutricion formada de azucar, goma, aceite, y agua destilada."

"Los animales sujetos á este regimen mueren al poco tiempo; su orina segun Mr. Chevreul contiene muy poco acido úrico, su bilis está muy cargada de píromel, principio en el cual Mr. Thenard no ha hallado azoe."

"Es muy notable que los elementos del aire atmosférico, en medio de tantas causas de alteracion, conservan siempre la misma relacion. La combustion de la madera, la oscilacion de los metales y otras

causas tienden á disminuir el oxygeno; del mismo modo la respiracion hace desaparecer una cierta cantidad de este gaz y aumenta ademas la del azoe. Es pues necesario que la nitrificacion por la cual se absorve azoe, que los trabajos de las minas, y otros manantiales naturales de acido carbónico equilibren aquellas primeras causas."

"Despues de estas consideraciones generales pasemos á comparar el calor animal con el que se escala en la respiracion."

"No se encuentra en esta observacion la misma uniformidad, esactitud y constancia que en las investigaciones sobre la materia inorgánica. Aqui la afinidad de los elementos está bajo la influencia de la potencia vital, que puede modificarse por la edad, el temperamento, el estado de salud, la naturaleza de los alimentos, y otras circunstancias diversas"

"El animal sometido á esta esperiencia está colocado en una caja de cobre bastante grande para que no esté incomodo: esta caja tiene un reborde en el cual encaja la cubierta, el intervalo entre la caja y esta cubierta está lleno de mercurio; la pequeña caja que encierra el animal está fija en otra de cobre. Se conoce esatamente el peso de todo el cobre empleado, y el del agua pura que rodea la caja en que está el animal. Todo este aparato se coloca sobre apoyos de madera muy seca: el animal está por otra parte separado del cobre por medio de varitas de mimbre a fin de que no le ceda su propio calor. El aire es suministrado por un gazometro esactamente graduado: este aire pasa desde luego á la caja por tiempo suficiente para que se halle, en el momento en que se toma la temperatura del agua, en el mismo estado que al fin de la esperiencia. La temperatura del agua se conoce con una esacta precision. Durante todo el tiempo del esperimento, que es por lo regular de dos horas, el aire llega al animal con una velocidad constante. El gaz que se ha respirado contiene ordinariamente un seis por ciento de acido carbónico: se determina su cantidad tratando el aire por medio

de la potasa : este fluido despojado de su ácido carbónico se analiza en seguida por el gaz hidrógeno. A fin de conocer con exactitud las alteraciones del aire por la respiración de los animales, hemos analizado muchas veces el aire atmosférico que debía respirar, y el resultado ha sido siempre de 21 de oxígeno y 79 de azoe”

”El volumen de aire suministrado al animal durante cada experiencia es de 45 á 50 cuartillos.

”Segun un gran numero de experimentos hechos por M. Depretz en los conejos , en los puercos adultos de la India, en los perros y gatos adultos y juvenes, en los pichones adultos, pollos, gallos, y gallinas &c &c. resulta:

”1. ° Que la respiracion es la causa principal del desarrollo del calor animal ; que la nutricion, el movimiento de la sangre, y la frotacion de las diferentes partes, pueden producir la pequeña porcion restante”

”2. ° Que ademas del oxígeno empleado en la formacion del ácido carbónico, otra porcion de gaz, muy considerable alguna vez con relacion á la primera, desaparece tambien : se cree generalmente que esta porcion es empleada en la combustion del hidrógeno de la sangre, y que desaparece en general mas oxígeno en la respiracion de los animales jóvenes que en la de los adultos”

”3. ° Que hay ecsalacion de azoe en la respiracion de los mamíferos carnívoros, ó frugíferos, y en la de los pájaros, y que la cantidad de azoe ecsalada por los frugíferos es mayor que la de los carnívoros”

”Resulta tambien de las experiencias del mismo fisico, que en el desarrollo del calor animal la respiracion produce en los carnívoros una porcion menor del calor animal total que en los frugíferos, y que lo mismo sucede á los pájaros comparados á los mamíferos”

Concluiremos dando una tabla de la temperatura media de algunos mamíferos, pajaros y pescados, siendo la temperatura del aire á 15, ° 15; y la del agua á 10, ° 83”

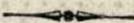
Temperatura media.

Nueve hombres de 30 años de edad.....	37 ^o ,14
Cuatro hombres de 66 años.....	37,13
Cuatro jóvenes de 18 años.....	36,99
Tres niños de 1 á 2 dias.....	35,06
Un perro de 3 meses.....	39,48
Un gato adulto.....	39,79
Un puerco de la India adulto.....	35,76
Cuatro Buhos que vuelen bien.....	40,91
Un Mochuelo adulto.....	41,47
Un Alcon adulto.....	41,47
Dos Cuervos adultos.....	42,91
Tres Pichones.....	42,98
Tres Gorriones domésticos bien cubiertos de plumas.....	39,08
Un Gorrion acabado de criar.....	41,67
Un Gorrion adulto.....	41,96
Un Verderol adulto (pájaro).....	42,88
Dos Cornejas empezando á comer solas...	43,17
Dos Carpas (pescados).....	11,69
Dos Tencas (idem.).....	11,45

CAPITULO XI.

De la Electricidad.

HISTORIA.



Teofrasto refiere (1) que si despues de haber frotado un pedazo de ambar se le presentan cuerpos ligeros tales como el papel, la paja, madera &c. reducidos á pequeños fragmentos, estos cuerpos ligeros se precipitan sobre el ambar; por lo que Thales de Milesio, que vivia 600 años antes de J.C, y que fué el primero que observó este hecho, creyó que el ambar estaba animado.

Este fenómeno permaneció olvidado por muchos siglos; pero Gilberto de Colchester, médico de Londres, deseoso de repetir el hecho observado por Thales trato de ver si estos cuerpos en iguales circunstancias adquiririan la misma propiedad. Despues de un gran numero de ensayos reconoció que el ambar no era el solo cuerpo capaz de adquirir por la frotacion la virtud atractiva; y que un gran numero de otros, como las piedras preciosas, el cristal, el azufre, la goma laca, las resinas &c. adquiririan tambien esta propiedad por la frotacion.

Esta atraccion se egerce á cierta distancia al tra-

(1) Véase su obra sobre las piedras preciosas. Seccion 55.

ves del aire y los demas cuerpos. Boyle observó que se verifica en el vacio.

Esta propiedad, cuya naturaleza nos es desconocida, pero que se manifiesta en los cuerpos que se han frotado, se conoce con el nombre de *electricidad* derivada de una voz griega que significa ambar amarillo, porque se observó la primera vez en esta sustancia.

§ I.

De las atracciones y repulsiones.

Si se toma un tubo de cristal y despues de haberlo frotado se le presentan cuerpos ligeros como pedazos de papel, serrin de madera &c. se ven precipitarse sobre el tubo estos pequeños cuerpos, ser rechazados despues, y recorrer este trayecto durante mucho tiempo. El mismo fenomeno se verifica con la resina, el azufre &c. Esta observacion de la accion repulsiva de la electricidad se ha practicado por Otto de Guericke inventor de la maquina neumática.

De los cuerpos conductores y no conductores de la electricidad.

Era sabido ya que todos los cuerpos no eran propios para adquirir la virtud eléctrica, y que los metales eran los únicos en que no podia obtenerse alguna, cuando un fisico ingles, Esteban Gray, demostró que si los metales no daban signo alguno de electricidad no era por que no pudiese desarrollarse en ellos la propiedad atractiva, sino solamente por que la perdian en el mismo momento de producirla. Gray hizo ver que todos los cuerpos despues de haber adquirido esta propiedad la comunicaban á los demas, pero con mucha desigualdad; unos no la admitian sino en los puntos puestos en contacto, otros en toda su estension, de donde partió Gray para establecer dos gran

des divisiones, primera *cuerpos no conductores*, esto es, cuerpos en que la electricidad permanece en el punto mismo en que ha sido desarrollada, y segunda *cuerpos conductores*, esto es, aquellos que tienen la facultad de transmitir la electricidad en toda su estension sea qualquiera el punto de su superficie en que se haya desarrollado.

Los *cuerpos no conductores* son por lo general la goma laca, el lacre, las resinas, el azufre, el cristal, la seda, las pieles, la madera seca, los gases secos el aire &c. Los *conductores* son los metales, los líquidos, que excepto los aceites son buenos conductores, las sustancias animales, el carbon calcinado &c.

Se dice que un cuerpo está *aislado* cuando está sostenido por un cuerpo *no conductor*.

Electricidad de diferente naturaleza.

Hemos visto que un cuerpo electrizado atraia los cuerpos ligeros que se le presentaban, y que los rechazaba en seguida; estudiemos ahora con un poco de cuidado estos fenomenos y para esto empleemos un aparato comodo para experiencias de este genero. Este aparato se compone de una pequeña bola de sauco fija en la estremidad de un hilo de seda unido á una varita de cristal que le sirve de sosten [fig 142] Este aparato se llama *pendulo electrico aislado*. Tome-se una barra de lacre, frotésele y presentese en seguida al pendulo; este se precipitará hacia el cuerpo frotado, y será rechazado por él como sabemos; pero mientras está en este estado, si se le presenta un tubo de cristal electrizado se observa que es atraido nuevamente por el cristal, y que si se le presenta la resina la repele. Cuando por el contrario se electriza el pendulo poniendolo en contacto con el cristal es rechazado, y si se le aprocsima una barra de resina electrizada es atraido.

De este solo hecho se ha deducido que la electricidad del cristal no es la misma que la de la de la resina, y que hay por lo tanto dos especies de electricidad

una que se manifiesta en el cristal, y se llama *electricidad vitrea ó positiva*, y otra en la resina que se llama *electricidad resinosa ó negativa*.

El descubrimiento de estas dos clases de electricidad se hizo en 1734 por un físico francés llamado Dufay.

Puesto que no es una misma la electricidad del cristal y la de la resina, y que todos los cuerpos pueden adquirir una ú otra de estas dos electricidades, y siendo igualmente que una ú otra se repele á sí misma, que la vitrea atrae la resinosa y reciprocamente, enunciaremos este hecho de una manera sencilla diciendo.

La electricidad del mismo nombre se repele á sí misma y atrae la del nombre contrario.

Las sustancias que ordinariamente se emplean para desarrollar la electricidad son las pieles, la lana, y la seda. Se observa que estos cuerpos se cargan constantemente de la electricidad de nombre contrario á la que toma el cuerpo frotado; así por ejemplo la resina frotada con la lana toma la electricidad resinosa mientras que la lana toma la del nombre contrario ó la vitrea; el azufre frotado con una piel de gato se electriza resinosamente, electrizándose por el contrario vitreamente la piel.

Estado natural de los cuerpos.

Habiendo observado que el cuerpo frotante y el cuerpo frotado manifiestan siempre las dos electricidades, uno la vitrea y otro la resinosa se ha deducido que estas dos electricidades existen naturalmente en los cuerpos, y que así el *estado natural de un cuerpo* es aquel en que están combinadas las dos electricidades, y como entonces el cuerpo no tiene la propiedad atractiva se dice que estas dos electricidades se neutralizan; pero si se les quiere dar la virtud eléctrica basta frotarlos, y en el mismo instante pueden producir los fenomenos que acabamos de señalar.

Puede confirmarse lo que acabamos de decir practicando un experimento muy concluyente. Consiste en

tomar dos discos uno de vidrio y otro de metal, por ejemplo de cobre (*fig. 142*) y frotarlos uno con otro. Cada uno de estos discos tiene un tubo de cristal que permite sostenerlos fácilmente al mismo tiempo que les sirve de aislador, y mientras no estén separados pongáselos en presencia de un péndulo eléctrico que no esté aislado, y no manifestarán signo ninguno de la electricidad; pero quítese uno de ellos y al instante el péndulo será atraído, y lo será sin cesar si se le presenta cada disco separadamente.

Si se hubiera usado un péndulo aislado se conocería fácilmente, que el cristal estaba electrizado vítreamente y el cobre resinosamente.

La frotación no es el solo medio que se emplea para separar las dos electricidades; pero es el unico conocido desde el origen de este ramo de la física, y es tambien el unico por cuyo medio se separan los dos fluidos para hacer la mayor parte de los experimentos de que mas adelante hablaremos.

Los medios conocidos para separar las dos electricidades ademas de la frotación son:

1. ° El calor.
2. ° La presión.
3. ° El contacto.
4. ° Las combinaciones químicas.

Pero para hacer sensible la electricidad desarrollada por estos diferentes medios es necesario servirse tambien de aparatos que podremos dar mas adelante á conocer; lo cual nos obliga á retardar el estudio de estos fenómenos, que no podemos estudiar sino despues de haber descrito los instrumentos que hacen sensibles las mas pequeñas cantidades de este fluido.

§ II.

LEY QUE SIGUEN LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES ELECTRICAS.

La ley que siguen las atracciones y repulsiones elec-

tricas en diversas distancias fué descubierta por el físico francés Coulomb.

El instrumento por medio del cual pudo determinar esta ley se funda en la propiedad que tienen los hilos de metal de volver á su posición primitiva cuando se les tuerce un cierto número de grados, haciendo un esfuerzo esactamente proporcional al ángulo de torsion.

Este instrumento se compone de un cilindro de cristal ABCD (1) (*fig.* 144) de 13,76 pulgadas de diámetro y de igual altura cubierto por un disco E de cristal de 15 pulgadas de diámetro atravesado en su parte media por un agujero circular de una pulgada de radio, sobre el cual se eleva un cilindro de cristal de 28 pulgadas de altura; la parte superior de este cilindro tiene un micrometro. Se fija en la parte móvil del micrómetro un alambre muy delgado, por ejemplo, de plata, y se sujeta de tal modo que no pueda variar de posición a medida que se den vueltas al micrómetro superior.

En la estremidad inferior del alambre se fija por medio de unas pinzas *q* una aguja muy ligera de goma laca, que tenga en su estremidad afilada una pequeña bola *b* de sauco. Coulomb adaptaba en la otra estremidad de la aguja un disco *c* de papel empapado en trementina, y cuyo objeto es aumentar las oscilaciones.

Es necesario que el peso de las pinzas *q*, mas el de la aguja, que deberá ser el menor posible, estiren el alambre sin romperlo.

Marcando cero el micrómetro superior se colocará de modo que la estremidad *b* de la aguja corresponda al cero trazado en la division *mn* que está en medio del cilindro ABCD (2) y esto se obtiene muy fa-

(1) Las balanzas eléctricas son por lo regular cuadradas, esto depende de que es más facil encontrar láminas grandes de cristal que anchos cilindros; pero la forma en nada altera los resultados.

(2) Para hacer esta division se describe un círculo que

cilmente haciendo mover el platillo E.

El disco E de cristal está atravesado por otros dos agujeros. *t'* En el agujero *t* se introduce un tubo de cristal cubierto de goma laca y en cuya estremidad inferior hay una bola de sauco *b'*; este tubo se baja hasta que la bola *b'* esté frente del cero de la division *mn* y toque por consiguiente la bola *b* de la aguja.

Dispuesto así el aparato, Coulomb electrizó las bolas *b* y *b'* por medio de una pequeña bola metálica fija en una de las estremidades de una barra de lacre, que introdujo por el agujero *t'* del disco E. Entonces hubo repulsion y la bola de sauco *b*, fué rechazada á 36.° de la bola *b'*

Coulomb colocó el micrometro superior 126 grados en sentido contrario á la fuerza que mantenía la bola *b* á 36.° de la *b'*. La bola *b* se aproximó á la *b'* y se detuvo á los 18 grados. Coulomb volvió otra segunda vez el micrómetro siempre en el mismo sentido hasta 567 grados. La torsion del alambre en su parte superior era igual al mismo numero de grados y hubiera sido la misma en toda la longitud del alambre, si la repulsion electrica no hubiese equilibrado la fuerza de torsion. La bola *b* continuó aproximandose al cero de la division *mn* y se mantuvo á 8° y medio.

En el primer experimento se vé que el alambre se torció 36 grados por la repulsion de la electricidad de las bolas *bb'*, pero el angulo formado por esta repulsion disminuye á medida que se vuelve el micrometro en sentido opuesto á la fuerza repulsiva, y así es que equilibrando esta fuerza la torsion del alambre es igual á $126+18=144$. De donde se vé que para sostener la bola *b* á la mitad de la distancia primitiva es menester oponerle una fuerza cuatro veces mayor. Finalmente en el ultimo experimento estando las bolas á 18 grados de distancia se vió

tenga por rádio el semi-diametro del cilindro ABCD: se le divide en 360 partes ó grados; despues se señalan estos sobre una tira de papel que se pega en el cilindro interior ó exteriormente.

obligado Coulomb á volver el micrómetro á los 567° para volver la bola b á 8 grados y medio de la bola fija b' . Se vé ademas que para mantener la bola b' á esta nueva distancia es necesario oponerle una fuerza cuatro veces mayor que la que la mantiene á 18 grados ; de donde se deduce que la ley de las repulsiones electricas obra en razon inversa del cuadrado de las distancias.

Coulomb se ha asegurado por medio de esperiencias analogas á las que acabamos de referir que las atracciones electricas siguen la misma ley.

La accion repulsiva de las dos bolas no se mide por el angulo que entre si forman, sino por la cuerda del arco que une sus dos centros.

La perdida de electricidad el dia en que practicó Coulomb sus esperiencias fué de un grado en tres minutos estando las bolas á distancia de 30° una de otra, pero como no emuló mas que dos minutos para hacer sus esperimentos pudo despreciar esta perdida sin error sensible.

De la perdida de electricidad causada por el aire y los sostenes.

Despues de haber demostrado por esperenciala ley que siguen las atracciones y repulsiones electricas es necesario dar á conocer el origen de los errores que se encuentran, cuando se quiere obtener una gran esactitud en el cumplimiento de esta ley: por que la esperiencia nos enseña, que cuando un cuerpo conductor electrizado está mantenido por sostenes aislados, la electricidad de este cuerpo disminuye sensiblemente de manera que despues de un tiempo mas ó menos largo no dá este cuerpo ya señal alguna de electricidad. Asi para hacer comparables las esperiencias, es necesario evitar esta perdida ó conocer al menos en virtud de que leyes se verifica esta disminucion á fin de tenerla presente en los resultados.

De la perdida de la electricidad por el aire.

Dos causas principales facilitan la perdida de la electricidad; una es el contacto del aire; otra la falta de cuerpos perfectamente no conductores. Hemos dicho en la pagina 268 que el aire es un mal conductor de la electricidad; y ciertamente lo es pero tan solo cuando está seco, esto es, cuando no contiene vapor acuoso; si está un poco humedo se hace conductor y tanto mejor cuanto mas humedo sea. De aquí es que como todos los cuerpos electrizados estan siempre sumergidos en el aire, y este fluido toca todos los puntos de su superficie; cada molécula de aire que está en contacto con un cuerpo electrizado le roba una cantidad de electricidad, que depende de su tamaño y de su facultad conductora, y en seguida es rechazada y remplazada prontamente por otra melécula, que por su contacto se electriza como la primera, y es del mismo modo desalojada y remplazada por otra tercera. Lo mismo sucede á todas las moléculas que rodean al cuerpo de donde se vé que por estos contactos renovados muchas veces se debilita la electricidad del cuerpo tanto mas cuanto mejor conductor sea el aire.

La segunda causa de la perdida de la electricidad proviene como hemos dicho del imperfecto aislamiento de los cuerpos que llamamos *no conductores*. Asi el cristal, el lacre, la goma laca, que son los cuerpos que mas aíslan dejan escapar considerable electricidad. Para convencerse de esto basta formar cilindros con estas diferentes sustancias, y ponerlos en contacto con una corriente constante de electricidad; por que si despues de haberlos dejado algunos momentos se quita la comunicacion y se presenta en seguida la estremidad que tocaba la corriente á un péndulo electrico se vé que está cargada de la electricidad de esta corriente no solo en la parte que estaba en contacto; ademas si se corta la estremidad de este mismo cilindro que tocaba la corriente se observa que la electricidad se ha pro-

pagado tambien en su superficie con una intensidad de crecente.

Esta causa de perdida de electricidad es tambien favorecida por los vapores que se encuentran en el aire. Los vapores en efecto se fijan en la superficie de los cuerpos conductores y se adhieren tanto mas cuanto mas abundantes son, y quanto mas afinidad tengan tambien con ellos. Por esto se vé que los aislatorios son una especie de canal por donde se escapa la electricidad de los cuerpos electrizados. Es facil concebir que las moléculas de vapor que se adhieren á cada aislatorio, y que estan al mismo tiempo en contacto con el cuerpo electrizado se cargan de electricidad; entonces si la fuerza repulsiva que este cuerpo egerce contra las moléculas es menor que la afinidad de la materia del apoyo para estas mismas moléculas, transmitirán su electricidad á las moléculas inmediatas, estas á las siguientes y asi sucesivamente, de manera que la electricidad pasará á lo largo del aislatorio de una molécula á otra, y concluirá perdiendose si el aislatorio no tiene la suficiente longitud.

De aquí se deduce, que para estudiar en virtud de que ley se disipa la electricidad por el solo contacto del aire, basta impedir la perdida que se verifica por los aislatorios ó hacerla menor que la que se efectua por el contacto del aire durante el tiempo en que se opera, y esto es lo que Coulomb llegó á conseguir.

Las sustancias que este fisico usaba para aislar los cuerpos que electrizaba eran el lacre y la goma lacca pura. Formaba pequeños cilindros de media linea de diámetro y de 18 ó 20 de longitud. Estos pequeños cilindros aislaban perfectamente una bola de sauco de 5 á 6 lineas de diámetro. Cuando el aire era seco un hilo de seda muy delgado pasado por el lacre hirviendo, y que no tuviese mas que $\frac{1}{4}$ de linea de diámetro y 5 ó 6 de longitud bastaba para aislarlo. Un hilo de cristal muy delgado de 5 á 6 lineas de longitud no aislaba la bola sino en los dias mas secos, y cuando esta bola estaba poco cargada de electricidad. La seda y los cabellos no impregnados de lacre produ-

cian sobre poco mas ó menos el mismo efecto.

Despues de estos varios esperimentos Coulomb unió la bola fija de su balanza á la estremidad de un hilo de goma laca de 18 á 20 lineas de largo, y para hacer mas perfecto el aislamiento terminó la suspension con un hilo de seda cubierto de cera. La bola móvil era de la misma dimension, y estaba fija en una de las estremidades de una aguja de goma laca suspendida horizontalmente en la estremidad inferior de un hilo de plata. Este aparato era de tal modo sensible que una fuerza correspondiente al peso de $\frac{1}{30}$ de grano bastaba para torcer el hilo de 360 grados.

Estando las dos bolas en el cero de la division, y siendo nula la torsion se electrizan las primeras por medio de un alfiler de cabeza grande fijo en uno de los extremos de una barra de lacre.

La bola movil es rechazada, y se detiene á los 40° por egemplo: se tuerce el hilo por medio del micrometro de modo que traiga la bola móvil á los 20° y para esto es necesario torcerlo 140° : entonces la fuerza de torsion que forma equilibrio con la repulsion de las dos bolas es de $140^\circ + 20^\circ = 160^\circ$

Se observa el preciso instante en que la bola móvil corresponde á 20 grados, y será de dos horas y 10 minutos por egemplo.

Como la electricidad se pierde la fuerza que mantiene las bolas á 20 grados una de otra disminuye gradualmente, asi para observarlos siempre á esta distancia es necesario destorcer el hilo. Supongamos que sea menester destorcerlo 30° , como la torsion del hilo ha disminuido estos 30° la bola móvil es rechazada y vá mas allá de 20 grados. Se observa segunda vez el instante preciso en que la bola móvil llega á 20 grados: supongamos que sea en dos horas y 13 minutos.

En la primera esperiencia la fuerza repulsiva se mide por la torsion del hilo que es igual á $140^\circ + 20^\circ = 160^\circ$: y 3 minutos despues á la misma distancia, esta misma fuerza no se mide sino por $110^\circ + 20^\circ = 130^\circ$. De donde se deduce que la perdida por el

contacto del aire ha sido de 30° durante 3 minutos; y como en intervalos muy cortos la perdida es proporcional al tiempo resulta que esta perdida ha sido de 10 grados por minutos.

Tomando lo fuerza repulsiva media entre los dos ensayos que es igual á 145° se ve que en aquel dia la fuerza electrica de las dos bolas disminuia $\frac{10}{145}$ ó 14,5 por minuto.

Coulomb se ha persuadido que en un mismo dia no variando el estado hygrométrico del aire la relacion de la cantidad de electricidad perdida por el contacto del aire, con la cantidad total es una cantidad constante, y que esta relacion no varia sino con el hygrometro. De donde resulta que en un mismo estado del aire la perdida de electricidad es *proporcional á su intensidad.*

De la perdida por los aislatorios.

Restanos conocer en virtud de que ley se disipa la electricidad á lo largo de los sostenes aislatorios.

Sobre este objeto ha hecho Coulomb un sin numero de esperimentos en los que empleaba su balanza electrica tal como la hemos descrito, solo que en vez de suspender la bola fija de un cilindro de goma laca, la colocaba en la estremidad de un hilo de seda cruda de 15 pulgadas de largo. La bola móvil estaba muy bien aislada y tenia la misma dimension que la bola fija. Coulomb electrizó las dos bolas y observó su fuerza repulsiva del mismo modo que en los anteriores esperimentos: calculó en seguida la cantidad de electricidad perdida á lo largo del hilo, cuidando de la pérdida ocasionada por el aire, y encontró que la intensidad electrica disminuye mas pronto y en mayor cantidad á lo largo del hilo de seda, que por el solo contacto del aire; pero que esta disminucion es mas lenta y llega en fin un termino en que la electricidad perdida á lo largo del hilo es del todo nula: el hilo aísla entonces perfectamente: pero este termino no llega sino cuando la intensidad electrica de la bola se ha debilitado suficientemente.

Coulomb halló tambien que los sostenes pueden aislar muy bien cuando la intensidad electrica está reducida á cierto grado; pero este grado varia segun la naturaleza del sosten , y la esperiencia le ha enseñado que el grado de intensidad electrica en que un hilo de seda, un cabello ú otro cualquier sosten (con tal que sea cilindrico y muy delgado) comienza su perfecto aislamiento , suponiendo el mismo el estado del aire, es *proporcional á la raiz cuadrada de su longitud*, es decir, que si un apoyo aísla una cierta cantidad de electricidad no podrá aíslar una cantidad doble de la primera sino dándole una longitud cuatro veces mayor.

§ IV.

DISTRIBUCION DE LA ELECTICIDAD EN LA SUPERFICIE DE LOS CUERPOS CONDUCTORES AISLADOS.

Vamos ahora á investigar de que manera se reparte la electricidad en los cuerpos metálicos aislados.

En virtud de la repulsion que un fluido egerce sobre sí mismo es facil concebir que la electricidad no puede permanecer en el centro de una esfera metálica, por que cada particula de este mismo fluido se repele continuamente en tanto que la materia de que está formada la esfera no tenga ninguna accion quimica sobre el fluido electrico. Asi la electricidad se distribuirá por toda la superficie de la esfera, y como esta accion repulsiva se egerce indefinidamente, es claro que, si el aire que rodea al cuerpo está saturado de vapor acuoso, la electricidad se repartirá en este medio, y el cuerpo dejará de estar electrizado. Por esta razon si se hacen esperiencias que no ecsijan mas que una debil electricidad, es necesario cuidar de secar perfectamente el aire que rodea.

Para convencerse de que la electricidad comunicada á un cuerpo conductor se estiende enteramente en su superficie , donde es mantenida por el aire, se

puede tomar una esfera metálica aislada, y hacerle un agujero de forma conica, cuyo vertice esté hacia el centro de la esfera (*fig. 145*) y en seguida se electriza el aparato por medio de una bola metálica aislada, que se sumerge en la cavidad de la esfera.

Tómese despues otra bola pequeña semejante á la primera pero en estado natural, llevesele al centro de la esfera, y retirandola se presenta al péndulo eléctrico; prontamente se verá que no manifiesta ningun signo de electricidad; si en seguida se toca al exterior de la esfera y se presenta al péndulo será este vivamente atraído.

Distribucion de la electricidad en los cuerpos de distintas formas.

Si el cuerpo que se observa es una esfera es evidente, como acabamos de decir, que en virtud de la ley de repulsion electrica la electricidad se extenderá uniformemente por la superficie del cuerpo, y formará en él una capa muy delgada limitada por la superficie misma del cuerpo.

En un elipsoide de revolucion la distribucion del fluido eléctrico no es ya uniforme, y la tension es mas fuerte en las estremidades del eje mayor que en ninguna otra parte.

Division del fluido eléctrico entre los cuerpos que estan en contacto.

La division del fluido eléctrico entre muchos cuerpos en contacto no depende de la naturaleza de estos cuerpos sino de su forma solamente. Coulomb ha hecho con este objeto un gran numero de esperiencias de las cuales resulta: que entre dos esferas del mismo diámetro el fluido eléctrico se divide igualmente cualquiera que sea su naturaleza: que entre las esferas de diferentes diámetros las cantidades de electricidad varian en una relacion diferente y mas pequeña. Suponiendo que las superficies de las esferas estén en la relacion de 1 á 15, las cantidades del fluido eléctrico será como 1 á 11

Distribucion del fluido electrico en la superficie de los cuerpos en contacto.

Coulomb ha hallado que cuando dos esferas iguales se tocan la electricidad se repele por una y otra parte del punto de contacto de manera que en este punto es nula la tension, y que, cuando los globos son muy desiguales, la tension eléctrica varia mas en el pequeño desde el punto de contacto hasta 180° , mientras que en el globo mayor es mas uniforme.

Coulomb ha demostrado que la distribucion del fluido electrico en una serie de pequeños globos iguales se hace de la manera siguiente: las tensiones electricas de los globos de cada estremidad son esactamente las mismas, esta tension vá en disminucion muy rápida del 1° al 2° ; del 2° al 3° globo; despues esta misma disminucion es mas lenta hasta la mitad del sistema donde la tension es nula.

El mismo fisico ha buscado aun cómo se divide el fluido electrico entre una esfera de 8 pulgadas de diametro y cilindros de diferentes diámetros pero de la misma longitud, y ha hallado lo siguiente.

La intensidad electrica del globo estando á. 1,00,

La intensidad electrica de un cilindro de 2 pulgadas de diámetro y 30 de longitud es. 1,30

La intensidad electrica en un cilindro de una pulgada de diámetro 2,00.

La intensidad electrica en un cilindro de dos lineas de diámetro 9,00.

Se vé segun estos resultados que la intensidad que toma un cilindro en contacto con un globo electrizado es tanto mayor cuanto menor es el diámetro del cilindro. En un cilindro muy delgado la tension electrica puede ser muy considerable para vencer la presion del aire, y descargar asi el cuerpo con el cual está en contacto. Se comprende sencillamente segun esto la facilidad con que los puntos despiden el fluido eléctrico.

M. Poison ha sometido al calculo la distribucion del

fluido electrico en la superficie de los cuerpos, y ha hallado que este fluido debe estenderse en la superficie de los cuerpos para formar en ella una capa excesivamente delgada, terminada al exterior por la superficie del cuerpo y en el interior por otra superficie muy procsima á la primera.

§ V.

DE LAS ELECTRICIDADES COMBINADAS. DE SU SEPARACION A DISTANCIA.

Para efectuar esta separacion se toma un cilindro metalico redondeado en sus estremidades (fig. 146) sostenido por una columna de cristal cubierta de una capa de goma laca para que el aislamiento sea perfecto: en cada una de las estremidades de este cilindro se coloca un pequeño péndulo *aa*. Este aparato se coloca á algunas pulgadas de distancia de un cuerpo A electrizado (fig. 147). Es necesario que esta distancia sea tal que la electricidad del cuerpo A no pueda pasar al cilindro B y entonces se observan los fenómenos siguientes:

Los pendulos colocados en las estremidades del cilindro B se separan de la vertical y manifiestan la presencia de la electricidad:

Si se aprocsima al cilindro B un péndulo electrico aislado se encuentra que es atraído en toda la longitud del cilindro excepto en un punto en que la atraccion es nula, y que varía segun la distancia del cuerpo electrizado A al cilindro B:

Si se aprocsima al cilindro B un péndulo aislado y electrizado se observa que es atraído por una estremidad y repelido por la otra, lo que hace ver que cada estremidad del cilindro está cargada de una electricidad contraria.

Se reconoce si la electricidad que está en la es-

estremidad del cilindro mas procsima del cuerpo electrizado A, es de la misma especie que la de este cuerpo tomando un pendulo aislado, dandole la misma electricidad que al cuerpo A, presentandole en seguida al dicho cuerpo, y sucesivamente á cada estremidad del cilindro, entonces se observa que es rechazado por el cuerpo A, y atraído por la estremidad del cilindro mas procsima de A, y que por el contrario es repelido por la estremidad mas distante.

Si se aleja del cuerpo A el cilindro B, tomando por su aislatorio no dá en el instante señal ninguna de electricidad. El fenómeno se reproducirá aprocsimandolo nuevamente al cuerpo electrizado A, y cesará cuanto se le separe.

Puede uno convencerse que el cuerpo electrizado A no comunica su electricidad al cilindro B tomando un disco de papel dorado, que se fija en una de las estremidades de un hilo de goma laca (*fig. 148*); y he aquí como es necesario practicar esta operacion. Se toca con este disco (que se llama plano de prueba) el cuerpo A, en seguida se coloca en la balanza de Coulomb, se observa su repulsion y se compara esta primera observacion con una segunda, que debe hacerse despues de haber puesto el cilindro B, bajo la influencia del cuerpo electrizado A. Si el esperimento está bien hecho se reconocerá de este modo que ninguna porcion de electricidad del cuerpo A se ha transmitido al cilindro B, y así es que el cuerpo electrizado no ha sufrido pérdida alguna sino la que se verifica por el aire y los sostenes.

Segun lo que precede se vé que el cuerpo A, no transmite su electricidad al cilindro B, y que sin embargo éste manifiesta los dos fluidos. Produciéndose el mismo fenómeno siempre que se coloca un cuerpo conductor no electrizado, cualquiera que sea su forma, cerca de un cuerpo electrizado, se ha deducido que las dos electricidades ecsisten naturalmente en los cuerpos. Pero estos no dan señal alguna de electricidad por que en este estado los dos

fluidos están combinados, es decir, que se neutralizan mutuamente, y forman lo que se llama *fluido neutro ó estado natural*. Así la frotacion que parece producir los dos fluidos no sirve mas que para deshacer su combinacion; una vez separados producen los fenómenos que hemos reconocido, y de otros muchos que veremos mas adelante. Hemos dicho que el cuerpo frotante y el cuerpo frotado se constituian en estados eléctricos opuestos, y ahora vemos que así debe suceder necesariamente.

Todos los cuerpos electrizados atraen los cuerpos lijeros; pero esta atraccion se verifica solo cuando estos pequeños cuerpos son conductores. En efecto el cuerpo electrizado descompone por influencia las electricidades combinadas de los cuerpos pequeños: si esta descomposicion no se verifica ó se hace muy lentamente se concibe que será necesario mas ó menos tiempo para que haya atraccion: si por el contrario la descomposicion se verifica súbitamente la atraccion se manifiesta en el mismo instante.

Por medio de una esperiencia se puede hacer sensible lo que acabamos de decir. Para esto se suspenden por medio de dos hilos de seda dos pequeñas bolas de goma laca de las cuales una está cubierta con una capa metálica de oro; á estas bolas se aprocsima una barra de lacre electrizado, ú otro cualquier cuerpo cargado de electricidad, y se observa que la bola cubierta de oro, es atraída en el mismo instante mientras que se necesita un tiempo bastante considerable para que la bola que no está cubierta se precipite sobre la barra de lacre electrizada. Esto depende de que la descomposicion de los dos fluidos se verifica instantáneamente en la bola dorada, y que emplea un espacio notable de tiempo para manifestarse en la otra.

Para hacerse cargo completamente de la descomposicion por influencia y tener de ella una idea exacta recordemos el primer esperimento y analicemos el fenómeno.

Sea A (*fig. 147*) un cuerpo vítreamente electrizado, B un cilindro metálico en el estado natural aislado, y bajo la influencia de A. He aqui lo que sucede. La electricidad vítreo del cuerpo A descompone las electricidades combinadas del cilindro B; atrae la electricidad contraria, es decir, la resinosa en la estremidad *c* del cilindro mas prócsima al cuerpo A, y repele la del mismo nombre á la estremidad *d*, de donde se vé que los pequeños péndulos colocados en cada estremidad del cilindro deberán separarse como efectivamente sucede. Estando las cosas en este estado si se quita su electricidad al cuerpo A, ó bien se aleja de B en el mismo momento las dos electricidades que están en cada mitad del cilindro se combinarán, y los pequeños péndulos no darán señal ninguna de electricidad. El mismo fenómeno se producirá, si en vez de quitar el cuerpo A se quitase el cilindro B cogiéndolo por su base. Pero si mientras que B está bajo la influencia de A, y están separadas sus electricidades, se pone la estremidad *d* del cilindro en comunicacion con el suelo, la electricidad vítreo entonces que es repelida en esta estremidad se escapará por el terreno, y los pequeños péndulos de la estremidad *d*, que estaban muy separados, se aprocsimaran de repente aumentando por el contrario la divergencia de los hilos colocados en la otra estremidad. Si se quita la comunicacion y se aleja el cilindro B se le encuentra resinosamente electrizado.

Despues de estas nociones facil será comprender el juego de los instrumentos llamados electrómetros, y otros muchos cuya teoría no puede concebirse sino se entiende bien la descomposicion por influencia.

De los electróscopos.

Los electróscopos ó electrómetros son unos instrumentos por medio de los cuales se determina la naturaleza de la electricidad de los cuerpos, y que se em

plean para descubrir las mas pequeñas cantidades de estos fluidos.

Estos instrumentos estan fundados sobre el principio general que hemos reconocido á saber: que la electricidad del mismo nombre se repele á si misma y atrae la del nombre contrario, y sobre la descomposicion por influencia.

El electróscopo mas sencillo es el que hemos usado, consiste en una pequeña bola de sauco suspendida de un hilo de seda; este hilo está fijo por su parte superior á una barra de cristal (*fig. 148*): ya hemos dicho de que modo se usaba este aparato que tambien se conoce con el nombre de *péndulo eléctrico*.

Electróscopo de Haüy

Este electróscopo se compone de una aguja cilindrica de cobre terminada en cada estremidad por una bola del mismo metal. En la mitad de esta aguja tiene una chapa por cuyo medio se coloca sobre un eje (*fig. 149*). El aparato se aísla colocando el eje sobre un disco de cristal como representa la figura 10: de este modo el electróscopo puede conservar por mucho tiempo la electricidad que se le comunica.

Para servirse del electróscopo de Haüy se empieza por electrizar la aguja poniéndola en contacto con un cuerpo cargado de una electricidad conocida, despues se le presentan los cuerpos que se quieren experimentar, y entonces se conoce la especie de electricidad que tienen segun atraigan ó repelan una ú otra estremidad de la aguja.

Electrómetro de cuadrante.

Fué inventado en 1792 por Henly. Este instrumento se compone de un mango AB de sustancia conductora (*fig. 150*): en cuya parte superior esta fijo un semicírculo de marfil CD, en que se seña-

lan las divisiones: en el centro de este circulo hay un pequeño mango de marfil *t* terminado por una bola de sauco. La estremidad A del mango está terminada en bola y la estremidad B sostenida por un pié de cobre. Este electrómetro se coloca ordinariamente sobre las máquinas eléctricas.

Electrómetro de panes de oro inventado por Bennet en 1766.

La parte esencial de este instrumento consiste en dos panes de oro suspendidos de un alambre de cobre AB (*fig.* 151) cuya parte superior está terminado por una bola. Se colocan los panes de oro y una parte del alambre en una campana de cristal (*fig.* 152) á fin de preservar las láminas de la agitación del aire. La parte inferior del vaso se halla cerrada por un disco de cobre.

Si se quiere por medio de este electrómetro reconocer la especie de electricidad de que está cargado un cuerpo no es necesario mas que dar á las láminas una electricidad conocida, y segun que el cuerpo presentándolo á una cierta distancia por cima del instrumento atraiga ó repela las láminas se deducirá su especie de electricidad.

Electrómetro de pajas.

Este electrómetro se diferencia del anterior en que los panes son remplazados por dos pajas de cerca de tres pulgadas de longitud que están suspendidas del alambre por dos pequeños anillos metálicos. Se colocan las pajas en un frasco de cristal cuadrado (*fig.* 153); las divisiones estan señaladas en una de sus caras y se cuida de que el movimiento de las pajas se haga paralelamente á esta superficie á fin de medir su separacion. Esta colocacion es debida á Volta.

La division no puede servir sino para indicar un grado de electricidad mas ó menos debil, y no para medir la energia de la electricidad por que la accion

de la pesadez obra sin cesar, y tanto mas cuanto mas oblicuas sean las pajas: asi la fuerza repulsiva no es proporcional á su desvio. Esto es aplicable á todos los electrómetros sean de láminas de oro, ó de bolas de sauco.

Electrómetro de bolas de sauco.

En este electrómetro se han remplazado las pajas, ó las láminas de oro por dos hilos metálicos muy delgados en cuyas estremidades están fijas dos pequeñas bolas de sauco (*fig. 154*). Fué inventado por Cavallo fisico ingles.

Electrósopo de Coulomb.

El electrósopo de Coulomb no es otra cosa que su balanza eléctrica con dimensiones mas pequeñas. La aguja está suspendida no por un alambre como en la balanza, sino por un hilo de seda tal como sale del capullo. El disco fijo es remplazado por una pequeña vareta de cobre terminada por dos bolas *ab* (*fig. 155*)

Al principio de la esperiencia se coloca el instrumento de modo que el pequeño disco toque al boton *a*: se le suministra electricidad á la vareta asi como al disco de oropel, ya tocando el boton *b* con un cuerpo electrizado, ó ya descomponiendo sus electricidades combinadas. Por lo demas todo se verifica absolutamente como en los demas electrómetros, y solo debe preferirse éste por que sus efectos son del todo independientes de la gravedad.

Electróforo.

El electróforo, segun indica su nombre, es un instrumento que tiene la facultad de conservar la electricidad durante un espacio de tiempo bastante considerable. Fué inventado por Volta y no por Wilcke como creen algunos.

Se compone 1.º de una torta AB de resina (*fig.* 156) que se llama ordinariamente el pastel del electróforo 2.º de un disco metálico D al que se adapta un tubo de cristal *v.* Para usarlo se empieza electrizando la resina frotándola con una piel de gato (sabemos que esta se electriza resinosamente.) En seguida se coloca el disco D sobre el pastel. Entonces la electricidad resinosa de la resina obra sobre las electricidades combinadas del disco D, las descompone, la parte inferior atrae la electricidad vítrea y rechaza la electricidad resinosa á la parte superior. Ahora bien si se hace comunicar el disco D con el suelo, tocándole con un dedo por ejemplo, se obtendrá una pequeña chispa que será debida á la electricidad resinosa que es repelida á la parte superior del disco, y que se escapa por el suelo. Siendo la electricidad vítrea del disco atraída por la resinosa del pastel no podrá escaparse por los dedos, ni tampoco combinarse con la resinosa del pastel, por que estando este aislado no permite á la electricidad pasar de un punto á otro de su superficie. De donde se vé, que si se quita la comunicacion del disco con el suelo, no quedará sino la electricidad vítrea que no será sensible mientras el disco permanezca sobre el pastel. Pero si se levanta el disco esta electricidad queda libre, y al presentar el dedo se vé salir una chispa brillante. Podrá colocarse de nuevo el disco sobre el pastel sin necesidad de electrizarlo otra vez, se verificará una nueva descomposicion, y si se aplica el dedo se sacarán cuantas chispas se quieran.

El electróforo se emplea generalmente cuando no se quieren obtener sino cantidades pequeñas de electricidad, se usa frecuentemente en los laboratorios para practicar la combinacion del oxígeno con el hidrógeno.

Máquinas eléctricas.

El principio en que se funda la construccion de estas máquinas es el mismo para todas aun que sea diferente su forma. Vamos á dar la desa

cripcion prolija de una de ellas, y el mecanismo de las demas se comprenderá fácilmente.

La máquina eléctrica mas sencilla se compone de un disco de cristal V, (fig. 157) sostenido en una posicion vertical por un eje al cual se imprime un movimiento de rotacion por medio de una manigeta; de cuatro almohadillas *aa' bb'* que estan en comunicacion con el depósito comun formadas de cuero y rellenas de crin y destinadas á frotar el disco; á cada uno de estas se adapta un resorte, para que la presion que ejercen sobre el cristal sea constante y se haga de un modo uniforme. Un cilindro metálico C en forma de horquilla se halla en ellos colocado horizontalmente de modo que las dos ramas *cc'* estén muy cerca del disco, y sus estremidades acaben en punta. Se aísla el cilindro C montandolo sobre columnas de cristal cubiertas con una capa de barniz de goma laca á fin de que pueda hacerse mas perfecto el aislamiento. Todo este sistema, descansa sobre una mesa como lo representa la figura 157.

La electricidad se desenvuelve por la frotacion que las almohadillas ejercen sobre las dos superficies del disco (1). La vitrea permanece sobre el cristal mientras que la resinosa se esparce por las

(1) El roce del cuero contra el cristal dá muy poca electricidad, pero basta colocar sobre su superficie un compuesto cualquiera para aumentar considerablemente su desenvolvimiento. La sustancia que se emplea ordinariamente, al menos en Francia, es la que se conoce con el nombre de *oro musivo* (persulfuro de estaño). Se puede ademas emplear ventajosamente la amalgama que se obtiene fundiendo en un crisol partes iguales de zinc y estaño. Cuando la fusion es completa se echa la liga que resulta en una cantidad de mercurio calentado anteriormente y se agita el todo de manera que resulte un polvo muy fino. Cuando se emplea uno ú otro de estos compuestos es necesario tener cuidado que la capa que cubra cada almohadilla sea uniforme á fin de que su superficie se aplique bien al cristal y que tenga ademas poco espesor.

almohadillas y se distribuye en la tierra. Veamos ahora lo que sucede cuando una parte cualquiera del disco pasa por frente de las ramas cc' del conductor C , y para ello vamos desde luego á considerar solamente la rama c á fin de hacer mas clara la esplicacion, por que es evidente que lo que sucede en una mitad del disco debe suceder exactamente en la otra.

La electricidad vítrea del disco obra sobre las electricidades combinadas de la rama c , las separa, atrae la del nombre contrario, esto es, la resinosa, hasta en la punta; y como las puntas dejan escapar la electricidad con una gran facilidad se concibe que la electricidad resinosa deberá escaparse por la que está en la estremidad de la rama c . Ella abandona en efecto el conductor y se dirige sobre el disco, donde neutraliza una cantidad igual del fluido vítreo; pero como el disco da vueltas continuamente sucede que la porcion de su superficie que está en el estado natural se encuentra reemplazada por otra que se electriza como la primera al pasar por entre las almohadillas, y que alternativamente descompone una nueva cantidad de la electricidad natural del conductor, hallandose como la primera neutralizada por la electricidad resinosa que proviene de la descomposicion, y que la hace volver á su estado natural. Asi la electricidad vítrea esparcida en cada una de las partes del disco que ha sido sucesivamente frotada descompone constantemente una nueva porcion de la electricidad natural del conductor, por que se ve, que asi que una de las partes del disco está en el estado natural, se encuentra reemplazada por una nueva parte electrizada.

Entendido ya como la electricidad vítrea del disco descompone el fluido natural del conductor, y tambien como se neutraliza por la resinosa que proviene de esta descomposicion, examinemos lo que sucede á la electricidad vítrea que estaba combinada con la resinosa del conductor antes de la descomposicion.

En el instante en que empieza la descomposicion la resinosa es atraida por la vitrea del disco, mientras que ésta repele hacia el conductor C la electricidad del mismo nombre; pero desde que la resinosa abandona el conductor la vitrea de este queda en libertad, se esparce por la superficie, y la cantidad que de ella se encuentra es tanto mayor cuanto mas fluido se ha descompuesto. Esta electricidad puede hacerse desaparecer bajo la forma de chispas aprocsimando la mano al conductor C, ú otro cualquier cuerpo conductor que no esté aislado. De esta manera el conductor se encuentra casi descargado, y basta aprocsimar el dedo segunda vez para hacer la descarga completa.

Para que la electricidad del disco no se pierda por el contacto del aire se adapta á cada par de almohadillas una cubierta de tafetan que se prolonga hasta la punta de cada rama del conductor en direccion de su movimiento de manera que las partes del disco se encuentran en su trayecto cubiertas por el tafetan. El efecto de la máquina se aumenta considerablemente por estas cubiertas.

La (fig. 158) representa la máquina eléctrica ordinaria. La cantidad de electricidad suministrada por esta última máquina es mas considerable que la suministrada por la que acamos de describir: asi es muy superior á la primera. En esta máquina se ve que está cambiada la forma del conductor, y que cada rama inmediata al disco está determinada de manera que el cristal se halla rodeado por un pequeño conductor armado de puntas á fin de emitir con mas prontitud la electricidad resinosa que resulta de la descomposicion del fluido natural del conductor.

Van Marum de Harlem ha construído una máquina eléctrica que dá segun se quiere la eléctrica vitrea ó la resinosa, y se halla representada en la figura 159.

Ecsiste ademas otra máquina, aunque de poco uso, que ha sido inventada por Nairne. Se compone de un cilindro de cristal hueco que se hace

girar por medio de una manigueta. En un lado del cilindro y entre la superficie está aplicado un frotador, y en el lado opuesto hay un conductor armado de puntas. Cuando se quiere por medio de esta máquina obtener fluido vítreo es necesario poner el frotador en comunicacion con el suelo, pero si por el contrario se quiere obtener fluido resinoso es necesario aislar el frotador y hacer comunicar el conductor con el terreno. Tambien se adapta al frotador un pedazo de tafetan y se estiende por la superficie del cilindro en direccion de su movimiento á fin de disminuir la pérdida de electricidad.

Se coloca sobre las máquinas eléctricas el electrómetro de cuadrante que hemos descrito en la pag 275. Este indica la mayor ó menor cantidad de fluido de que está cargado el conductor por la repulsion que experimenta la pequeña bola colocada en la estremidad de la regla de marfil. En la máquina de Nairne en vez de adaptarlo se le colocan dos pequeños péndulos fijos uno al conductor y otro al frotador.

A fin de disponer de una cantidad considerable de electricidad se ha imaginado agrandar la superficie de los conductores. Para este efecto se emplea una docena de conductores cilíndricos de latón ó de oja de lata de seis ú ocho pies de longitud, y algunas veces mas, y solo de pulgada y media de diámetro. Se suspenden estos cilindros por cordones de seda teniendo cuidado de colocarlos paralelos unos á otros: se les hace comunicar entre si por medio de barillas metálicas ó por cilindros huecos del mismo metal (*fig. 160*). A este sistema de cuerpos se llama *conductores secundarios*. Se les carga de electricidad poniéndolos en comunicacion por medio de una cadena con el conductor de una máquina eléctrica. Cuando se juzga que hay bastante electricidad acumulada, lo que se conoce por el electrómetro de cuadrante, se quita la comunicacion por medio de un gancho de cristal, y se tiene así una gran cantidad de electricidad de que disponer.

§ VI.

ELECTICIDADES SIMULADAS.

Hemos visto en el capítulo anterior que por medio de las máquinas eléctricas se acumula sobre los cuerpos conductores una cierta cantidad de electricidad, y que si se traspasa este límite la electricidad se escapa bajo la forma de chispas ó *penachos luminosos*. De ello puede uno convencerse practicando la experiencia en la oscuridad.

Los instrumentos que tienen por objeto retardar este límite se han llamado *condensadores*. Se componen los condensadores esencialmente de dos cuerpos conductores separados por un cuerpo no conductor.

OEpinus de Petesbourg ha construido un condensador en que el cuerpo no conductor es una lámina de aire. Se compone de dos discos circulares de cobre sostenidos por cuerpos aislatorios. La parte inferior de cada sosten está terminado de tal modo que puede deslizarse por una ranura practicada en el pié del aparato á fin de aumentar ó disminuir la distancia que separa los discos.

Para acumular la electricidad sobre estos discos es menester poner uno de ellos en comunicacion con una corriente eléctrica, y poner en comunicacion el otro con el suelo. El fluido de esta corriente se distribuirá en el disco que está en contacto con él, y obrará al través de la capa de aire sobre el fluido natural del otro disco, le descompondrá, atraerá hacia si el fluido del nombre contrario repeliendo hácia el terreno el fluido de su mismo nombre. Si continua la corriente eléctrica suministrando al disco con el cual está en contacto cantidades de fluido, este mismo descompondrá una nueva porcion del fluido natural del segundo disco, repelerá hácia el suelo el fluido del mismo nombre, y atraerá hácia si el del nombre contrario. De donde se deduce que es posible acumular sobre estos

discos grandes cantidades de los dos fluidos opuestos. Esta acumulacion tendrá lugar hasta tanto que la tension eléctrica de cada disco forme equilibrio con la presion que el aire ejerce sobre ellos. Si se traspasa este punto los fluidos contrarios se precipitan uno hácia otro al través del aire produciendo una esplosion.

Pero antes que pueda hacerse esta reunion de las dos electricidades podrá acumularse una gran cantidad sobre cada disco. Estableciendo esta comunicacion de uno á otro por medio del escitador (*fig. 161*); se verifica al instante la reunion de los dos fluidos y se forma instantaneamente el fluido natural.

Si en vez de establecer la comunicacion de un disco á otro por medio de un arco metalico, se coloca una mano sobre el uno, tocando el segundo con la otra, se esperimentará una conmocion violenta, y totalmente diferente de la que produce la chispa de la máquina eléctrica.

El condensador puede aun descargarse por contactos sucesivos; pero es necesario solamente observar que el disco, que está en comunicacion con la corriente eléctrica y que llamaremos primer disco, contiene una mayor cantidad de fluido que el segundo como si estubiese obligado por la distancia á disimular en si una cierta cantidad. Cuando se quita el exceso del primer disco, una pequeña parte del fluido que ecsistia oculto en el segundo queda libre, y se escapa si se le pone un conductor: pero como esta electricidad retenia tambien en parte la electricidad del primer disco, una nueva porcion de la de este queda libre, esta porcion puede quitarse como la anterior y asi sucesivamente. De aqui resulta que puede descargarse el condensador por contactos reiterados muchas veces; pero el numero de estos es totalmente dependiente de lo cargado del condensador, y del estado hygrométrico del aire en el dia en que se hace la experiencia.

Condensador de tafetan.

Este instrumento se construyó por Volta que lo dió á conocer en 1782. Se compone de un disco metálico AB (*fig. 162*) el cual tiene en su centro un tubo de cristal, y de un segundo disco de madera CD cubierto de un tafetan que es muy mal conductor del fluido eléctrico. Para cargar este condensador es necesario colocar el disco metálico sobre el de madera cubierto con su tafetan, y para hacerlo comunicar seguramente con el suelo se le tiene en una mano; en seguida se pone el disco AB durante algunos segundos en contacto con una débil corriente eléctrica, y se separa del disco CD el disco AB que se presenta en seguida al electróscopo.

Electrómetro condensador,

Modificando la forma del condensador de tafetan Volta ha inventado otro que adaptado al electrómetro de láminas de oro nos dá el mas precioso instrumento que poseemos para conocer pequeñas cantidades de fluido eléctrico (*fig. 163*). Este condensador está formado por dos discos metálicos separados por una ligera capa de barniz de goma laca aplicada á cada uno de ellos. El disco inferior se adapta á la parte superior del electrómetro de láminas de oro, y comunica con este directamente ó por medio de una varilla metálica.

Botella de Leyden.

La botella de Leyden no es mas que un condensador cuya forma es del todo diferente de los que acabamos de describir. Fué descubierta en 1746 por dos físicos de Leyde Muschembroeck y Cunéus, el vaso de que hacian uso era una botella y el abate Nollet llamó al instrumento *botella de Leyden* añan-

diéndole como se vé, el nombre de la ciudad en que se hizo este precioso descubrimiento.

Esta botella se compone de un frasco de cuello vuelto, cuya magnitud es proporcional á la cantidad de electricidad que se quiere acumular. Se forra su interior de hojas de cobre ó de oro, y se cubre su superficie esterna de una hoja de estaño; esta hoja no debe llegar mas que á los cuatro quintos de la altura de la botella; se adapta á su cuello un tapon por el que se ajusta fuertemente una varilla de cobre hasta que toque las hojas interiores; la parte superior de esta varilla está encorvada en forma de báculo y terminada en una bola (*fig.* 164).

Este aparato se carga por medio de la bola de cobre poniendo el forro interior en contacto con el conductor de una máquina eléctrica en movimiento, y se hace comunicar la chapa exterior con el suelo teniendo la botella en la mano; se le puede además cargar teniendo el báculo en la mano y tocando el conductor de la máquina eléctrica con el cuerpo de la botella. Lo que hemos dicho del condensador de OEpinus se aplica esactamente á la botella de Leyden.

En la época en que se hizo el descubrimiento de la botella de Leyden todos los sabios quisieron experimentar la conmocion de este instrumento que pasaba entónces por un prodigio. Unos le han atribuído propiedades que no posee, otros, sorprendidos por semejante fenómeno, han ecsagerado de tal modo sus efectos que Muchembroeck en una carta á Reaumur, dice que despues de haber electrizado el agua que acababa de poner en una botella muy delgada, se sintió golpear en el brazo, las espaldas, y en el pecho tan violentamente que perdió la respiracion, y tardó algunos dias en recuperarse del golpe y del terror que habia experimentado; despues añade que no quisiera recibir una segunda conmocion por todo el reyno de Francia (1).

(1) Histoire de l' Electricité pag. 30.

Carga sucesiva ó por cascada.

Esta operacion consiste en cargar al mismo tiempo muchas botellas de Leyden que se disponen de la manera siguiente: se engancha la primera botella al conductor de una máquina eléctrica, de esta se suspende una segunda por un gancho fijo bajo la primera botella y que hace parte de la guarnicion exterior, esta tiene tambien paralelamente otra horquilla ó gancho que permite suspenderle otra tercera y asi se pueden reunir tantas como se quieran teniendo cuidado de hacer comunicar el exterior de la última botella con el suelo (*fig. 165*).

Dispuesto asi este sistema se hace obrar la máquina y todas las botellas se cargan. Supongamos que la electricidad del conductor sea vitrea: pasará al interior de la primera botella, descompondrá el fluido natural de la guarnicion esterna á medida que en ella se acumule, atraerá la resinosa y repelerá la vitrea al interior de la segunda botella: este fluido vitreo descompondrá á su vez el fluido natural de la segunda botella, atraerá la resinosa al exterior y repelerá la vitrea á la tercera botella, y asi sucesivamente. Segun esto es claro que todas las botellas se cargan al mismo tiempo, y que todos los interiores contienen electricidad vitrea al paso que los exteriores solo se cargan de la resinosa.

Este sistema puede descargarse de una sola vez haciendo comunicar el interior de la primera botella con el exterior de la última. De esta manera la conmocion es muy debil, por que no se recibe sino la que es producida por la electricidad de la guarnicion interior de la primera y la exterior de la última botella.

Es preferible cuando se emplea este procedimiento, separar las botellas despues de haberlas cargado á fin de practicar las descargas en cada una de ellas separadamente.

Batería eléctrica.

Una batería eléctrica es la reunion de muchas grandes botellas de Leyden. Para formar semejante sistema se toman grandes vasijas de cristal que se cubren tanto exterior como interiormente de hojas de estaño hasta una cierta altura. El resto está cubierto de una capa de lacre para impedir el paso de la electricidad de una á otra armadura. Se reúnen muchas de estas haciendo que comuniquen juntos todos sus interiores por medio de varillas metálicas reunidas por una bola que está en el centro del sistema. Se hacen igualmente comunicar los exteriores colocandolos en una especie de caja cuyo fondo está revestido por una hoja de estaño (*fig. 166*).

Se descarga la batería sirviendose del arco excitador: para esto se coloca una de sus ramas sobre la guarnicion esterna y la otra sobre la interna entonces se obtiene una chispa que es capaz de fundir y aun volatilizar los metales.

§ VII.

DE LA ELECTRICIDAD ATMOSFERICA.

La identidad del rayo con la electricidad fué sospechada por Franklin que fué el primero que dió los medios de realizar estas conjeturas. Este sabio habia descubierto que las puntas presentadas á cierta distancia de un cuerpo electrizado le quitaban totalmente su electricidad. Franklin aguardaba con gran impaciencia que se construyese un campanario en Filadelfia para colocar en él una barra metálica terminada en punta á fin de ver si como el pensaba el rayo no era mas que el fluido electrico y si podría descender por la barra de hierro. No pudiendo hacer la esperiencia tan pronto como habria deseado Franklin, fué aventajado por Dalibard fisi-

co frances que tenia conocimiento de sus ideas. Esta gran prueba se hizo en Marly-la-ville poblacion situada á seis leguas de Paris.

Dalibard hizo construir una especie de garita en la que colocó una mesa cuyos pies eran de cristal: esta mesa estaba atravesada en su centro por un agujero que recibia la parte inferior de una barra de hierro de 40 pies de longitud que colocó verticalmente. La estremidad superior de esta barra estaba terminada en punta. Dispuesto asi el aparato solo trató de ver si á la aprocsimacion de la nube cargada de rayos la barra daba señal alguna de electricidad. Dalibard se hallaba ausente el 10 de mayo de 1752 cuando entre dos y tres de la tarde un trueno advirtió á la persona encargada por Dalibard en la observacion, que era el caso de exáminar el aparato. Cuanto se aprocsimó á él sacó chispas totalmente analogas á las de nuestras máquinas aunque mucho mas fuertes. Se cargaron tambien botellas de Leyden, y pudo verificarse con la electricidad de las nubes todos los fenómenos, que hasta entonces se habian obtenido por medio de la electricidad de nuestras máquinas.

Este esperimento se repitió un gran numero de veces variado de muchas maneras, y siempre produjo los mismos resultados.

Mientras que sucedía esto en Francia Franklin seguia siempre sus ideas, pero desesperado de poder realizar su esperiencia por falta de companario imaginó elevar una cometa lo mas alto posible y el éxito mas brillante coronó este ensayo. El sacó de la cuerda que sostenía la cometa un gran numero de chispas, cargó una botella de Leyden, é hizo muchos esperimentos de los cuales pudo deducir que el rayo no era otra cosa que la misma electricidad. Esta esperiencia se hizo en junio de 1752 un mes despues de la de Dalibard, y Franklin no pudo por consiguiente saber lo que habia sucedido en Francia.

Las nubes no son los solos cuerpos aéreos en que se demuestra la presencia del fluido eléctrico, que pue-

de ser ya vítreo, ó ya resinoso. Por medio de aparatos tales como los electróscopos se llega á demostrar que la atmósfera tranquila ó agitada contiene constantemente electricidad.

En general se vé que las capas de aire inmediatas á la tierra, y aun las que se elevan á una gran altura están vítreamente electrizadas, y que la cantidad de electricidad que contienen vá aumentando en proporcion de la altura.

Bien comprobada ya la ecsistencia de la electricidad en la atmósfera y en las nubes, debe investigarse de donde trae su origen esta electricidad, y cuales son las causas que concurren á su desenvolvimiento.

Un gran numero de fisicos han pretendido explicar de que manera se carga la atmósfera de electricidad, pero todos se han estraviado; unos suponian que se ecsalaba de la tierra, otros que se desarrollaba por la frotacion mas ó menos considerable del aire contra la superficie de la tierra ó contra si mismo; otros en fin imaginaban que era debida á la descomposicion de las materias fermentables que se elevan en la atmósfera.

A primera vista se nota que todas estas hypotesis no son susceptibles de someterse á un rigoroso examen, y que han sido dictadas, permítase decirlo así, por un estravío de la imaginacion. El célebre fisico Volta, conociendo que todas estas conjeturas no tendian á ningun objeto, procuró explicar el fenómeno y en 1780 emitió una opinion que fué acogida por todos los fisicos, y que ha sido generalmente admitida desde esta época. Volta creyó encontrar en la evaporacion de los liquidos la causa principal de la electricidad atmosferica, pero Mr. Pouillet acaba de comprobar por un gran numero de esperiencias que ha variado de diversas maneras, que este célebre sábio se habia engañado, y que la evaporacion ordinaria, que se verifica en la superficie de los liquidos, no desenvuelve ninguna electricidad.

De las esperiencias de Mr. Pouillet resulta que en toda combinacion del oxígeno con un cuerpo

cualquiera, el oxígeno desprende constantemente electricidad vitrea, y el cuerpo con que se combina deja desprender la electricidad resinosa. Este resultado es tan evidente que Mr. Pouillet le ha reproducido á su placer.

Mr. Pouillet ha investigado si la combinacion que continuamente se verifica entre el carbono de las plantas y el oxígeno del aire desprende electricidad. De sus resultados ha deducido que la vegetacion desenvuelve electricidad, y esta funcion es una poderosa causa de la produccion de la electricidad atmosférica.

El mismo Mr. Pouillet ha venido á deducir por las experiencias que contienen sus trabajos las siguientes conclusiones.

„1.º La simple evaporacion sea lenta ó rápida „nunca da señal de electricidad.

„2.º Las disoluciones alcalinas de sosa, de potasa, de barita, de estronciana &c. por poco concentradas que sean dan electricidad, y el alcalí que „dejan despues de la evaporacion del agua está electrizado positivamente.

„3.º Las demas disoluciones de sales ó acidos dan „del mismo modo electricidad, y el cuerpo combinado con el agua toma entónces la electricidad resinosa.

El muriato de sosa es de entre todas las sales la que ha empleado Mr. Pouillet en el mayor número de experiencias por que se supone facilmente „dice este fisico „que esta es la sal entre todas las sometidas á la esperiencia que ha sido ecsaminada mas „cuidadosamente por la analogía que debe ecsistir entre los resultados que presenta, y los fenómenos que „se producen en la superficie del mar, aunque en una „escala incomparablemente mayor. Y pues que una sola „gota de una debil disolucion de muriato de sosa „la produce electricidad por la descomposicion que determina la evaporacion entre las moléculas del agua „y las de la sal, no hay duda ninguna que en la „vasta estension de los mares la separacion qui-

Por baño. Se da el nombre de baño eléctrico á

„mica que se hace tambien por la evaporacion, de-
„senvolverá la electricidad.”

„Generalizando esta consecuencia y aplicándola á
„todos los fenómenos naturales en que hay al mis-
„mo tiempo evaporacion, y separacion química se
„vé, que puesto que no se encuentra en la superfi-
„cie de la tierra, ni en la de los lagos y los mares
„agua perfectamente pura, porque donde quiera
„que se halla este elemento tan universal está en
„combinacion, es pues necesario que se desprenda
„electricidad siempre que se ecsala para formar
„los vapores perfectamente puros de la atmósfera.
„He aqui pues otro gran manantial de donde trae
„su origen la electricidad atmosférica.”

De los Para-rayos.

En el momento en que Franklin descubrió la perfecta identidad del rayo con la electricidad inventó tambien los para-rayos.

En los primeros tiempos de este bello descubrimiento se pensaba que los para-rayos eran mas propios para esponer los edificios que para perservarlos de este terrible azote; pero bien pronto se reconoció la eficacia de estos aparatos, y hoy no se construye un edificio algo considerable sin colocar en su vértice uno ó mas para-rayos segun la mayor ó menor estension de su local.

Un para-rayo se compone de una varilla de hierro cuya estremidad superior termina en punta. Para que esta punta no se altere se construye de platina de cobre, ó en general de un metal poco oxidable al aire; algunas veces, y es el procedimiento mas usado, se dora la estremidad de la barra, que permanece por este medio mucho tiempo aguda, y conserva en buen estado el para-rayo.

La altura media de un para-rayo es de 25 pies, y su barilla debe tener en su base 25 líneas de diámetro.

Los conductores son barras de hierro de siete á

ocho líneas de diámetro, ó bien cuerdas del mismo grueso formadas con alambres de hierro. Debe tenerse gran cuidado que el conductor se pierda en un terreno muy húmedo, ó mejor en un pozo.

Se cree que un para-rayo puede defender de los ataques de un rayo un espacio circular de doble radio que su altura.

Efectos mecánicos de la electricidad.

Además de los fenómenos de atracción y repulsión que hemos dado á conocer, la electricidad cuando está acumulada en gran cantidad puede producir efectos maravillosamente sorprendentes.

Así es que puede fundir y aun volatilizar el oro, la plata, el hierro, el estaño &c. Basta para esto hacer pasar la corriente eléctrica, que resulta de la descarga de una batería al través de alambres ú hojas de éstos metales, para que al momento se reduzcan á polvo, ó se conviertan en vapor.

Un pedazo de madera colocado entre dos puntas se quebranta en astillas cuando le atraviesa una fuerte corriente eléctrica.

El algodón polvoreado de resina se enciende por la descarga de una sola botella de Leyden.

Una simple chispa eléctrica inflama algunos cuerpos combustibles como el alcohol, ó el eter. Basta para ello colocar uno de estos líquidos en un vaso metálico y hacer caer sobre su superficie una débil chispa, para que se inflame en el momento.

La chispa eléctrica es azulada, marcha en línea recta cuando corre pequeños intervalos, pero describe una línea quebrada como en los relámpagos cuando recorre grandes espacios.

Accion de la electricidad sobre la economía animal

■ En Medicina se emplea la electricidad de varios modos á saber.

Por baño. Se da el nombre de baño eléctrico á

la mayor ó menor cantidad de electricidad que se hace pasar por una persona aislada, que esté en contacto inmediato con una máquina eléctrica.

Por penachos. Esta operacion consiste en aproximar á una persona actualmente electrizada una punta que se pase por diferentes partes de su cuerpo. La sensacion que experimenta la persona sometida á la esperiencia se asemeja á la de un viento fresco, ó á un ligero escozor.

Por chispas. La electricidad por chispas se verifica sacandolas por medio de un conductor de la parte enferma de un hombre electrizado.

Por conmocion. Esta operacion consiste en recibir la descarga de una botella de Leyden. La medicina no ha sacado realmente ventaja alguna notable empleando de este modo la electricidad sobre la economia animal: sin embargo puede considerarse el fluido eléctrico como un medio escitante, que quede producir buenos efectos en algunas paralisis.

CAPITULO XII.

Galvanismo.

DE LA ELECTRICIDAD DESARROLLADA POR EL CONTACTO
DE SUSTANCIAS HETEROGENEAS.

Este nuevo ramo de la física solo se conoce desde 1789. Galvani profesor de anatomía en Bolo-
nia observó movimientos convulsivos en los anima-
les recientemente privados de la vida, cuando por me-
dio de un arco metálico se establecía un contacto
de los nervios á los músculos. En estas con-
mociones Galvani creyó ver la existencia de un flui-
do nervioso que comparaba con el fluido eléctrico.
Hizo un gran numero de investigaciones para ase-
gurarse si este fluido residía en los nervios mas bien
que en los músculos: pero no pudiendo conseguirlo con-
sideró los musculos como una especie de botella de
Leyden, cuyo interior cargado siempre de electrici-
dad tendia sin cesar á equilibrarse con el exterior
En esta hipotesis los nervios servian de conductor.

Esta esplicacion de Galvani fué adoptada por
un gran numero de fisicos; pero Volta hizo ver que
nunca se obtenian convulsiones musculares si no ha-
bia heterogéneidad de sustancias. Partiendo de este
principio logró Volta descubrir el instrumento que
lleva su nombre.

El contacto de dos sustancias cualesquiera desarrolla la electricidad. Los metales poseen esta propiedad en el mas alto grado.

Tómense dos planchas metálicas de zinc y de cobre soldadas una con otra, y póngase la estremidad cobre en contacto durante algunos segundos con el disco colector del electrómetro condensador, teniendo en la mano la estremidad zinc, y haciendo comunicar el disco inferior del condensador con el suelo: quite la comunicacion del disco inferior con el suelo y quítese al mismo tiempo la plancha: en este estado el condensador no dará señal alguna de electricidad; pero sepárese el disco colector del resto del aparato, y se verá entonces una considerable separacion entre las láminas.

Este fenómeno no se verifica si se toca con el zinc el disco colector, pero basta colocar una hoja de papel mojado entre este y el disco para que se produzca el fenómeno.

Es facil concebir lo que sucede en este experimento. El solo contacto del cobre con el zinc separa los dos fluidos, el resinoso se dirige al cobre y el vitreo al zinc. El cobre por su contacto con el disco colector le cede su electricidad: esta electricidad descompone el fluido natural del segundo disco, atrae á la parte superior la del nombre contrario y repele al suelo la del mismo nombre; de suerte que cuando se quita el disco colector la electricidad que se hallaba disimulada en el disco inferior queda libre, descendiendo á las láminas, y las hace separar.

Construccion de la pila de Volta.

La pila de Volta se compone de discos metálicos de zinc y cobre que se reunen de dos en dos: y para que se establezca el contacto con mas seguridad se suelda el zinc con el cobre. Cada par de planchas es lo que se llama *pareja, par, ó elemento voltaico*. Para construir una pila se colocan unos sobre

otros muchos de estos pares teniendo cuidado de separarlos por medio de una redondela de paño empapado en una disolucion salina, ó de agua ligeramente acidulada. La figura 167 representa la pila de Volta.

Se ha variado de distintos modos la forma de este aparato y la figura 168 representa la llamada *pila de pesebres*. En esta pila las planchas son cuadradas y estan separadas unas de otras por un pequeño espacio que se llena de agua acidulada.

En la figura 169 los elementos tienen otra disposicion. Esta pila cuya forma se debe al doctor Wollaston obra con mucha energia. Los elementos están fijos á un atravesaño de madera por medio del cual se pueden sumergir en vasos que contienen un liquido conductor.

El conductor húmedo que separa los elementos tiene por objeto conducir al elemento siguiente la electricidad que se desarrolla sobre uno de ellos.

En el contacto del zinc y el cobre ecsiste una fuerza que se llama *fuerza electromotriz*. Esta fuerza separa los dos fluidos, el vitreo se estiende por el zinc y el resinoso por el cobre. Esta descomposicion se verifica hasta que la tension eléctrica en cada disco forma equilibrio con la fuerza electromotriz.

Para ecsaminar su mecanismo supongamos ahora un elemento que comuniqué con el suelo por el lado cobre, y analicemos el fenómeno. Por el contacto del zinc y del cobre la fuerza electromotriz desenvuelve los dos fluidos, el vitreo se dirige al zinc y el resinoso al cobre: llamemos 1 la cantidad de fluido vitreo que hay en el zinc, y 0 al estado del cobre puesto que está en comunicacion con la tierra; coloquemos sobre esta primera plancha de zinc una redondela húmeda: esta redondela tomará del zinc alguna electricidad y no tendrá ya la cantidad 1 de tension. Pero como la fuerza electromotriz obra sin cesar, forma una nueva descomposicion, hasta que el zinc y la redondela tengan 1 de tension: coloquemos sobre la redondela húmeda un segundo par poniendo el cobre hacia abajo como en

el primero y supongamos por un momento que al contacto del zinc y del cobre de este segundo par la fuerza electromotriz no existe: entonces se concibe fácilmente que la electricidad de la redondela y del primer zinc pasará al segundo par, que en virtud de la fuerza electromotriz del primer par tomará la tensión igual á la del primer zinc. Demos sin embargo á este segundo par la fuerza electromotriz esta fuerza desenvolverá sobre el segundo zinc 1 de electricidad vítrea, y en el segundo cobre 1 de resinoso lo que hace 2 de tensión en el segundo zinc: pero este 1 resinoso del segundo cobre encuentra 1 de vítrea, se combina con él, forma fluido neutro, y este segundo cobre vuelve á caer en el estado 0, este estado no dura mucho, por que la redondela húmeda le comunica la vítrea del primer zinc hasta que tenga 1 de tensión: el primer zinc no tiene 1 verdaderamente, pero su fuerza electromotriz repara continuamente su pérdida hasta que llega á su tensión primitiva. El mismo raciocinio se aplica al tercer par y á los siguientes, solo que el tercer zinc tendrá 3 de tensión el 4.º 4, el 5.º 5, y el tercer cobre tendrá 2 de tensión, el 4.º 3 &c. y entonces la pila estará cargada de electricidad vítrea.

Si la pila comunica con el suelo por su estrechidad zinc se cargará en este caso de fluido resinoso.

Cuando la pila esta aislada por sus dos estremidades una de las mitades está en el estado positivo y otra en el negativo. Cuando el numero de elementos de la pila aislada es par, la tensión en los dos elementos del medio es nula. En general los elementos situados á igual distancia del medio tienen la misma tensión aun cuando sus electricidades sean de nombre contrario. La tensión eléctrica en las estremidades de la pila es proporcional al numero de los elementos.

Ademas de las pilas que acabamos de señalar se construyen otras en que el conductor húmedo se remplaza por un carton ó papel. Estas pilas que

se llaman *secas*, y cuyos elementos tienen á corta diferencia diez líneas de diámetro no pueden usarse ventajosamente. La tension en sus estremidades es mas considerable atendido el gran numero de elementos; pero la cantidad total de electricidad es muy debil. No obstante esto se emplean para producir una especie de movimiento llamado *perpétuo*.

Efectos físicos y quimicos de la pila.

Si se unen las estremidades de una pila puesta en accion por un alambre de cierto grueso, y se remplace una porcion de el por otro alambre muy delgado, la temperatura de éste alambre se elevará, pasará al estado rojo, y será quemado y arrojado en pequeños glóbulos si la pila tiene bastante energia. La pila puede fundir todos los metales; aun que cuando quiere verificarse la fusion es necesario servirse de una pila de elementos grandes, por que la cantidad de electricidad que dá es mayor que la suministrada por una pila del mismo numero de elementos pero mas pequeños.

Descomposicion del agua.

Para verificar la descomposicion del agua es necesario hacer pasar la corriente voltáica al través de una masa de agua débilmente acidulada. El aparato que se usa para esto se compone de un embudo de cristal cuya pequeña abertura está tapada por un tapon de corcho por donde pasan dos hilos de platina que se elevan hasta cierta altura en el embudo (*fig. 170*). Se llena este aparato hasta sus tres cuartas partes de agua ligeramente acidulada, y se hace llegar la corriente voltáica al través de este liquido por los dos hilos metálicos. Entónces se perciben una multitud de pequeñas ampollas que se desprenden, atraviesan la masa liquida, y llegan á su superficie con una gran rapidez. Estas ampollas de gaz se recogen colocando en posicion inversa sobre cada

hilo de platina una pequeña campana llena de agua; de este modo se vé que la campana que está sobre el hilo que corresponde al polo vítreo de la pila contiene el oxígeno y la que se halla sobre el alambre que corresponde al polo resinoso contiene el hidrógeno. Además de eso estos gases se obtienen justamente en la proporción que forman el agua. Según esto es evidente, que una parte del agua ha sido descompuesta, que su oxígeno se ha dirigido al polo vítreo, y su hidrógeno al polo resinoso; lo que supone, como se vé, que el polo positivo de la pila tiene cierta atracción con el oxígeno y el negativo con el hidrógeno. Esta descomposición del agua se explica concibiendo que el intervalo que separa los dos alambres está lleno por moléculas de agua que se descomponen y recomponen alternativamente. La primera molécula de agua cede su oxígeno al polo positivo, y el hidrógeno que proviene de esta descomposición se combina con el oxígeno de la molécula de agua más inmediata; del mismo modo el hidrógeno de esta molécula de agua se combina con el oxígeno de la siguiente, y así de molécula á molécula hasta que el hidrógeno que proviene de la última molécula de agua encuentra el hilo negativo, y no pudiendo ya combinarse con nuevo oxígeno se desprende y deposita.

El ácido que se añade hace el agua mejor conductor, y acelera mucho su descomposición: si se emplea el agua pura apenas se verificará la descomposición, y las ampollas de gaz casi no serán perceptibles.

No solo la pila descompone el agua sino también un gran número de sustancias como casi todos los ácidos, los óxidos y las sales.

En la descomposición del ácido sulfúrico concentrado se dirige el oxígeno al polo positivo, y el azufre se deposita en el negativo.

Cuando se descompone un óxido el oxígeno se dirige siempre á la estremidad positiva de la pila, y el metal á la estremidad negativa.

En la descomposicion de las sales el acido se dirige al polo positivo, y el oxido al negativo. Esta descomposicion ofrece un fenómeno que es muy notable y que se designa con el nombre de *fenómeno de transporte*. Tómense dos pequeñas capsulas, ó mejor dos pequeñas campanas, llénense de una disolucion del sulfato de sosa, y establézcase la comunicacion entre ellas por medio de un hilo de amianto mojado; pongase en comunicacion uno de los polos de la pila con cada uno de los vasos, y al cabo de cierto tiempo se verá la sal totalmente descompuesta: el acido sulfurico marchará al vaso que comunica con el alambre positivo, y la sosa al vaso del alambre negativo. Este fenómeno se esplica concibiendo que el acido y la sosa han pasado por entre las moléculas del agua que se encuentra en el hilo de amianto.

Efectos fisiológicos de la pila.

En el momento que Volta inventó la pila se trató de averiguar cual podria ser la accion del fluido galvánico sobre los seres vivos, y aun sobre los que habian muerto recientemente. Gran numero de investigaciones se han hecho sobre este particular por Aldini profesor de la universidad de Bolonia tanto en animales como en hombres.

Quando se hace pasar la corriente galvánica por una parte cualquiera de la cabeza separada del tronco de un cuadrúpedo recientemente muerto, como la de un buey, se vé que en esta cabeza se abren los ojos, se sacuden las orejas, la lengua se agita, las narices se hinchan como cuando irritados los animales de esta especie quieren pelear entre sí ó con otros. (1)

Los mismos fenómenos se produce en una cabeza de carnero, de oveja, caballo &c. solamente que las contracciones se diferencian por su mayor ó menor intensidad.

(1) Jean Aldini, Essai sur le galvanisme p. 100.

El profesor Aldini ha hecho aplicacion del galvanismo en los cadáveres de criminales ajusticiados, y ha obtenido fuertes contracciones musculares; la cara hacía gestos horribles, y el cuerpo movimientos espantosos. Experiencias hechas en Londres en 1803 sobre un ajusticiado tres cuartos de hora despues de su ejecucion dieron alguna esperanza de volverle á la vida, puesto que ya se restablecía la respiracion, y los miembros se movian con rapidez, pero el estado de debilidad en que se encontraba el cadáver, ocasionado por la pérdida de una considerable cantidad de sangre no permitió un éxito completo.

Si se coloca una mano en la estremidad inferior de una pila puesta en accion y la otra en la superior se experimenta un vivo sacudimiento que se siente en la mano, en los brazos, y aun en el pecho, si el instrumento es bastante enérgico. Esta conmocion se diferencia de la que produce la botella de Leyden en que esta es súbita y no permanente, mientras que la de la pila es viva y duradera.

El galvanismo se ha usado aunque sin éxito notable en las enfermedades de los ojos y de los oídos.

El profesor Aldini ha investigado si el galvanismo podria emplearse ventajosamente en la asfixia como medio de restablecer la respiracion. Ha ensayado este procedimiento en perros, en gatos &c. que asfixiaba teniendolos algun tiempo bajo el agua. Galvanizaba estos animales al salir del liquido, y por este medio conseguia volverlos á la vida. Segun esto la analogia nos induce á creer que el uso del galvanismo en los individuos asfixiados puede tener buen éxito, pero seria de desear que se hiciesen algunas investigaciones con este objeto.

El profesor Aldini ha usado el galvanismo como medio curativo en personas atacadas de locura. Finalmente el galvanismo puede, segun se dice, producir buenos efectos si se aplica en la parálisis, en las afecciones reumáticas, y en otras varias.

De la electricidad producida por el calor.

La turmalina, el topacio algunos jacintos, y otras muchas sustancias minerales se electrizan cuando se eleva su temperatura. La turmalina particularmente goza de esta propiedad en muy alto grado. Pero lo mas notable es que muchas de estas sustancias se constituyen en estados eléctricos opuestos. Asi por ejemplo, si despues de haber calentado una turmalina, se presenta al péndulo electrico aislado y electrizado, este péndulo es atraido por uno de los extremos de la turmalina y repelido por el otro.

Ademas si despues de haber calentado una turmalina se divide en dos partes, cada una se encuentra electrizada, y provista de dos polos como la turmalina entera. Este hecho se explica considerando cada molécula de la turmalina como provista de dos polos, y que la fractura solo se verifica entre dos moléculas, de donde se deduce que cada fragmento tiene necesariamente dos polos como la turmalina entera.

De la electricidad producida por la presion.

El profesor Libes ha sido el primero que ha demostrado el desarrollo de la electricidad por la presion. La esperiencia de Mr. Libes consiste en oprimir un disco de cobre sosteniendolo por un mango aislatorio en un pedazo de tafetan engomado. El metal se encuentra electrizado resinosamente y el tafetan vitreamente. Si en vez de comprimir el tafetan se frota el disco metálico sobre su superficie, el metal adquiere la electricidad positiva y el tafetan la negativa.

Mr. Haüy ha demostrado que los cristales se electrizan cuando se comprimen. Asi basta comprimir durante algunos segundos entre los dos dedos el cuerpo que se quiere experimentar para que apocsiándolo y retirándolo al electrosócopo de Haüy atraí-

ga la aguja, tanto mas fuertemente cuanto mas electrizado esté el cuerpo. En esta esperiencia es necesario que el cuerpo esté aislado.

Aislando los cuerpos Mr. Haüy ha podido comparar la duracion de su virtud electrica, y ha encontrado que un topacio tallado del Brasil obraba cerca de 32 horas: la esmeralda, el rubi &c. obraban cerca de 5 horas.

En el diamante y en el cristal de roca, la virtud eléctrica se estingua despues de 15 ó 20 minutos.

Mr. Haüy ha observado que algunos cuerpos conservaban la electricidad que adquirian sin estar aislados, y otros que no la conservaban sino lo estaban.

Una ligera presion basta para electrizar el spatho de Islandia (cal carbonatada). Esta electricidad puede conservarse mucho tiempo. Mr. Haüy electrizó por la presion una lamina romboidal de spatho de Islandia habiendola aislado anteriormente, y observó que la virtud electrica no se estingua sino al cabo de 11 dias: otros romboides no conservaron esta propiedad sino tres ó cuatro dias, y otros diez ó doce horas solamente (1)

Mr. Becquerel ha demostrado que no solo los cristales sino todos los cuerpos pueden electrizarse por medio de la presion.

De la electricidad que se desarrolla en las combinaciones quimicas.

El descubrimiento de la electricidad en las combinaciones fué observado la primera vez por los Sres. Lavoisier y Laplace. Estos sabios reconocieron que haciendo obrar algunos cuartillos de ácido sulfurico sobre limaduras de hierro se desarrollaba al momento una cantidad de electricidad suficiente para cargar un condensador.

Segun las esperiencias de Sir H Davy resulta que en

(1) Véase la nota de Mr. Haüy *Annales de Chimie et de Physique*, année 1817.

las combinaciones químicas en que el desprendimiento de calor es considerable hay siempre desenvolvimiento de electricidad.

Segun las esperiencias de Becquerel resulta tambien que la combinacion de un óxido ó de un ácido con un alcali desenvuelve electricidad.

De los fenómenos termo-eléctricos.

Entre los descubrimientos mas curiosos debemos señalar el de Mr. Sécbeck que halló que el calor puede desenvolver electricidad en los metales puestos en contacto. Para observar este fenómeno se sueldan juntos bismuto y cobre ó bismuto y antimonio dandoles la forma de un paralelogramo ú otra figura tal que los metales den lugar á un cuadrado completo. En seguida se calienta una de las soldaduras y se produce la electricidad que circula en el interior de los metales. Como esta electricidad es insensible á los electróscopos ordinarios, para manifestarla se ha recurrido á la aguja imantada que se coloca para esto cerca de los dichas metales y paralelamente á su direccion, y se observa que la corriente se dirige del cobre al bismuto en la parte que no se ha calentado.

De los pescados eléctricos.

Uno de los mas interesantes fenómenos de la fisiología es el que nos presentan los pescados eléctricos. Se cuentan hoy de siete á ocho especies.

La propiedad que tienen de producir electricidad parece depender probablemente de un órgano celularo dispuesto de una manera análoga á las planchas de una pila voltaica. Las conmociones que pueden producir las terpillas y los gymnosos son algunas veces considerables y "es una temeridad, dice Mr. Humboldt, esponerse á las primeras conmociones de un gymnosu fuertemente irritado. Si por casualidad se recibe un golpe antes que el pescado esté herido ó fatigado, el dolor y el entorpecimien-

to son tan violentos, que es imposible explicar la naturaleza del sentimiento que se experimenta. No me acuerdo de haber recibido por la descarga de una gran botella de Leyden una conmocion mas espantosa, que la que sentí colocando imprudentemente los dos pies sobre un gymnosos que acababan de sacar del agua. Todo el dia permanecí afectado de un vivo dolor en las rodillas, y en casi todas las articulaciones.”

Segun el mismo Mr. Humboldt los caballos salvages, que algunas veces se sumergen en los mares ó los rios que contienen gymnosos sucumben á las conmociones que experimentan, y sin embargo los señores Humboldt y Bomplandt no han percibido la mas pequeña chispa cuando el pescado fuera del agua obraba como en el seno de este líquido.

Añadiremos aun como particularidad muy notable, que Mr. de Humboldt no ha observado electricidad ni aun con el electrómetro condensador, y que Mr. Gay-Lussac ha notado, que una persona aislada que toca una torpilla no experimenta conmocion sinó cuando el contacto es inmediato, y ninguna cuando el pescado toca á un cuerpo muy conductor como un metal.

Segun lo que hemos dicho no es de admirar que á la manera que se ha hecho aplicacion, aunque desgraciadamente sin resultado apreciable, de la electricidad á la curacion de las parálisis, se hayan empleado tambien las torpillas y los gymnosos á la curacion de esta misma enfermedad.

CAPITULO XIII.

Del Magnetismo.

FENOMENOS GENERALES.

La mayor parte de los trozos minerales de óxido de hierro, en los cuales este metal no está en su máximo de oxidación, tienen la propiedad de atraer el hierro, el acero, el cobalto &c. El mineral entonces toma el nombre de imán derivado de una palabra griega, como igualmente la expresión magnetismo, por la cual se designan los fenómenos producidos por este mineral.

Cuando se rueda un imán sobre limaduras de hierro y se le separa en seguida se observa que las partículas del metal se han adherido aunque desigualmente sobre distintas partes de su superficie (*fig 171*). Se llama polo el punto de cada mitad del imán en que las limaduras se adhieren en mayor abundancia. Un imán tiene siempre dos polos, los cuales están separados por una línea media, esto es, por una zona que rodea el imán, y sobre la cual las limaduras no se fijan. La línea media está ordinariamente situada á igual distancia de los polos.

La acción magnética se ejerce á distancia al través del aire, del cristal, la madera y todas las sustancias. Los imanes no pierden su propiedad por el contacto y no necesitan aislarse.

Las limaduras de hierro ó los alambres de este metal puestos en contacto con un imán adquieren y conservan la propiedad magnética, mientras tocan el imán, y vuelven á su estado primitivo cuando se apartan de él. Los alambres de acero por el contrario adhieren con menos facilidad al imán, pero conservan la virtud magnética largo tiempo, y gozan de las mismas propiedades que un imán natural. Efectivamente un alambre ó una barra de acero imantado atrae el hierro, el acero, el cobalto &c. se cubre de las limaduras del hierro, y estas se disponen en su superficie lo mismo que sobre un imán natural, y finalmente se observan en él tambien dos polos separados por una línea media. Una barra ó un alambre así imantado se llama *imán artificial*.

Si se suspenden libre y horizontalmente uno ó muchos imanes naturales ó artificiales se observa que todos afectan la misma direccion. En Europa esta direccion es á corta diferencia nor-noroeste y sud-sudeste. Las estremidades de un imán que se dirijen hácia un mismo polo del globo poseen todas el mismo magnetismo: y si se aproximan unas á otras se observa que se repelen mútuamente, mientras que por el contrario se atraen las estremidades que han recibido magnetismos diferentes.

Quando se presenta uno de los polos de un imán á una aguja imantada, libre en un plano horizontal, es solicitada á la vez por los dos polos del imán, pero no obedece sino á la accion del polo mas inmediato, de tal suerte que vuelve aquel de sus polos que es atraído y si se le pone equilibrada y se le cambia, adquiere su primitiva direccion despues de un cierto número de oscilaciones.

La accion de la tierra sobre la aguja imantada es análoga á la de un imán, por que si despues de haber suspendido libremente y en situacion horizontal una aguja imantada se le separa de su posicion de equilibrio, la adquiere nuevamente despues de una serie de oscilaciones. Partiendo de este hecho se han considerado dos magnetismos, que para distinguirlos uno

de otro se han nombrado diversamente. Se llama *boreal* el que domina en la parte boreal del globo, y *austral* el que domina en el hemisferio de este nombre. Segun esto se vé, que es menester considerar la estremidad del iman que se dirige al norte como el polo austral, y la que se inclina al sud como el polo boreal.

Una barra ó un alambre de acero imantado suspendido horizontalmente se dirige, y toma como hemos dicho una direccion determinada: en Paris esta direccion difiere poco del meridiano terrestre, y el angulo que forma con este meridiano es lo que se llama *declinacion de la aguja imantada*. Se llama *meridiano magnético* el gran círculo de la esfera que pasa por la direccion de la aguja en un lugar cualquiera.

El *ecuador magnético* es el gran círculo de la esfera cuyo plano es perpendicular al meridiano magnético. El ecuador magnético está inclinado 10° ó 12° sobre el ecuador terrestre.

Cuando se coloca una aguja imantada por su centro de gravedad sobre un eje que le sea perpendicular y esté fijo en la mitad de su longitud, se nota que no se mantiene horizontalmente. En Europa, ó mejor en todo el hemisferio boreal, la estremidad austral de la aguja se inclina hacia el horizonte, mientras que en el hemisferio austral la estremidad boreal es la que produce el mismo fenómeno. Así en Paris por ejemplo, la estremidad austral de la aguja pasa por debajo del horizonte y la estremidad boreal por encima. El angulo que forma la aguja con el horizonte se llama *inclinacion de la aguja imantada*. Esta inclinacion no es constante en un mismo lugar: en Paris era de $69^{\circ} 51'$ en 1798, y de $68^{\circ} 35'$ en 1818; pero es todavia mucho mas variable pasando de una latitud á otra: por que si se lleva una aguja así inclinada hácia el ecuador magnético, se vé que se mantiene horizontalmente en estos lugares, y que se inclina tanto mas en uno ú otro sentido cuanto mas se aprocsima á uno de

los polos del globo. Véase este aparato (*fig 172*). Mr. Gay-Lussac ha observado que á una elevacion de 8400 varas en la atmósfera la influencia magnética del globo no habia disminuído en la brújula.

El carbono no es el solo cuerpo que combinado con el hierro le dá la facultad de conservar el magnetismo: el fósforo, el estaño, y el arsénico le suministran tambien esta propiedad aunque en menor grado (Mr. Gay-Lussac).

Los imanes pierden su fuerza magnética cuando se calientan hasta enrojecerlos, y lo mas notable es que en este estado se comportan respecto al magnetismo como lo haría un fragmento de una substancia no magnética.

Ley que siguen las atracciones y repulsiones magnéticas.

Por medio de la balanza de torsion se puede determinar esta ley: la fuerza que las produce, como la de las atracciones y repulsiones eléctricas, está en razon inversa del cuadrado de las distancias. (Coulomb).

De la cosntruccion de los imanes.

El mas simple procedimiento de imantacion consiste en poner en contacto por algun tiempo con un imán un alambre ó barra de acero al cual se le quiere comunicar la propiedad magnética, pero este procedimiento solo produce una debil imantacion. Se dá al acero mayor fuerza magnética haciendo resbalar sobre su superficie y en toda su longitud el polo de un imán muy poderoso. Este procedimiento conocido con el nombre de *método del simple toque*, nunca se ha empleado para imantar gruesas barras de acero, pero es de un uso muy frecuente cuando se trata de desenvolver el magnetismo en alambres de acero de pequeño diámetro y de poca longitud.

Método del doble toque.

Este método que es muy preferible al anterior consiste en frotar una barra de acero con dos imanes, poniendo los polos de nombre contrario en medio de la barra que se quiere imantar é inclinando sobre ella cada imán de modo que forme un ángulo de 15 á 20 ° como representar la fig. 173 haciéndolos resbalar despues en esta posicion hasta cada una de las estremidades de la barra, dirigiéndolas despues al medio, haciéndolas resbalar de nuevo, y asi sucesivamente, de modo que al cabo de cierto numero de fricciones la barra se encuentra fuertemente imantada.

Obrando asi se vé que cada estremidad de la barra posee el magnetismo de nombre contrario al del polo del iman con que ha sido frotado. El método del doble contacto parece obrar con mas energía cuando se hacen reposar las estremidades de la barra que se quiere imantar sobre los polos opuestos de dos imanes poderosos (*fig 174*). y que ademas se froten como anteriormente, debiendo advertirse que es necesario, que los polos de los imanes frotantes sean del mismo nombre que los de los imanes sobre que reposa la barra.

Para esplicar el desenvolvimiento del magnetismo se supone que el acero, el nikel, el cobalto &c. contienen los dos fluidos magnéticos á la manera que un cuerpo en el estado natural posee las dos electricidades, y que frotando una barra de acero, nikel, ó cobalto &c. con el polo de un imán, el magnetismo de este polo separa los dos fluidos boreal y austral de la barra, y concluye por fijarlos en cada una de sus mitades.

De los puntos consecuentes.

Se llaman asi uno ó muchos puntos donde se reunen dos polos opuestos en una barra que se iman-

ta. Un imán puede tener dos, tres, ó mas puntos consecuentes. Una barra semejante suspendida horizontalmente por un hilo de seda tal como sale del capullo no sigue la direccion de la aguja imantada.

De las armaduras.

Las armaduras son unos pedazos de hierro dulce que se aplican sobre los polos de los imanes, y cuyo objeto es conservar y acrecentar su virtud magnética. La fig. 175 representa una piedra imán provista de armaduras.

Llámase *contacto* á un pedazo C (fig 175) de hierro dulce que se aplica sobre los polos de un imán, y en el que se fija un pequeño vaso de cobre destinado á mantener pesos. Se coloca en el vaso la carga que el imán puede sostener y se deja este cuerpo adherente al imán. Al cabo de algunos dias se vé que puede aumentarse este peso, y despues de algunos meses el peso que puede levantar el imán es muy superior al que levantaba primitivamente. Pero es un hecho muy notable, que si cuando un imán tiene el maximun de carga que puede sostener se le añaden nuevos pesos para quitar el contacto, ó bien que se le quite repentinamente de cualquier modo que sea, el imán no puede sostener la carga que levantaba algunos segundos antes. Este hecho no ha recibido todavia ninguna explicacion.

La forma que se dá á los ímanes artificiales puede ser muy vária; por lo regular se le dá la de una herradura, de un semicírculo, ú otra. Los imanes naturales tienen siempre la figura cúbica, ó la de un paralelepipedo.

Los imanes naturales no recobran sino muy difícilmente su virtud primitiva, cuando por una causa cualquiera llegan á perder su magnetismo; los imanes artificiales por el contrario la vuelven á adquirir muy fácilmente.

De la distribucion del magnetismo.

Se puede tener una idea de la distribucion del magnetismo en una barra regularmente imantada envolviéndola en limaduras de hierro dulce, ó presentando sus diferentes puntos á una aguja imantada: en el primer caso se observa que las limaduras adhieren en mayor cantidad hacia las dos estremidades que hacia la mitad del imán: en el segundo caso la aguja se agita menos cuando está frente al centro de la barra que hacia sus estremidades.

Tambien se puede formar idea de la distribucion del magnetismo en una barra regularmente imantada ensayando los pesos que por la simple atraccion puede sostener en sus diversos puntos. en este caso se observa, que los pesos en una barra de dos lineas de diámetro y de media vara de longitud van en aumento desde las estremidades hasta la distancia de cuatro ó cinco lineas, y que pasado este punto disminuyen de tal suerte, que al llegar á tres ó cuatro pulgadas son enteramente nulos. Los pesos que puede sostener una barra regularmente imantada son iguales hacia cada una de sus estremidades.

No siendo susceptibles de una grande exactitud los métodos que acabamos de esponer vamos á describir el siguiente procedimiento, que Coulomb ha dado á conocer. Consiste en suspender horizontalmente en la balanza magnética un alambre de acero imantado dirigido de manera que cuando corresponda al 0 de la division se halle colocado en el meridiano magnético. En el plano de este meridiano y frente al cero de la division se dispone verticalmente una regla de madera de una á dos lineas de grosor, de tal modo que el alambre imantado se aplique á ella: al otro lado de esta regla, y á lo largo de una ranura practicada en su grueso, se hace decender un alambre de acero semejante al primero, y cuyo polo inferior es del mismo nombre

que aquel á que se le presenta. El alambre horizontal que representa la aguja de la balanza eléctrica ordinaria es repelida por la fuerza de los dos magnetismos; pero torciendo el alambre de suspension por medio del micrometro se sobrepuja la repulsion magnetica, y se coloca el alambre muy cerca de la regla y en la misma posicion que antes. Se puede prescindir de la accion magnética del globo, por que el alambre horizontal está en el plano del meridiano magnético; y que por otra parte los puntos del alambre vertical que están á algunas lineas por encima ó debajo del cruzamiento no contribuyen á la repulsion por su distancia y la oblicuidad de su accion. Puede pues considerarse que la torcion del alambre de suspension representa la intensidad de la repulsion magnética. Como hemos dicho que la fuerza atractiva ó repulsiva no es la misma en todos los puntos de una barra imantada, se sigue que, si se presentan sucesivamente todos los puntos del alambre vertical á la accion del polo repulsivo del imán horizontal haciendo resbalar el alambre vertical á lo largo de la regla, será necesario torcer un número de grados diferentes el alambre vertical, para mantener el alambre horizontal cerca de la regla, y estas diferentes torciones que se le imprimiran serán proporcionales á la intensidad del fluido magnético, estendido sobre la mitad de este imán vertical, y consiguientemente sobre toda la barra, pues que está imantado de un modo simétrico, á no ser que contenga puntos consecuentes.

Modificando el procedimiento descrito ha dado Coulomb un medio de valuar la intensidad de una barra magnetica: este nuevo método consiste en colocar el alambre horizontal en el meridiano magnético como anteriormente, separarlo despues de esta posicion, y contar durante un tiempo dado el número de oscilaciones que ejecuta, cuyo número depende de la accion del globo. Los fisicos han demostrado que la accion del globo es proporcional al cuadrado del número de estas oscilaciones. Cou-

lomb hace despues oscilar el alambre horizontal presentandole el alambre vertical, que aumenta la rapidez de las oscilaciones, y por consiguiente su número en un tiempo dado: restando el primer número del segundo se tiene la valuacion de la influencia del alambre vertical.

Obrando de este modo es como Coulomb descubrió la posicion del *summum* de fuerza magnética, que él llamó *centro de accion de la barra imantada*. También halló que no es en las estremidades de la barra donde la fuerza es la mayor posible, sino á distancias mas ó menos grandes segun la longitud de la barra, como por ejemplo á 11 líneas si la barra tiene treinta pulgadas. Se ve pues segun esto, que si se representa por líneas perpendiculares á la barra la intensidad de su magnetismo, estas líneas producirán una curva que será insensible partiendo desde el centro hasta una pequeña distancia del *summum* de intensidad, en cuyo punto se les verá formar una curva muy rápida, pero que disminuirá despues repentinamente pasando este punto y llegando á la estremidad de la barra.

Accion magnética del globo.—Declinacion.

Hemos hablado del meridiano magnético sin advertir que no era esactamente un círculo como el meridiano astronómico, sino mas bien una curva cuyas sinusosidades son totalmente irregulares y aun variables, de manera que en 1580 el meridiano magnético formaba en Paris un ángulo de $11^{\circ} 30'$ con el meridiano astronómico; que en 1653, los dos meridiáanos coicidian, y que en fin el meridiano magnético ha pasado al oeste formando un ángulo que ha crecido siempre hasta 1818, época en que era de $22^{\circ} 26''$ para retrogradar y aprocsimarse al meridiano celeste.

Se conoce el valor de estos ángulos observando la brújula que se halla colocada en el meridiano magnético. Véase este aparato fig. 176.

Añadiremos aun que el ecuador magnético no es un círculo perfecto que corta el ecuador terrestre; sino una curva sinuosa que se acerca mas ó menos á el ecuador terrestre.

Variaciones diurnas.

Observando una aguja imantada durante un dia se nota que está sometida á movimientos periódicos, que se dirigen de oriente á occidente desde por la mañana hasta una hora despues del medio dia, y en sentido inverso desde esta hora hasta por la mañana. En todos los lugares de la tierra, y en los diferentes meses del año, esta variacion no es la misma. En Paris es de 9' en el mes de diciembre, y de 14' en el mes de junio, y estos son los dos puntos extremos de su variacion.

No hablaremos aquí de las circunstancias que influyen instantaneamente sobre la aguja, como las auroras boreales, el rayo y otros metéoros. Sin embargo creemos deber señalar un hecho recientemente descubierto por el ilustre astrónomo y fisico frances Mr. Arago, hecho que en el estado actual de la ciencia no puede esplicarse, porque parece hallarse en contradiccion con los fenómenos conocidos hasta el dia. En efecto él inclina á creer que todos los cuerpos tienen una accion sobre la aguja imantada, mientras que el hierro, el nikel, el cobalto, y algunos de sus compuestos son los solos cuerpos susceptibles de imantacion. Mr. Arago ha visto que haciendo oscilar una barra imantada por cima de un disco de una substancia cualquiera, el número de estas oscilaciones es mucho menor, que cuando se quita este cuerpo extraño. La esperiencia puede hacerse de una manera mas convincente todavia poniendo la barra al abrigo de todos los movimientos que pueda producir el aire, é imprimiendo al cuerpo extraño un movimiento de rotacion, durante el cual se manifiesta de tal manera la influencia, que la barra misma adquiere un movimiento giratorio.

CAPITULO ZIV.

Electro-dinámica.

Esta nueva parte de la física, que tuvo en un principio el nombre de electro-magnetismo, ha tomado su origen en una época muy reciente. No es ciertamente hasta 1819 cuando Mr. OErstedt natural de Copenhague é individuo de aquella Academia, observó la acción de una corriente de electricidad voltáica sobre la brújula. Se establece una corriente haciendo comunicar por un alambre las dos estremidades de una pila en actividad, y se experimenta su influencia sobre la brújula aprosimando esta á una porcion cualquiera de este alambre. Desde esta época muchos físicos hábiles se han ocupado de investigaciones sobre el mismo objeto; pero Mr. Ampère es el que las ha llevado á su último punto; y demostrado que todos los fenómenos se reducen á dos hechos generales, que son la acción directriz, y la acción atractiva ó repulsiva.

De la acción directriz.

Si se ponen en comunicacion como acabamos de decir las dos estremidades de una pila, y se coloca una aguja imantada sea en la parte superior ó en la inferior

de su alambre, esta se desviara del meridiano magnético en diferentes sentidos, que podrán anunciarse segun la regla siguiente. Si se supone un hombre colocado en el interior del alambre conductor de modo que la corriente vaya de sus pies á su cabeza, esto es, que sus pies se dirijan hacia el polo positivo (suponemos que la corriente se verifica desde el polo positivo al negativo, aunque del mismo modo podria suponerse lo contrario), y supongamos ademas que este hombre tenga vuelto el rostro hacia el lado de la aguja: esta será desviada siempre de tal modo, que el polo austral se dirija constantemente á la izquierda de este hombre por la accion de la corriente. La nueva posicion que toma la brújula será perpendicular á la del alambre, si el magnetismo terrestre no contraria su accion inclinando la aguja á volver al plano de su meridiano. Para probarlo basta poner la brújula independiente de la accion terrestre, fijando la aguja imantada sobre un eje al cual se dá la direccion de la aguja de inclinacion.

De la accion repulsiva y atractiva.

Cuando se presenta á la aguja imantada el alambre conductor, de modo que sus direcciones sean perpendiculares entre sí, y que el polo austral de la aguja esté á la izquierda de la corriente, esto es, en la posicion que deben tomar el alambre conductor y el iman en virtud de su accion mútua, estos se atraen recíprocamente. Para que esta accion se verifique es menester que la linea recta perpendicular, que mide la mas corta distancia entre el alambre y la aguja imantada, caiga entre los dos polos de esta; por que como ha observado Mr. Ampère, si la linea cayese sobre el polo mismo la accion seria nula, y si cayese mas allá habria repulsion.

De la accion recíproca de las corrientes eléctricas.

Mr. Ampère demostró poco despues del des-

cubrimiento de Mr. OErstedt, que dos corrientes eléctricas se atraen cuando se dirigen paralelamente en el mismo sentido, y se rechazan cuando sus direcciones paralelas son opuestas. El mismo descubrió después, que lo mismo se verifica cualquiera que sea el ángulo de los dos alambres, recto, agudo, ú obtuso; de suerte que siempre hay atracción, cuando las corrientes de los dos alambres van alejándose ó aproximándose al vértice del ángulo formado por los dos alambres, y repulsión en el caso que uno va aproximándose y alejándose el otro.

Antes de avanzar mas adelante daremos á conocer diferentes resultados de la acción de las corrientes sobre los cuerpos imantados, y de la imantación que ellas pueden producir.

El mejor medio de imantación consiste en colocar una aguja ó barra de acero en una espira (fig. 177) formada con un alambre de cobre por la que se hace pasar una corriente eléctrica. Algunos segundos bastan para dar á la barra ó aguja un magnetismo duradero, y cuyos polos se cambian si se repite la esperiencia en la misma aguja cambiando la dirección de la corriente. Si en la espiral que se emplea el alambre vá de izquierda á derecha en un cierto número de vueltas, y en seguida á la inversa, esto es, de derecha á izquierda, para tomar después su primera dirección, cada punto de la barra colocado en la espiral correspondiente á los cambios de dirección del alambre que la compone, recibe un polo que se llama punto consecuente.

Observaremos sin embargo que los metales no susceptibles de magnetismo por los medios ordinarios, obran como cuerpos imantados, cuando se hacen pasar por ellos las corrientes: así un alambre de plata atrae las limaduras de hierro ó de acero como un imán ordinario: recordaremos además que M. Faraday ha obtenido la rotación de un imán sobre su eje haciendo sumergir en mercurio esta barra imantada, por medio de un contrapeso de platina, y haciendo pasar por ella una corriente de electricidad

de una pila en que uno de los polos comunicaba con el mercurio en que se sumergia, y otro terminaba en una pepueña cavidad hecha en la estremidad superior de la barra, y contenia mercurio para transmittir el fluido sin que el aparato experimentase frotacion durante su movimiento.

Facilmente se conoce que cambiando la direccion de la corriente se cambia tambien el sentido de la rotacion de la barra.

De la accion de la tierra sobre las corrientes voltaicas.

Despues de haber visto que las corrientes dirijen la aguja imantada, y que ésta es tambien dirigida por la tierra, debia llegarse al hecho curioso de que la tierra obraba sobre la corriente eléctrica; y las consecuencias que Mr. Ampère ha llegado á deducir son las siguientes.

1.º *Una corriente vertical, móvil al rededor de un eje vertical, se dirige por la accion del globo al éste del mismo eje, cuando ella descende en el conductor móvil, y al oeste del dicho eje cuando vá ella ascendiendo; el plano que en la posicion de equilibrio pasa por esta corriente y por el eje es en los dos casos perpendicular al meridiano magnético. De esta experiencia Mr. Ampère ha llegado á deducir que hay en el interior del globo corrientes eléctricas, que casi dan á la brujula la direccion de norte á sud.*

2.º *No pudiendo moverse un conductor horizontal sino paralelamente asi mismo, es siempre rechazado por la accion terrestre al hemisferio boreal á la izquierda del observador que se suponga, colocado en la corriente, y cuya cara esté vuelta hácia el globo terrestre, cualquiera que sea el acimut ó circulo vertical de la corriente. Asi, suponiendo con Mr. Ampère dirigida la corriente del este al oeste, el conductor se dirige al medio dia; y como en este caso es atraído por la corriente media, equivalente á todas las*

corrientes terrestres, y esta corriente vá del éste al oeste, resulta que esta se halla situada al medio día del lugar en que se hace la esperiencia.

3. \ominus Un conductor horizontal móvil al rededor de un eje vertical, que pase por una de sus estremidades dá vueltas con un movimiento continuo que se efectua en la direccion del este, sud, oeste y norte cuando vá de la circunferencia al centro, y en sentido opuesto cuando vá del centro á la circunferencia. De esta esperiencia resulta, segun Mr. Ampère, que la corriente media está situada al sud del lugar en que se hace la esperiencia.

Quando en un conductor circular (*fig. 178*), móvil al rededor de su eje y casi cerrado, se hace pasar una corriente eléctrica, se vé que se dirige por la accion de la tierra; y esta direccion es tal, que la porcion del conductor en que la corriente está descendente se dirige al éste, y la otra, ó sea la ascendente se inclina al oeste. El mismo fenómeno se produce si en vez de emplear un simple alambre conductor se emplea una espira de alambre (*fig. 179*), cuyo eje horizontal puede girar al rededor de una línea vertical que pase por su mitad. Si se emplean dos espiras se verá que sus estremidades del mismo nombre, ó lo que es igual, las que se dirijen hácia el mismo punto del globo se repelen mutuamente, y las que se dirijen á los puntos directamente opuestos se atraen, ó bien que la estremidad que se dirige hácia el norte atrae la que se dirige hácia el sud en otra espira. La accion de dos corrientes entre si, es la misma que la de dos imanes, y que la de un imán sobre una espira.

De aquí resulta que deben tomarse estas precauciones, para sustraer los alambres conductores á la accion del globo, como lo indicaremos mas adelante. (1)

¶ (1) En este lugar y bajo el epigrafe de *multiplicador*, trae el autor la descripcion de un instrumento complicado y difícil de concebir en lámina y descripcion, y cuyo objeto, como el de otros varios de que igualmente trata en el mismo párrafo, es el de manifestar las propie-

CAPITULO XV.

De la Optica.

NOCIONES GENERALES.

La óptica es aquel ramo de la física que trata de la luz. Se divide en dos partes, la catóptrica que tiene por objeto el estudio de la luz refleja en la superficie de los cuerpos, y la dióptrica que tiene por objeto el estudio de los fenómenos que presenta la luz atravesando los cuerpos transparentes. Dos sistemas principales se han establecido sobre el modo de obrar de la luz, que han prevalecido alternativamente. Newton suponía que la luz emanaba de los cuerpos, y que las partículas luminosas eran arrojadas con una velocidad inconcebible; esta hipótesis, que se ha llamado *sistema de la emana-*

ciones electro-dinámicas, ó sea la acción de una corriente de electricidad voltaica sobre la aguja imantada, bien aislada ó libre de la acción terrestre sobre esta corriente, ó bien abandonada al influjo que la tierra ejerce sobre ella. Estos aparatos necesariamente delicados, de poca vista, y sujetos á frecuentes alteraciones no pueden formar parte de los gabinetes destinados á las clases públicas, y por estas razones me he tomado la libertad de suprimir esta pequeña parte del original por creerla innecesaria en una obra que juzgo á proposito para la enseñanza de la juventud.—(N del T.)

cion ó de la emision, ha sido admitido por un gran número de sabios.

La hipótesis de Descartes es el *sistema de las undulaciones*. En este se supone que ecsiste en el espacio, que separa todas las partes de la materia que componen el sistema del mundo, una sustancia que se llama *ether*; este ether no está solamente estendido en el espacio, sino que se halla tambien en los intervalos estremadamente pequeños que dejan entre si los átomos que componen la materia, de manera que los cuerpos estan, por decirlo asi, sumergidos en el ether como lo está una esponja en una masa de liquido. En este caso se sabe por experiencia que todos los intervalos que dejan las partes de la esponja están llenos de liquido, y que este liquido puede moverse con una gran facilidad. Otro tanto sucede al éther; y aun es necesario concebir que este fluido se mueve ya en el espacio, ya en la materia, con una velocidad que podemos siempre concebir, pero de que ningun ejemplo se nos ha presentado hasta ahora en la naturaleza. El éther es una sustancia muy elástica, imponderable, y sin color.

Se supone que el éther está constantemente agitado, y que este movimiento es el que produce la luz.

El sistema de la emision, siendo mas sencillo y fácil de concebir, y esplicando además un gran número de fenómenos relativos á luz, se hallará mas frecuentemente en este capítulo.

De la velocidad de la luz.

La velocidad de la luz es muy grande, pero su propagacion no es instantánea. Roemer, sabio danés, es el primero, que observando los eclipses de los satélites de Júpiter ha demostrado, que la luz que sale del sol tarda 8' 13" en llegar á la tierra; de donde se vé que la luz corre treinta y dos millones de leguas en un espacio de tiempo que es sen-

siblemente nulo con relacion á la inmensa distancia que separa la tierra del sol.

De la propagacion de la luz.

Cuando se hacen entrar por una abertura muy estrecha en la cámara oscura los rayos solares se observa que la direccion que toman es en línea recta. Puede uno asegurarse aun mas de que la propagacion de la luz se hace en línea recta colocando un cuerpo opaco entre el ojo y el cuerpo luminoso: en el momento el cuerpo luminoso deja de verse, lo que prueba que la luz se propaga en línea recta.

De la disminucion de la intensidad de la luz.

La intensidad de la luz decrece en razon del cuadrado de la distancia. Para probarlo supongamos un cuerpo iluminado, esto es, presentando la base de un cono luminoso; si se aleja este cuerpo á una distancia doble de la primitiva al vértice del cono, la superficie que ocupará la base será cuadrupla, y la luz será cuatro veces menos intensa, por que iluminará una superficie cuatro veces mayor.

De las sombras.

Puesto que la luz se propaga en línea recta se sigue de aquí, que si un cuerpo opaco se halla en la direccion de algunos rayos luminosos, este cuerpo no será iluminado sino por un lado, y formará detras de él una sombra que es tanto mas oscura cuanto mas fuerte sea la luz.

La sombra de un cuerpo no es casi nunca bien clara, esto es, ella se rodea siempre de otra sombra mucho mas debil que se llama penumbra.

§ I.

CATOPTRICA.

DE LA REFLECCION DE LA LUZ.

La catóptrica, ó el tratado de la luz refleja, tiene por objeto determinar la dirección que sigue la luz cuando cae sobre superficies bruñidas.

Cuando un rayo luminoso cae sobre una superficie se dobla hácia el medio que habia atravesado. Se llama *ángulo de incidencia* el ángulo formado por la primera dirección del rayo luminoso con la superficie de reflexión; y *ángulo de reflexión* el formado por la nueva dirección del rayo con la misma superficie. La esperiencia manifiesta que el ángulo de incidencia es igual al de reflexión, y que estos ángulos estan colocados en un mismo plano perpendicular á la superficie reflejante.

De los espejos planos.

Si suponemos un punto luminoso S situado frente á un espejo metálico AB, es evidente que este punto luminoso envia rayos en todas direcciones. Sea SR (*fig. 280*) el que caiga sobre el espejo AB, este rayo es reflejado segun la dirección RS', y esta dirección forma con la perpendicular RP al espejo, un ángulo S'RP igual á SRP. Se llama SR, *rayo incidente*, RS' *rayo reflejo*: de donde se vé que el ángulo formado por el rayo incidente con la perpendicular RP es igual al ángulo formado por el rayo reflejo con esta misma perpendicular, y asi el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Posicion de la imágen de un cuerpo detras de una superficie plana reflejante.

Los rayos de luz SA, SC, SD, que parten de un punto luminoso S (fig. 181) cayendo sobre un espejo AB, son enviados al ojo, y forman reflejando ángulos de reflexion iguales á los de incidencia; las direcciones de los rayos reflejos prolongados irán á cortarse sobre la perpendicular pP en un punto S' y á la distancia $pS' = pS$, asi el punto S se representa en S' detras del espejo á una distancia pS' igual á la distancia pS .

Cuado un espejo está inclinado hácia adelante 45° la imágen de un objeto vertical se vé horizontalmente detras del espejo. Siendo la misma la inclinacion del espejo la imágen será vertical si el objeto es horizontal.

Las imágenes de los objetos vistos por reflexion en un espejo plano tienen esactamente la misma forma y tamaño que los objetos mismos; solamente que los imágenes son algo menos brillantes, lo que depende de que el espejo absorbe siempre una parte de la luz.

Se dice generalmente que los objetos vistos en un espejo presentan las imágenes inversas; lo que no es verdad porque las imágenes son simétricas á los objetos y no inversas.

Se puede por medio de los espejos planos multiplicar las imágenes; asi cualquiera puede notar en una sala en que hay colocados dos espejos paralelamente, una infinidad de imágenes, que van debilitandose. Disponiendo dos espejos planos de modo que formen un ángulo mas ó menos agudo puede obtenerse un gran número de imágenes: un efecto de este genero es el que se observa en el instrumento llamado *kalidoscopio*.

De los espejos curvos.

Cuando los rayos luminosos caen sobre espejos cur-

bos es necesario concebir, que la reflexión de cada rayo se hace sobre el plano tangente á la superficie de la curva en el punto incidente. Calculando así se hallará la marcha de cada rayo formando los ángulos de incidencia iguales á los de reflexión con relación al plano tangente. Las superficies curvas pueden ser infinitamente variadas; pero no se emplean mas que espejos esféricos ó parabólicos.

De los espejos cóncavos.

Supongamos un espejo esférico cóncavo *mnb* (fig. 182) el rayo *An* perpendicular á la superficie *mnb* es el eje del espejo.

Coloquemos en *S* un punto luminoso, y designemos por *Si* el rayo incidente enviado á la superficie del espejo. Si desde el punto *i* al centro de la esfera, de que es parte el espejo, se tira la normal *iC*, y que forme el ángulo *CiB* igual á *CiS* del otro lado de la normal, *iB* será la dirección del rayo reflejo.

No siendo la imagen de un objeto mas que la reunión de diferentes rayos enviados por este objeto, cuando se sabe determinar la imagen dada por un solo punto, es fácil hallar la que es producida por muchos rayos emanados de un cuerpo de cierta extensión.

Se llama *foco principal* el punto *F* (fig. 183) donde se verifica la reunión de los rayos paralelos; y *principal distancia focal* el intervalo *AF*.

Cuando se presenta un objeto, por ejemplo, una bugía encendida á una distancia bastante considerable de un espejo cóncavo, de modo que los rayos puedan considerarse como sensiblemente paralelos, se observa que la imagen de la bugía se forma casi en el foco principal del espejo, y está inversa, lo que se puede comparar poniendo una pequeña pantalla al foco. Si se acerca el objeto al espejo, la imagen se aproxima al centro de la curvatura, se agranda permaneciendo siempre inversa, y

en fin coincide con el objeto cuando éste está en el centro de la curvatura. Acercando siempre la bugía al espejo se aleja la imágen permaneciendo inversa, pero cuando la bugía llega al foco principal, la imágen se retira á una distancia infinita del espejo, y es tan inmensamente grande que apenas se le puede ver. Pero continuando siempre en acercar el objeto á la superficie del espejo vuelve á presentarse la imágen al otro lado, es recta y muy grande; ella se aprocsima disminuyendose á medida que el objeto se acerca, y cuando el objeto en fin toca la superficie del espejo, la imágen es de igual tamaño y se forma en la misma superficie del espejo. En este caso la imágen no es ya producida por la reunion de rayos luminosos, sino es el lugar ideal de donde los rayos reflejados divergerian si se prolongaran mas allá del espejo.

Los espejos parabólicos se emplean en la construccion de algunos faros para enviar á grandes distancias la luz que se pone en sus focos; por que es una propiedad de la parábola que los rayos que salen de su foco se reflejan paralelamente á su eje.

Los espejos parabólicos se emplean cuando se quiere alumbrar una superficie muy ancha; pero estos espejos reflejan con una gran divergencia los rayos que salen de su foco.

De los espejos convexos.

Los espejos convexos nunca producen imágenes reales, estas siempre son ideales, y del lado opuesto al del objeto. Estos espejos hacen siempre divergentes los rayos que caen en su superficie. El punto donde irian á reunirse los rayos reflejados, si se prolongaran al través del espesor del espejo, se llama *foco virtual*.

Si se presenta un objeto á alguna distancia de un espejo convexo la imágen está derecha, y se presenta en el foco principal, pero mucho mas pequeña que el objeto. A medida que la distancia que

hay del objeto al espejo es menor, la imágen se acerca á la superficie reflejante, y agranda hasta que el objeto llega el espejo sobre cuya superficie es del mismo tamaño y parece que entonces se forma en ella.

El uso de los espejos convecos es muy limitado, algunos pintores se sirven de ellos para disminuir las dimensiones de los objetos. En este caso deben tener poca superficie; de otro modo estan obligados á corregir las porciones, que se pintan lejos de su centro.

De la determinacion de los focos.

Se determina el foco de los espejos de la manera siguiente: si son cóncavos se les presenta á un objeto luminoso muy distante, por ejemplo, al sol, y se recibe la imájen sobre un cristal deslustrado, ó sobre un papel; el punto donde la imájen esté mas viva será el foco, y doblando la distancia se tendrá el rádio de la curvatura.

Si son convecos se pega á su superficie un papel negro atravesado por dos agujeros circulares, colocados á igual distancia del centro de la figura; en seguida se hacen caer sobre el espejo rayos solares, y se medirá su desvio despues de la reflexion á diversas distancias del espejo, de donde se inferirá el punto de concurso que será el *foco principal*.

De la combustion producida por los espejos.

Cuando se reciben sobre un espejo cóncavo rayos solares reflejan, y concurren todos en un punto que es el foco; el calor producido entonces por su reunion es capaz de causar la combustion de un gran número de cuerpos.

La madera colocada en el punto donde se hace la concentracion de los rayos se inflama y carboniza inmediatamente; los metales se funden y volatilizan.

Pueden los espejos cóncavos reemplazarse por un suficiente número de espejos planos colocados de tal mo-

do que los diferentes rayos luminosos se reúnan en un mismo punto.

Sirviéndose de un sistema de espejos compuesto de sesenta y ocho lunas fué como consiguió Buffon inflamar la madera á doscientos pies de distancia, y fundir el cobre y el plomo á cuarenta y cinco pies.

Segun esto no se puede dudar lo que la historia cuenta de Arquimedes, que por medio de espejos ustórios incendió los navios romanos durante el sitio de Siracusa.

§ II.

DIOPTRICA.

De la refraccion de la luz.

La dióptrica tiene por objeto determinar la direccion que sigue la luz atravesando los cuerpos diáfanos. Cuando la luz cae sobre los cuerpos transparentes con cierta oblicuidad penetra en su interior desviandose de su direccion; este fenómeno ó desvio se llama *refraccion de la luz*.

Ley de la refraccion.

Cuando un rayo luminoso cae perpendicularmente en la superficie de un medio transparente no cambia de direccion, y continúa en línea recta; pero si pasa oblicuamente de un medio mas raro á uno mas denso se acerca á la perpendicular, y se desvia por el contrario de esta perpendicular, si pasa de un medio mas denso á otro mas raro.

El desvio ó aproximacion del rayo incidente á la perpendicular es proporcional á la densidad de los medios; la naturaleza química del medio influye sobre la cantidad de refraccion, de manera que los cuerpos combustibles son los que mas refractan la luz.

Si suponemos que AC (fig 184) sea un cuerpo transparente de superficies paralelas, y de mayor densidad que el aire que lo rodea, el rayo incidente S al llegar á I se enconvará acercandose á la perpendicular PG; llegando á I pasará de un medio mas denso á uno mas raro, y se desviará de la perpendicular siguiendo una direccion paralela á la del rayo SI. Se llama ángulo de incidencia al angulo SIP formado por el rayo SI con la perpendicular P elevada en el punto I; y ángulo de refraccion al PIG formado por el rayo II', con la perpendicular PI prolongada.

Cuando el segundo medio es mas raro que el primero el ángulo de refraccion es mayor que el de incidencia: y al contrario, si el segundo medio es mas denso que el primero, el ángulo de refraccion es menor que el de incidencia.

En general la esperiencia ha demostrado 1.º que el rayo incidente, cualquiera que sea su oblicuidad, y el rayo refracto están siempre colocados en un mismo plano perpendicular á la superficie comun que separa los dos medios; y 2.º que la relacion del seno del ángulo de refraccion al seno del de incidencia es constante en un mismo medio bajo todas las incidencias. (1)

Asi cuando la luz pasa del aire al agua el seno de incidencia es al de refraccion, como 4 es á 3; si pasa del aire al cristal, es de 3 á 2; y si del cristal al agua de 9 á 8 &c.

La refraccion de la luz nos da la esplicacion de algunos fenómenos que diariamente se observan. Asi cuando se pone una moneda en el fondo de un vaso cuyas paredes son opacas, estando el ojo en O no puede verse la moneda como no se coloque en el cono de los rayos rr' (fig. 186); pero si se vierte en el vaso cierta cantidad de agua la moneda se vé, y parece mas ele-

(1) En geometría el seno de un arco es la perpendicular PI (fig. 185) tirada de una de las estremidades de este arco sobre el radio RA que pasa por la otra estremidad.

vada de lo que está realmente. Entonces sucede que los rayos rp , rp' son mas refractados alejandose de la perpendicular, por que pasan de un medio mas denso á uno mas raro que es el aire. Colocado entonces el ojo en O vé la moneda en r en la direccion de rayo OI . Del mismo modo se explica por que un baston sumergido en parte en el agua parece quebrado en la superficie de este líquido.

Efectos análogos se manifiestan en los medios cuyas capas son de diferentes densidades.

Supongamos que AB (*fig. 187*) sea un vaso rectangular de cristal muy delgado en el cual se vierte primero acido sulfurico concentrado y despues agua; pero como estas dos sustancias tienen mucha afinidad entre si tienden á combinarse, y en efecto se verifica la combinacion en las capas de agua que están en contacto con el acido sulfúrico. Entonces se obtiene un medio compuesto de capas paralelas de diferentes densidades, y por consiguiente de refracciones diversas, que disminuyen en razon de la altura. Si se pega una tira de papel en p , el ojo puesto en o verá dos imágenes, la una directamente y la otra algo mas arriba é inversa. Para comprender esta esperiencia es necesario suponer que la tira de papel envia un rayo horizontal al través del ácido sulfurico, y que este rayo es recibido por el ojo colocado en o ; despues que otro rayo que sale del mismo punto se dirige hácia las capas superiores compuestas de ácido sulfúrico y agua, y atraviesa estas capas cuya refraccion vá aumentandose. Este rayo sube hasta que la potencia refractaria de las capas superiores le obliga á encorvarse, y á pasar por las que ha atravesado ya: si el aparato está bien dispuesto este rayo llegará al punto o , en donde el ojo verá una segunda imagen inversa en la prolongacion de este rayo.

Se observa un fenómeno análogo en las llanuras del Bajo Egipto: el suelo, que esta formado en parte de arena, se calienta considerablemente por el calor de los rayos solares, y da lugar al fenómeno conocido bajo el nombre de *mirage* ó *espejo ilusorio* observado por Monge.

Por la mañana y la tarde no se vé en aquellas llanuras mas que árboles y algunas poblaciones dispersas aquí y allí, que no ofrecen nada notable; pero luego que la superficie del suelo se ha calentado por la accion de los rayos solares parece el terreno limitado á cinco mil varas de distancia por una inundacion general; los lugares que están mas lejos parecen islas en medio de un gran lago. Al pie de cada poblacion se vé su imágen inversa como sucederia si hubiese realmente al rededor de estos objetos un lago de agua de inmensa estension. A medida que uno se acerca parecen alejarse los límites de esta inundacion, que al fin desaparece enteramente, y la ilusion se reproduce en otro lugar mas distante. Esta ilusion en el desierto es muchas veces cruel, por que presenta vanamente la imágen del agua en el tiempo mismo en que tal vez se tiene de ella mayor necesidad. (Monge.)

Este fenómeno se produce tambien en el mar en tiempos de calma, de manera que los objetos que están en el horizonte parecen quebrados, los navios los mastiles y sus velas presentan imágenes inversas mejor ó peor terminadas: por esta causa han llamado los marinos á este fenómeno *mirage*.

Se esplica el fenómeno del *mirage*, considerando que durante el dia el sol calienta el suelo y que este á su vez calienta la capa de aire que descansa en su superficie; esta capa de aire se dilata haciendose específicamente mas ligera que las que descansan sobre ella; entonces los rayos dirigidos por los objetos hacia el suelo entran bajo una cierta incidencia en la capa dilatada, refractan en ella y van á herir el ojo del observador, que vé al revés la imágen de los objetos colocados á larga distancia sobre la prolongacion de los rayos refractados.

Poderes refringentes de diferentes cuerpos.

En las sustancias sólidas el poder refringente, ó

la relacion de refraccion se obtiene construyendo un prisma recto y triangular con el cuerpo transparente que se quiere observar; despues se hace atravesar un rayo luminoso por este prisma bajo diversas incidencias, y se observa que la relacion de los senos de incidencia y de refraccion es constante en un mismo cuerpo, pero variable en cada sustancia.

Para determinar la relacion de refraccion en los liquidos se contienen estos cuerpos en un vaso prismático, cuyas paredes son de cristales planos y paralelos.

De la misma manera se observa la refraccion de los gases; pero como son menos densos que los liquidos es necesario dar al prisma un ángulo muy grande. Debe tenerse cuidado con la temperatura del gaz, con su presion, y ademas de secarlo anteriormente.

PODERES REFRINGENTES.

NATURALEZA de las SUSTANCIAS REFRINGENTES.	Relacion del seno de incidencia al seno de refrac- cion en la luz a- marilla. n.	Densi- dad de la sustancia refringente. d.	Poder refringente. n^2-1^* d.
Barita sulfatada	23 á 14	4,27	3979
Aire	3201 á 3200	0,0012	5208
Vidrio de antimonio	17 á 9	5,28	4864
Cal sulfatada	61 á 41	2,252	5386
Vidrio comun	31 á 20	2,58	5436
Cristal de roca	25 á 16	2,65	5450
Espato de Islandia	5 á 3	2,72	6536
Sal gemma	17 á 11	2,143	6477
Alumbre	35 á 24	1,714	6570
Borax	22 á 15	1,714	6716
Nitro	32 á 21	1,9	7079
Hierro sulfatado	303 á 200	1,715	7551
Acido sulfúrico	10 á 7	1,7	6124
Agua de lluvia	529 á 396	1,00	7845
Goma arábica	31 á 21	1,375	8574
Espíritu de vino muy rectificado	100 á 75	0,866	10121
Aleanfor	30 á 2	0,996	12551
Aceite comun	22 á 15	0,913	12607
Aceite de linaza	40 á 27	0,932	12819
Esencia timentina	25 á 17	0,874	13222
Ambar	14 á 9	1,04	13654
Diamante	100 á 41	3,4	14556

* Todos los nombres contenidos en esta última columna se han multiplicado por 10,000 para quitar decimales.

Se ve, segun este cuadro, que sustancias de diferentes densidades pueden tener iguales fuerzas refringentes, y que en general las sustancias inflamables tienen un poder refringente mas considerable.

Segun los Sres. Biot y Arago el poder refringente de un cuerpo compuesto es sensiblemente igual á los poderes refringentes de los cuerpos componentes; pero este resultado no es siempre general y esacto.

De las lentes.

Cuando la luz atraviesa los medios refringentes terminados por superficies curvas la direccion que toman los rayos luminosos despues de su refraccion depende de la naturaleza y de la forma de la superficie curva. No se emplean nunca mas que cristales esféricos, por que son los únicos que se pueden construir con esactitud. Estos cristales se llaman *vidrios convexos*, *vidrios cóncavos*, ó simplemente *lentes* que se distinguen en seis especies diferentes.

1. ° Vidrio doblemente convexo ó biconvexo (*fig. 188*)
2. ° Plano convexo. (*fig. 189*.)
3. ° Cóncavo convexo de bordes delgados (*fig. 190*)
4. ° Cóncavo convexo (*fig. 191*) Esta lente es mas delgada en el centro que hacia sus bordes.
5. ° Plano cóncavo (*fig. 192*)
6. ° Doblemente cóncavo ó bicóncavo (*fig. 193*.)

Se puede considerar cada lente esférica como un prisma cuya abertura varía con la lente, y cuyo ángulo refringente es nulo sobre su eje AA de cada una de ellas; pero este ángulo vá aumentando hasta sus bordes.

Si dividen segun esto las lentes en dos clases; la primera comprende aquellas en que la base del prisma está vuelta hácia el eje de la lente; y la segunda aquellas en que la punta del prisma está vuelta hácia el eje: asi las lentes doblemente convexas ó biconvexas, plano convexas, y cóncavo convexas de bor-

des, degaldos, forman la primera clase; las otras tres cóncavo-convexas de bordes gruesos, plano cóncavas, y doblemente cóncavas ó bi-cóncavas forman la segunda.

Observemos ahora los rayos luminosos en su paso al través de una lente, y consideremos primero la lente bi-convexa.

Supongamos que BL (*fig. 194*) representa la lente bi-convexa; entre los rayos que caen sobre esta lente paralelamente á su eje hay uno que coincide con él; este atraviesa la lente en los puntos en que las dos superficies son paralelas sin experimentar desvío, pero los otros rayos incidentes son refractados y van á reunirse en un punto F situado sobre el eje de la lente. Cuanto mas se desvian del eje los rayos incidentes mas considerable es su refracción; ellos se cortan sucesivamente en los puntos E E y estas intersecciones muy próximas una á otra forman, partiendo del punto F, que es la reunión de los rayos que salen mas cerca del eje, dos curvas que se prolongan hasta EE que se llaman *caústicas*. La experiencia manifiesta, que cuando las superficies de las lentes no son mas que una porción de las esferas de las cuales se han tomado, las caústicas no existen, y la reunión de todos los rayos se forma sensiblemente en el punto F que es el *foco principal* de la lente.

Las lentes de la primera clase tienen la propiedad de concentrar la luz en su foco, cualquiera que sea la superficie que se presente á los rayos incidentes, por esto se llaman lentes convergentes.

Si se considera la lente bi-cóncava (*fig. 195*) y se sigue el camino de los rayos que caen paralelamente á su eje sobre una de sus superficies, se vé que los rayos luminosos divergen al salir de la lente, y que por esto no hay foco; pero si se prolongan al través de la lente los rayos refractados irán á cortar el eje en un punto F, situado al mismo lado que los rayos incidentes. Se llama este punto *foco virtual* para distinguirlo del *foco real* producido por las lentes convergentes.

Así las lentes de la segunda clase tienen la propiedad de dispersar la luz por cuya razón se llaman *lentes divergentes*.

En algunos instrumentos de óptica hay necesidad muchas veces de cubrir los bordes de las lentes con anillos circulares opacos que se llaman *diaframas*. Por este medio solo los rayos que caen muy cerca del eje pueden refractarse y producir imágenes claras. La *abertura del cristal* es la porción de la lente que no está cubierta por el diafragma.

Determinación de los focos de las lentes.

Es muy fácil determinar el foco de una lente convergente. Para ello basta que caigan los rayos solares sobre una lente de esta clase y recibir la imagen sobre un papel ó un cartón, el punto en que esta imagen tenga el mayor brillo será el foco, y la distancia entre el foco y la lente dará la distancia focal principal.

No es tan fácil determinar *el foco virtual* de una lente divergente; sin embargo se puede conseguir pegando una lámina de estaño en una de estas lentes sobre la superficie opuesta á la que recibe los rayos solares. Esta lámina se pone atravesada por dos pequeñas aberturas circulares cc' (fig. 196) diametralmente opuestas, y á igual distancia del eje de la lente. Se hace caer la luz solar sobre la superficie descubierta de la lente, y se recibe sobre un cartón los dos rayos de luz refractados RR' hasta que su separación sea doble de la distancia entre los dos agujeros esto es de cc' se mide la distancia oa que es igual á oF , y se tiene la distancia focal principal.

Puesto que las lentes divergentes no forman foco real pareciera que no deben emplearse; pero ellas disminuyen la convergencia de los rayos que llegan al ojo por qué se sabe que si se mira un objeto con una lente cóncava se vé mas pequeño, luego la lente disminuye la convergencia de los rayos que penetran en el ojo.

De la combustion producida por las lentes convergentes.

Si se pone una lente convergente á la luz del sol de manera que su eje coincida con la direccion de los rayos, estos despues de refractarse atravesando la lente ván á reunirse en un punto situado sobre el eje que se llama foco de la lente. Si se esponen diversas sustancias en el foco de la lente, como madera, cobre, plomo &c. en un momento la madera se inflama y el plomo y el cobre se funden: en este caso se dá al vidrio el nombre de *lente ustoria*.

Tschirnausen y Hartroeker han construido lentes ustorias que tenian hasta cuatro pies de diámetro; pero estos cristales son defectuosos; por que sabemos que los rayos luminosos que refractan cerca de los bordes de una lente no se reunen en el mismo punto, que los rayos que atraviesan la lente muy cerca de su eje.

Buffon es el primero que se ha ocupado en la construccion de lentes de escalones para aumentar el poder de las lentes ustorias; pero las formaba de una sola pieza lo que dificultaba mucho su construccion.

En estos últimos tiempos Mr. Fresnel ha llegado á construir estas lentes, pero compuestas de muchas piezas. Ellas gozan como las lentes ordinarias de la propiedad de enviar paralelos los rayos emanados de un punto luminoso colocado en su foco, lo que las hace muy propias para construir faros; pero aventajan mas á estas últimas en que reunen sensiblemente en un solo punto todos los rayos paralelos luminosos que caen sobre su superficie.

Cuando se presenta una de estas lentes á los rayos solares el calor que se produce en su foco es tan escesivo que funde al instante el cobre, hierro &c

De las imágenes producidas por las lentes convergentes.

Sea *mn* (fig. 197) una lente convergente y *SS'* un

objeto puesto mas allá del foco de los rayos paralelos. De las dos estremidades del objeto parten dos conos de rayos dispuestos de tal modo, que despues de haber atravesado la lente se refractan, y van á formar detras de ella sus focos, por ejemplo en ff' entonces se concibe que los rayos convergentes que salen de los puntos intermediarios entre SS' formarán igualmente sus focos entre ff' y resultará de aquí una imágen inversa del objeto que se hará visible si se recibe sobre un disco de cristal raspado, puesto en ff' . El ojo podrá tambien percibir la imágen si está convenientemente colocado, como en O por ejemplo.

Cuando el objeto cuya imágen se recibe está muy lejos de la lente, la imágen se pinta en el lado opuesto, y está sensiblemente en el foco principal del vidrio convergente: pero á medida que el objeto se acerca á la lente la imágen agranda al mismo tiempo que se aleja esta. Cuando el objeto está á una distancia doble de la distancia focal principal, la imágen se pinta en el lado opuesto á la misma distancia, y tiene el mismo tamaño que el objeto; pero siempre se conserva inversa. Si se continúa acercando el objeto la imágen agranda alejándose; y cuando llega al foco principal se aleja al infinito. En fin si el objeto se acerca aun mas llega entre el foco principal y la lente, entonces la imágen pasa al mismo lado del objeto, y está mas lejana que este y por consiguiente mayor; tambien se representa derecha, como diariamente se observa en la *lente de aumento*, ó *microscopio simple*. Cuando el objeto toca la superficie de la lente la imágen tambien la toca, porque el objeto y su imágen coinciden en todos sus puntos.

Supongamos un objeto SS' de cierta estension y colocado del lado allá del foco de los rayos paralelos de una lente mn (*fig.* 198): los grupos de rayos enviados por las estremidades SS' del objeto despues de refractarse atravesando la lente irán á pasar por el ojo situado en O ; pero si se prolongan todos los rayos intermediarios entre ss' sobre la lente se

concibe que las intercepciones de todos estos rayos no coincidirán en un mismo punto, sino que formaran sus focos entre los conos de los rayos dirigidos de SS' é irán á formar sobre la retina la imágen del objeto SS' . De manera que el ojo colocado en O vera la imágen en ss' sobre la prolongacion de los rayos Om On mucho mayor que el objeto.

Segun las dimensiones de la imágen se cree que está mucho mas cerca de la lente que el objeto mismo y este juicio que entonces se forma es falso; para convencerse de ello basta mirar un alambre muy delgado al través de una lente teniendo cuidado que este alambre pase por detras de la lente; si se compara entonces la parte del alambre que se vé por refraccion al través de la lente con la que se vé directamente, se halla que la distancia es mayor en el primer caso que en el segundo.

Medio de corregir la vista lejana ó la presbicia.

Algunas personas, y principalmente los ancianos, ven distintamente los objetos á una gran distancia, mientras que los muy próximos les parecen confusos, esto depende de que el cristalino del ojo no está bastante convesco, y que solamente los rayos que salen de objetos muy distantes son los que forman sus focos sobre la retina, al tiempo que los rayos enviados por los objetos inmediatos convergen detras de ella, lo que hace que estas personas vean estos últimos objetos confusamente. Se da el nombre de *presbites* á los sugetos que tienen esta alteracion de la vista.

Este defecto se remedia colocando delante y muy cerca del ojo un vidrio convesco cuyo efecto es hacer converger los rayos que llegan al ojo para que formen su foco sobre la retina.

De las imágenes producidas por las lentes divergentes.

En las lentes divergentes la imágen se pinta siem-

pre en el mismo lado que el objeto y nunca está inversa, pero siempre es mas pequeña y parece mas distante que el objeto.

Sea mn (fig. 199) una lente plano-cóncava y S un punto luminoso; el rayo Sr enviado por el punto S divergerá despues de haber atravesado la lente, de manera que si el ojo se halla en O , verá el punto S sobre la direccion del rayo OS' . Lo mismo sucederá si se considera un objeto de cierta estension $S S'$ (fig 200); el ojo colocado en O vé el objeto en ss' pero muy pequeño.

Las lentes divergentes disminuyen considerablemente la claridad de los objetos, lo cual es muy fácil comprender; porque los rayos de luz dilatándose por la refraccion penetra menor número de ellos en el ojo, que si los rayos hubieran conservado la separacion que tenian al salir del objeto.

Los objetos vistos por refraccion al través de una lente divergente nos parecen muy distantes, esto es, como puede notarse, lo contrario que sucede en las lentes cóncavas; pero si se hace la esperiencia poniendo un alambre detras del vidrio cóncavo, como hicimos con la lente convexa, se conoce bien pronto que la imágen está mas cerca de la lente que el objeto.

Medio de corregir la cortedad de vista ó la miopia.

Se llaman *miopes* las personas que tienen la vista muy corta; este defecto es causado por la gran convexidad de la cornea y del cristalino; porque los rayos enviados al ojo por los objetos exteriores se refractan y convergen mas acá de la retina. Esto ecsige para que los objetos sean vistos que estén situados muy cerca del ojo para que el angulo formado por los rayos incidentes sea muy grande, y puedan converger estos rayos sobre la retina despues de su refraccion.

Se remedia este defecto aumentando la divergencia de los rayos que llegan al ojo, lo que se consigue

colocando delante del un cristal divergente mas ó menos cóncavo.

Los anteojos ordinarios tienen el inconveniente de no presentar distintamente los objetos que se miran, sino al través de un pequeño espacio (al rededor del centro del vidrio). Esto proviene de que los rayos que salen de los puntos lejanos llegan al ojo por los bordes del cristal bajo una grande oblicuidad, de donde resulta que las imágenes se forman delante de la retina y son absolutamente confusas.

El Dr. Wollaston ha imaginado reemplazar estos anteojos ó lentes por otras que llama *anteojos periscópicos*. La forma que dá a los vidrios es cóncava del lado del ojo, y convexa al lado del objeto. Según esta disposición los rayos que llegan al ojo por los bordes del vidrio están menos inclinados á la superficie refringente que en los anteojos ordinarios y la refracción es menor. Así los objetos que pueden verse por los bordes de estos vidrios son menos confusos que si se vieran por un vidrio ordinario; y permiten al mismo tiempo ver con claridad mayor número de objetos.

§ III.

DESCOMPOSICION DE LA LUZ.

Hasta aquí hemos considerado la marcha de los rayos luminosos al través de los medios refringentes, y hemos mirado estos rayos como simples sin apreciar la *dispersion* que sufren atravesando estos cuerpos. La esperiencia demuestra que los rayos de luz blanca son formados por un conjunto de moléculas simples de diversos colores. Grimaldi habia observado ya, que cuando un rayo solar atravesaba un prisma refringente, el rayo despues de su salida se hallaba algo dilatado, pero estaba reservado á Newton separar los diversos colores que constituyen la luz blanca.

Si despues de haber practicado en el postigo de una cámara obscura una abertura circular de pequeño diámetro se introduce en ella un rayo luminoso, y se recibe sobre un prisma de cristal muy trasparente se desviará de su direccion acercandose al vértice del prisma, lo que se llama *ángulo refringente del prisma*, y en lugar de formar una imágen circular blanca formará una imágen prolongada compuesta de los mas vivos colores colocados en zonas paralelas: esta imágen es el *espectro solar*. Se pueden contar en él siete colores dispuestos en el orden siguiente: *rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, púrpura ó (indigo) y violado*; pero estos colores no están claramente determinados, asi el rojo se superpone algo al anaranjado, este al amarillo y lo mismo los otros, de suerte que ademas de los siete colores principales se distinguen una infinidad de gradaciones diversas.

De esta esperiencia que se hizo la primera vez por Newton, y que ha sido variada de mil maneras se ha deducido, y Newton el primero, que la luz blanca está compuesta de diversos colores, que pueden separarse con el auxilio del prisma y que estos colores son desigualmente refrangibles, esto es, que no siguen la misma ley de refraccion; asi el rojo es el menos refrangible, el anaranjado lo es menos que el amarillo y mas que el rojo, y el violado es el mas refrangible de todos los rayos. Se preguntará ahora, si cada uno de los siete colores que acabamos de observar en el espectro es capaz de descomponerse, y dar por este medio origen á otros colores. Para asegurarse de ello basta que caiga el espectro solar sobre un cuadro atravesado de agujeros, dejar pasar el color que se quiere ensayar, y someterlo despues al través de un segundo prisma. Entonces se observa, que el rayo colorado se refracta al principio, pero tiene esactamente la misma gradacion á la salida del prisma que á su entrada. Obrando del mismo modo sobre los siete colores separadamente se hallará que son todos inalterables, esto es, que no producen ningun otro color. De aqui se ha deducido esta con-

secuencia; que los siete colores principales observados en el espectro son colores *simples* ó *primitivos*. Cada uno de los siete colores simple no ocupa sobre el espectro la misma estension. He aquí según Newton la estension comparativa que tiene cada color suponiendo que la longitud del espectro esté dividida en 360 partes iguales.

El rojo.....	45
El anaranjado.....	27
El amarillo.....	48
El verde.....	60
El azul.....	60
El púrpura (indigo).....	40
El violado.....	80

Pero es evidente que la estension que ocupa cada color varia según la especie de vidrio que se emplea, y estas proporciones no pueden dar mas que una indicacion general de la distribucion de los colores.

Propiedades caloríficas de los rayos.

Rochon es el primer fisico que ha hecho esperiencias sobre el calor de los diversos rayos que componen el espectro, y reconoció que los diferentes colores no comunican al termómetro iguales cantidades de calor. Según este fisico el rayo violado es el menos caliente, y el rojo el que calienta mas: la propiedad de calentar del rojo está á la del violado en razon de 8 á 1.

Principiano por el rayo violado vá el calor en aumento hasta media pulgada mas allá del rojo, donde está en su máximum. M. Leslie, que ha repetido las esperiencias de Rochon ha hallado tambien, que el rayo rojo es mas caliente que el violado en razon de 16 á 1. Según los Sres. Leslie y Berad no hay rayo calorífico ninguno mas allá de los limites del espectro.

Propiedades químicas de los rayos.

Sabemos muy bien que la luz solar tiene mucha influencia en los fenómenos químicos, así su presencia es necesaria en la vegetación, y en un gran número de fenómenos que podríamos citar.

Pero lo más importante de observar es saber si esta propiedad existe en todos los rayos, y si la tienen en un mismo grado. Se ha observado que la reducción del óxido de plata se hace más pronto en el rayo violetado ó más allá de él y fuera del espectro, que en ningún otro rayo. Según Mr. Berard el cloruro de plata puesto cerca de dos horas en el rayo rojo no sufre ninguna alteración, mientras que colocado en el violetado bastan cinco minutos para colorarlo fuertemente.

Propiedades magnéticas de la luz.

Según Mr. Morichini profesor de química en Roma pequeños alambres de acero puestos en el rayo violetado adquieren en poco tiempo la virtud magnética.

Estas experiencias se han repetido en Francia por muchos físicos sin obtener un efecto notable.

Recomposicion de la luz.

Supuesto que la luz blanca está compuesta de muchos colores diferentes, es evidente que si se reúnen en un solo punto todos los colores que dá el espectro, debe formarse la luz blanca, y efectivamente así lo demuestra la experiencia.

Se puede recomponer la luz de dos maneras diferentes por reflexión, y por refracción. En el primer caso se deja caer el espectro solar en la superficie cóncava de un espejo metálico, y con el auxilio de una pantalla muy blanca y transparente que se pone en el foco se recibe la imagen formada

por la reunion de todos los raycs del espectro ; esta imagen es blanca y muy brillante. En el segundo caso la recomposicion se hace dejando caer el espectro solar sobre una lente convergente, y se halla que el foco de la lente donde todos los rayos se reunen es muy blanco : luego la reunion de los siete colores del espectro forman la luz blanca; la luz blanca por consiguiente no es mas que una mezcla de diversos colores.

Colores compuestos producidos por la mezcla de colores simples.

Sí en lugar de reunir todos los rayos del espectro se reunen solo algunos, se imitan mejor ó peor los colores simples. Asi es que reuniendo el rojo y el amarillo se formará el anaranjado : el violado si se mezclan el rojo y el azul, y el verde si se une el amarillo y el azul &c.

Se concibe que estas mezclas pueden variarse al infinito y producir un sin número de gradaciones; de este modo componen los pintores sus colores. Cuando se reunen una parte de los colores del espectro se obtiene cierto color ; y reuniendo la otra parte de ellos se obtiene igualmente otro color diferente del primero; estos dos colores compuestos se llaman *complementarios*, porque reunidos forman la luz blanca.

Del arco-iris.

El fenomeno del arco-iris solo tiene lugar cuando llueve y sale el sol al mismo tiempo ; para verlo es necesario ademas que el observador esté frente á la nube que se desprende en lluvia, y de espaldas al sol.

Se sabe que este metéoro está formado por un solo arco, pero muchas veces hay en el dos adornados con todos los colores del espectro.

Los colores del arco inferior son mas claros que

los del superior; en el arco exterior se observa que el violado es el mas elevado mientras que en el interior lo es el rojo. Alguna vez se forma tambien un tercer arco pero son tan débiles sus colores que apenas se perciben.

Cuando la luz solar atraviesa los glóbulos de agua que forman la nube experimenta al penetrarlos una verdadera descomposicion, y produce los brillantes colores del arco-iris. Cada rayo despues de penetrar en el glóbulo, ó gota de agua, refleja en parte en su interior en la superficie cóncava, pero bajo una oblicuidad tal que en lugar de salir del glóbulo se refleja en su interior, hasta que hallándose menos oblicuo á la misma superficie sale del refractándose de nuevo para ir á herir el ojo del observador convenientemente situado. La otra parte del rayo refleja tambien en el interior del glóbulo, y se concibe que pueden hacerse asi una infinidad de reflexiones sucesivas de cada una de las cuales sale una pequeña porcion de luz, cuya intensidad es tanto mayor cuanto menor ha sido el número de reflexiones. Pero como la luz blanca se descompone, sea á su entrada en el glóbulo ó á su salida, resulta, que cada porcion de luz que llega al ojo del observador despues de haber atravesado un glóbulo le produce la sensacion de los colores del espectro solar.

Despues que los rayos han reflejado muchas veces en el interior del glóbulo forman al salir cierto ángulo con su direccion primitiva, esto es, el rayo refracto forma con el incidente un ángulo constante en los rayos de la misma naturaleza, que penetran el glóbulo bajo una misma incidencia, y sufren en él igual número de reflexiones; si la incidencia es diferente ó el número de reflexiones no es el mismo el ángulo varia. Se demuestra por el cálculo que un grupo de rayos paralelos, y de la misma naturaleza, que penetra en el interior de un glóbulo ó gota de agua sin experimentar en él mas que una reflexion, este ángulo aumenta gradualmente hasta cierto punto, contando desde el rayo normal donde es nulo, y decrece

despues hasta el rayo tangente á la esfera. Pero todos los rayos paralelos que penetran en el glóbulo sufren desvios que difieren poco entre si, y que por consiguiente permanecen sensiblemente paralelos despues de su salida, de tal modo que si un observador se encuentra en la direccion de los rayos recibe una sensacion de los mas vivos colores. Esto se aplica igualmente á los rayos que sufren dos, tres ó mayor número de reflexiones.

Lo que acabamos de decir no es aplicable á todos los rayos colorados; el límite que hemos indicado no tiene lugar en el rojo, que, como se sabe, es el menos refrangible de todos los rayos, sino cuando sale despues de una sola reflexion, y forma con el rayo incidente un ángulo de $42^{\circ} 2'$; de donde se vé que este ángulo varía hasta el rayo violado que es el mas refrangible y en el cual es de $40^{\circ} 17'$.

Segun esto es fácil comprender como se forman las fajas coloradas del arco-iris. Supongamos un observador con la espalda vuelta al sol, y mirando una nube compuesta de multitud de glóbulos esféricos; cada rayo enviado por el sol atravesará á cada uno de estos glóbulos, y llegará en seguida al ojo del observador. Pero el rayo que puede llegarle es el que forma con su direccion primitiva el mas pequeño ángulo; luego este será el violado cuyo ángulo es de $40^{\circ} 17'$; y todos los glóbulos de agua, que se encuentren en el mismo círculo que tiene por centro el eje del grupo incidente, darán al ojo del observador la sensacion de violado, formando así el violado de la primera faja colorada. Lo mismo sucederá con los rayos rojos, cuyo ángulo formado por la direccion del rayo refracto con el incidente es igual á $42^{\circ} 2'$ estos darán la sensacion del rojo, y formarán la última faja colorada, es decir, el rojo. Los otros cinco colores del espectro se observarán segun el orden de su refrangibilidad. Se vé segun esto que el ancho del primer arco es la diferencia de $40^{\circ} 17'$ á $42^{\circ} 2'$ ó bien de $1^{\circ} 45'$.

Mas allá de los rayos rojos de la franja inferior del

primer arco no recibirá el observador mas que los rayos que han experimentado dos reflexiones, y cuya intensidad es muy débil. Estos rayos rojos formarán la primera franja del segundo arco. El observador recibirá tambien los rayos violados despues de dos reflexiones, y entre estos dos colores extremos percibirá los demas. En el caso de dos reflexiones el ángulo del rayo rojo es igual á $50^{\circ} 59'$; y el ángulo del violado igual á $54^{\circ} 9'$. De donde se vé que la distancia del primero al segundo arco está medida por la diferencia de $42^{\circ} 2'$ á $50^{\circ} 59'$ igual á $8^{\circ} 57'$. El ancho del segundo arco es $54^{\circ} 9' - 50^{\circ} 59'$ ó bien $3^{\circ} 10'$.

Se puede concebir por lo dicho la formacion de un tercer arco, ó de un cuarto, segun los rayos hayan experimentado tres ó cuatro reflexiones. El ancho de cada faja de los arcos está determinado por el diámetro aparente del sol.

Del acromatismo.

El acromatismo tiene por objeto destruir los colores que producen las imágenes de los objetos vistos al través de los prismas. Si se toman dos prismas de la misma sustancia y se juntan de manera que el vértice del uno esté hácia bajo y el del otro hácia arriba, y se deja caer en seguida un rayo solar sobre ellos se formará la imagen del espéctro solar al lado opuesto como sabemos; pero los colores estarán mas confusos que lo estarian sino se hubiese empleado mas que un prisma, porque la luz descompuesta al salir del primer prisma se recompone en parte atravesando el segundo.

Si se emplean dos prismas de sustancias diferentes, cuya facultad dispersiva sea mayor en uno que en otro, sucederá entonces que los rayos dispersados por el primer prisma serán reunidos por el segundo, y asi se tendrá un *prisma acromático*.

Tambien se pueden acromatizar las lentes: para eso se forman unas veces de un vidrio cóncavo de flint-

glass y de dos vidrios convexos de crown-glass; y otras, que es la forma mas comun, se componen de un vidrio cóncavo de flint-glass y otro bi-convexo de crown-glass. Estas lentes deben estar fabricadas con gran cuidado: no se les dá la misma curvatura, pero deben ser tales que despues de la refraccion todos los rayos colorados puedan reunirse en un solo punto que es el foco del sistema.

De los colores producidos por las láminas delgadas.

Todos los cuerpos cuando se reducen á láminas eciesivamente delgadas toman los diversos colores del prisma. Este fenómeno se hace muy visible en las láminas delgadas de mica, vulgarmente cristal de Moscovia, y en las láminas muy delgadas de cal sulfatada: estas láminas segun su grado de degaldez presentan por reflexion tal ó cual color, pero nunca es puro ó despejado, esto es, simple como los del prisma, Los colores producidos por las láminas de mica eciesivamente delgadas son ordinariamente el rojo púrpura, y el verde mar; alguna vez presentan el amarillo rojizo, y el azul indigo.

De los anillos colorados.

Newton es el primero que observó que poniendo un vidrio ligeramente convexo sobre una superficie plana se notaba al rededor del punto de contacto una série de anillos diversamente colorados. Este fenómeno se produce muchas veces en las sustancias vítreas, y sobre todo en las sustancias luminosas, así en el sulfato de cal (cal sulfatada) basta levantar un poco las láminas con la punta de un cortaplumas para que se verifique esto. Para observar estos fenómenos con esactitud se servia Newton de un vidrio convexo de gran diámetro, que colocaba sobre un cristal plano oprimiendolos ligeramente para establecer mejor el contacto, é inmediatamente veía los anillos muy claros muy regulares y con una mancha

negra en su centro. Entonces cada capa de aire refleja el color propio que conviene á su grueso, de manera que midiendo exactamente el diámetro de cada anillo se podrá deducir el espesor de cada capa de aire correspondiente. Newton reconoció que los anillos estaban situados á tales distancias unos de otros, que los gruesos que reflejaban la luz seguian la progresion 1, 3, 5, 7, 9, mientras que los que la dejaban pasar seguian la progresion, 0,2,4,6,8,.....; y mirando estas leyes como el resultado de una disposición particular de las moléculas luminosas, llamó *acceso de fácil reflexión* el rayo que cae sobre una lamina cuyo grueso es uno de los terminos de la progresion, 1,3,5,7,.....; y *acceso de fácil transmisión*, cuando el rayo cae sobre una lámina cuyo grueso es uno de los términos de la progresion, 0,2,4,6.....&c.

Partiendo de aquí es como Newton llegó á deducir el grueso de una lámina por el color que producía, y á dar la esplicacion de los colores propios de los cuerpos.

De los colores de los cuerpos.

Si se echa una mirada sobre los diferentes cuerpos materiales, que diariamente tenemos á la vista, se vé que nos presentan una infinita variedad de colores desde el blanco mas brillante hasta el negro mas subido.

Newton esplica esta coloracion de los cuerpos por la propiedad que tienen las moléculas colorantes de luz de penetrar hasta una cierta profundidad, que es muy pequeña, ó de ser reflejados á diferentes profundidades en los cuerpos. Supone formados los cuerpos de moléculas infinitamente pequeñas que dejan intervalos entre sí, y que estos cuerpos por su densidad ó por su naturaleza, refractan la luz mas fuertemente que la materia que se halla en los intervalos. Asi la luz al caer sobre los cuerpos se divide en dos partes, una atraviesa el cuerpo pasando en

tre sus moléculas, y otra atraviesa las moléculas mismas, y sufre entonces una descomposicion que depende de la forma y grueso de estas moléculas; si este grueso es suficiente para que las porciones de luz reflejadas por cada molécula se componga de los siete colores del espectro, el cuerpo aparecerá blanco sea por reflexion ó refraccion; pero, si su grueso no es suficiente, no habrá mas que los rayos reflejados de una ú otra especie y el cuerpo aparecerá colorado.

Esta hipótesis de Newton se aplica á los cuerpos cuyos colores son tornasolados como las plumas de las aves, ciertas telas de seda, la nacar &c segun se les mira bajo diferentes oblicuidades. Tambien se aplica á los cuerpos que presentan un color por reflexion y el color complementario por refraccion.

Pero si se quieren explicar los colores producidos por las láminas delgadas es necesario admitir que algunos rayos colorados se absorven por los cuerpos, como por efecto de una afinidad química: y entonces se concibe que el color que se vé por reflexion no es ya complementario del producido por refraccion; en efecto asi sucede realmente.

§ IV.

DEL OJO, Y DE LA VISION.

El órgano de la vision en el hombre, y en un gran número de animales, es un globo de forma esférica algo aplanado por delante, y compuesto de diferentes medios diáfanos con fuerzas refringentes diversas. La forma y estructura de este órgano es muy variada en las diferentes especies de seres, que viven en la superficie de la tierra y en el seno de las agua; pero nos limitaremos á describir la estructura del ojo en el hombre, y estudiaremos en seguida la teoría de la vision.

De la estructura del ojo.

El ojo del hombre se compone de tres membranas ó envolturas colocadas las unas sobre las otras. La primera ó mas exterior es el blanco del ojo SS' (fig. 201) que se llama *esclerótica*. Esta membrana está atravesada por medio, y da origen á otra CC'C" que se llama *córnea transparente*.

La *coroides* es la membrana oo' que se divide en dos, de las cuales una forma un círculo colorado *er* que se llama *iris*; en el centro del iris hay una abertura ii' que se llama *niña ó pupila*; y la otra dd se llama *corona ciliar*. El iris está compuesto de fibras que por su dilatacion ó contraccion pueden agrandar y estrechar la pupila.

La *retina* RR' es una membrana blanquesina extendida sobre la coroides, y que parece formada por la expansion del nervio óptico.

El interior del ojo está lleno de tres clases de humores que son los siguientes.

1. ° *El cristalino* c cuerpo transparente, poco sólido con la forma de una lente convergente, pero menos convexo hacia el iris que hacia la retina.

2. ° *El humor acuoso*, líquido perfectamente puro, cuyo poder refringente es sensiblemente el mismo que el del agua, y su gravedad específica es casi de 0,965: este humor se halla colocado entre la córnea transparente y el cristalino.

3. ° *El humor vitreo* que ocupa el espacio comprendido entre el cristalino y la retina; este es muy puro menos refringente que el cristalino y mas que el humor acuoso.

Segun esta descripcion puede considerarse el órgano del ojo como una lente acromática compuesta del humor acuoso, del cristalino, y del humor vitreo; el fondo del ojo puede mirarse como el de una cámara oscura en la cual van á pintarse las imágenes de los objetos exteriores; mas con esta diferencia, que en la cámara oscura es necesario que el

observador esté colocado detras del cuadro para que perciba las imágenes, mientras que la retina experimenta ella misma la sensación que le producen las imágenes, cuya sensación transmite al cerebro por el nervio óptico.

De la vision.

Los rayos luminosos enviados al ojo por los objetos distantes caen sobre la cornea transparente, atraviesan el humor acuoso, y llegan al cristalino, que los refracta de tal modo que van á reunirse en la retina, y producir en ella inversas las imágenes de los objetos exteriores. Se llama eje del ojo la línea que partiendo del mismo ojo se dirige hacia los objetos.

Sea MN (*fig.* 202) un objeto colocado á alguna distancia del ojo; el punto M enviará un cono de rayos, que despues de pasar al través del humor acuoso, del cristalino, y del humor vitreo irán á formar su foco en *m*. Lo mismo sucederá en el cono de rayos que sale del punto N, cuyo foco estará en *n*; y por esto se vé que el objeto MN formará su imájen en *mn* sobre la retina, pero que esta imájen será inversa.

Se ha probado la inversion de la imájen tomando un ojo de buey ó de carnero, cuya esclerótica se ha adelgazado considerablemente, y poniendo delante dél un objeto cualquiera como una bugia; entonces se vé colocandose detras del ojo la imájen inversa del objeto pintada en el fondo de este órgano.

La vision clara en un ojo bien conformado se verifica cuando el objeto está puesto a nueve pulgadas del globo del ojo. Cuando los objetos están mas cerca se ven confusamente, porque los rayos que envian al ojo forman su foco mas allá de la retina.

Aun puede percibir bien distintamente el ojo los objetos colocados á mayor distancia que las nueve pulgadas; asi puede ver bien claramente la fachada de una casa, el mastil de un navío &c. aunque estos objetos estén muy distantes.

Se han imaginado muchas teorías para explicar, como los rayos enviados al ojo por los objetos muy distantes pueden concentrarse en la retina, y producir las imágenes de los objetos colocados á diferentes distancias. Algunos anatómicos han creído notar que el ojo cambiaba de forma; otros han pensado que el cristalino mudaba de lugar, y otros en fin han creído ver en las variaciones de la abertura de la pupila la esplicacion del fenómeno; pero se nota á primera vista, que todas estas hipótesis son defectuosas, considerando que el ojo puede al mismo tiempo ver dos objetos á diversas distancias.

La sola esplicacion plausible que puede darse es considerar el humor vítreo como compuesto de un gran número de capas concéntricas, cuya densidad vá en aumento desde el cristalino hasta el fondo del ojo; porque si en este caso se supone que dos rayos paralelos caen sobre el cristalino serán refractados, y formarán su foco entre la retina y el cristalino; segun esto los rayos tienden á diverger de nuevo de modo que no pintan sobre la retina sino una imagen confusa; pero como hemos supuesto que la densidad de las capas del humor vítreo vá en aumento se vé que cada una de ellas refractará los rayos, y que despues de muchas refracciones los rayos serán sensiblemente paralelos cuando lleguen al fondo del ojo, de suerte que podrá formarse en la retina una imagen bien clara del objeto exterior puesto á una gran distancia.

En el hombre, y en un gran numero de animales, un mismo objeto se vé por ambos ojos á la vez, y sin embargo se sabe que el objeto no aparece doble; esto proviene de que los rayos caen esactamente sobre puntos correspondientes de ambas retinas, y de que las impresiones son semejantes y no producen mas que una sola sensacion. Mas si los dos ejes ópticos no se dirigen hácia el mismo objeto, las imágenes no se forman yá sobre partes correspondientes de ambas retinas, y el objeto se vé doble. Esto es lo que sucede cuando se oprime un ojo de

modo que se disfigure algo, ó se coloca diversamente que el otro; entonces el objeto parece duplicado. Los objetos parecen tambien dobles durante la embriaguez en que el hombre no está capaz de dirigir su vista.

Del ángulo visual.

El ángulo visual es el formado por dos rayos que partiendo de un mismo objeto van á cruzarse en la pupila. La abertura de este ángulo es variable, y depende del diámetro del objeto, y de su distancia.

La magnitud aparente de un objeto es la abertura del ángulo visual, y como este ángulo varía resulta que la magnitud aparente varía tambien, mientras el tamaño real es constante. Muchas veces juzgamos de la posicion y magnitud de los objetos por el ángulo visual; y formamos ideas falsas sobre su tamaño y posicion. Asi cuando nos ponemos en la estremidad de una larga alameda las dos filas de árboles parecen reunirse en la estremidad opuesta, al mismo tiempo que cada árbol parece disminuir de tamaño, Esto proviene de que las partes mas distantes de la alameda se ven bajo ángulos mas y mas pequeños, de tal manera que si la alameda tiene suficiente longitud las dos filas parecen juntarse en un punto por que el ángulo visual es ya nulo. Asi mirando un cubo que tenga tres pulgadas de lado á la distancia de tres varas podrá sustituirsele otro cubo de seis pulgadas de lado puesto á doble distancia sin que podamos conocer su tamaño real.

Efectos análogos se presentan cuando se observa á simple vista el sol ó la luna en el horizonte, ó bien algunos grados mas alto, y mejor aun cuando está en el meridiáno: en este último caso nos parecen mas pequeños, por que cuando están en el horizonte destruyendo la refraccion una parte de la luz nos parecen estos cuerpos mucho mas distantes; pero como estamos acostumbrados á rectificar el tamaño de los objetos vistos en la superficie de la tierra, aumentandolos en ciertas proporciones que nos ha en-

señado la diaria esperiencia, hacemos lo mismo con los ástros en el horizonte. Por esta rectificacion vemos un hombre de la misma estatura, cualquiera que sea su distancia; se le percibe en su estatura ordinaria, aunque deba juzgarsele mas pequeño cuanto mas lejos esté; por otra parte es fácil convencerse que esto es un error de nuestros sentidos; para ello basta atravesar un naípe con un alfiler y mirar los ástros por este agujero; asi se les vé tan pequeños como en el zenith porque no hay puntos de comparacion con el horizonte.

La accion de la luz sobre la retina no es instantánea; asi todo el mundo sabe que si se mira fijamente por algunos instantes un cuerpo luminoso, como el sol, la retina conserva mucho tiempo la impresion que ha recibido: del mismo modo un carbon encendido movido circularmente con gran velocidad produce en el ojo el efecto de un círculo de fuego.

La impresion de un objeto en el ojo no se hace instantaneamente, porque no podemos percibir un cuerpo que se mueve con una gran velocidad, como una bala arrojada por un cañon.

Medios de remediar los defectos de la vista. (1)

El órgano de la vision está sujeto á una enfermedad llamada *catarata*, que se encuentra particularmente en los ancianos. Esta enfermedad proviene de una opacidad del cristalino tan absoluta, que la luz no penetra en el ojo. Se han imaginado diferentes métodos para volver la vista á las personas afectadas de la catarata sea abatiendo ó hundiendo el cristalino en el humor vítreo, ó bien estrayéndole totalmente; pero las personas que recobran asi la vista distinguen confusamente los objetos, y están obligados para verlos con claridad á usar de lentes convergentes de muy pequeña curvatura.

(1) Véanse las páginas 341 y 342.

§ V.

DE ALGUNOS INSTRUMENTOS DE OPTICA.

Estos instrumentos se dividen en dos clases. Primera, aquellos en cuya construccion solo entran vidrios y se llaman *instrumentos dioptricos*, y segunda aquellos en cuya construccion entran vidrios y espejos y se nombran *instrumentos catadioptricos*. Se llama *objetivo* el vidrio ó espejo que está del lado del objeto, y *ocular* el que está hácia el ojo.

De la lente ó microscopio simple.

El microscópio simple está compuesto de una sola lente convergente (véanse las paginas 336 y 337).

El microscopio simple es muy útil á los botánicos que tienen necesidad de observar objetos muy pequeños, tales como los órganos sexuales de las plantas.

Del microscopio compuesto.

Este microscopio está formado por una reunion de muchas lentes convexas. La que está vuelta hácia el objeto, ó el objetivo tiene un foco muy corto, ó sea de algunas lineas. El microscopio ordinario está compuesto de tres vidrios convexas; pero los mejores microscopios son los llamados *microscopios de Dellebare*: estos están formados de cinco oculares y cinco objetivos. [1]

(1) Mr. Amici profesor de fisica en la Universidad de Modena, acaba de mandar construir dos microscopios muy superiores á los mencionados antes, porque agrandan los objetos el uno 400 veces en su diámetro, lo cual equivale á un millon de veces en la superficie; y el otro desde 1500 hasta 3000 veces su diámetro, esto es, desde dos millones y cuarto hasta nueve millones de veces en la superficie.

Con estos instrumentos Mr. Amici ha hecho muchas y curiosas observaciones sobre la anatomia vegetal; así ha vis-

Vamos á considerar primero el microscópio compuesto, formado de dos vidrios, como el mas simple, porque será muy facil aplicar la misma doctrina á los microscópios compuestos formados de tres ó mas vidrios.

El objetivo *od* [fig. 203] es muy pequeño y conveso; se pone el objeto *ab* algo mas allá del foco del objetivo; entonces los rayos enviados por el objeto atraviesan la lente, y forman detras de ella una imagen inversa *a'b'* del objeto *ab*. Esta imágen podrá recibirse en un cuadro: pero es evidente que si se le mira con un vidrio conveso, de manera que esta imágen se halle un poco mas acá de la distancia focal principal del segundo vidrio, resultará una segunda imágen *a''b''* inversa, pero mucho mayor que la primera, la cual no podrá ver el ojo sino estando colocado en *O*. De este modo se dispone el ocular en el microscópio. Las lentes están fijas en las estremidades de los tubos, que pueden encajarse y entrar los unos en los otros para variar las distancias de los vidrios.

Microscópio solar.

El microscópio solar está compuesto de dos lentes convergentes *AB*, *A'B'* y de un espejo plano *mn* (fig. 204.)

El objeto del espejo plano y de la lente *AB* es iluminar fuertemente el objeto muy pequeño *os*, colocado á la circulacion de la Savia en todas las especies de *Chara* y en la *caulinia fragilis*. Ha observado que el movimiento de la savia se verifica en un solo tubo sin bálbula, que la direccion de los glóbulos que en ella se observa es ascendente y descendente, y siguen la direccion de algunos pequeños círculos fijos á las paredes internas del tubo, cuyos glóbulos están formados de otros tantos granos pequeños que contienen en su interior otros mas pequeños y de colores diferentes. La maravillosa disposicion de este aparato ha hecho pensar á Mr. Amici que la causa de semejante movimiento es la electricidad; y que los pequeños círculos no son otra cosa que una pila voltaica.

do un poco mas allá de la distancia focal principal de la lente A'B'; el espejo *mn* refleja la luz solar sobre la lente AB, y esta la concentra sobre el objeto *os*; los rayos enviados por este objeto atraviesan la lente A'B' y van á formar una imágen inversa muy grande sobre un cuadro blanco dispuesto verticalmente á la distancia de algunas varas. La imágen puede ser 500 ó 1000 veces mayor que el objeto y es tanto mayor, en igualdad de circunstancias, cuanto mas cerca está el objeto de la distancia focal principal de la lente A'B' cuya distancia no debe traspasar el objeto, porque ya no se produciría imágen alguna. Se atribuye la invencion del micróscopio solar á Lieberkuyn.

Megascopio.

El megascopio está compuesto de una lente convergente AB (*fig. 205*) ajustada al cuerpo de una cámara oscura. Se pone fuera de la cámara en la direccion del eje de la lente, y un poco mas allá de la distancia focal principal un objeto fuertemente iluminado por la luz del sol directa, ó reflejada por un espejo plano. Entonces se forma en el interior de la cámara la imágen del objeto inversa y muy grande, y es tanto mayor cuanto mas cerca se encuentra el objeto del foco principal de la lente. Para que la imágen esté derecha se invierte el objeto.

Mr Charles, á quien debemos la invencion del megascopio, ha llegado á obtener un aumento de tamaño en la imágen del objeto variable desde dos á veinte veces.

Linterna mágica.

La linterna mágica se compone de una caja de lata ó madera en cuyo fondo hay una lámpara encendida. Una parte de los rayos que despide la llama caen sobre un espejo cóncavo de lata colocado detras de la lámpara; los rayos son reflejados en él

y van á caer sobre una lente que los concentra, y los envia sobre un vidrio plano muy delgado donde están dibujadas diversas figuras. Delante de este vidrio plano hay una segunda lente convergente, al través de la cual se cruzan todos los rayos enviados por una figura, y pasan en seguida por una abertura circular hecha en una lámina de cobre teñida de negro, y puesta á cierta distancia de la lente: despues de esto caen sobre una tercera lente que puede alejarse ó acercarse á la segunda por un tubo movable; atravesando esta última van á formar sobre un cuadro blanco que comunmente es la pared cubierta de una tela blanca la imagen muy agrandada de la figura trazada sobre el vidrio plano.

La linterna mágica fué inventada por el P. Kircher.

Fantasmagoría.

La fantasmagoría no es mas que la linterna mágica ligeramente modificada; pero los efectos que esta es capaz de producir son mucho mas importantes.

La operacion se hace en un lugar muy oscuro cuyas paredes estén colgadas de negro; la tela no recibe mas luz que la del aparato que está detras de ella y al lado opuesto de los espectadores. Sobre esta tela, que los espectadores no ven, es sobre la que se pintan las imágenes representando objetos mas ó menos horrosos.

Al principio de la operacion se vé parecer un espectro, primero muy chico, que despues crece rapidamente, y parece avanzar á grandes pasos hacia los espectadores los cuales se dejan seducir facilmente por esta ilusion; por que la oscuridad del sitio impide ver que la imagen no cambia de lugar sino solamente de tamaño.

El instrumento está montado sobre ruedas guardadas de paño, que se mueven en ranuras forradas también de paño, practicadas en el suelo á fin de hacer el menor ruido posible. La figura está

pintada sobre un vidrio plano, y se tiene cuidado de dar barniz negro á todas las partes del cristal que no ocupa la figura para impedir el paso de la luz: esta figura está alumbrada y colocada detras de la primera lente como en la linterna mágica. Los rayos enviados por la figura atraviesan sucesivamente las dos lentes (estas dos lentes estan dispuestas de manera, que la tercera pueda por medio de una muesca acercarse ó alejarse á la segunda) y van á formar sobre la tela la imágen del objeto que está pintada sobre el vidrio plano. Si esta imágen es muy grande, y quiere disminuirse bastará acercar el instrumento á la tela, y alejar la tercera lente de la segunda por medio de la muesca; si al contrario la imágen es muy pequeña y se quiere hacer mayor, se acercará la tercera lente á la segunda al mismo tiempo que se alejará el instrumento.

Es necesario estar acostumbrado para manejar este instrumento con buen écsito.

Cámara oscura.

Si en la tablilla de una cámara oscura se hace un agujero circular en que ajuste una lente convergente, se tendrá, poniendo un cuadro blanco detras del vidrio, una imágen clara pero inversa de los objetos colocados en frente.

La cámara oscura portatil se compone de una caja rectangular de madera con una lente convergente en una de sus estremidades (*fig.* 206). Los rayos enviados por los objetos exteriores atraviesan la lente; se reflejan sobre el espejo *mn*, y van á formar una imágen recta de los objetos sobre un vidrio deslustrado *o'b'*. Si la lente es acromática, la imágen se pinta con gran claridad y está exenta de colores extraños.

Cámara lucida.

La cámara clara ó cámara lucida es un pequeño

instrumento muy ingenioso inventado por el doctor Wollaston.

Este aparato se compone de un prisma de cristal cuadrangular AB (*fig.* 207) dispuesto de manera que AB sea la cara que mira á los objetos. Los rayos enviados por los objetos penetran sin refracción en el prisma por el lado AB , pero se reflejan totalmente sobre las fases interiores, y llegan al ojo del observador puesto en O . El ojo vé al través del prisma una imágen de los objetos recta y horizontal, y si está colocado de manera que los rayos reflejados no ocupen mas que la mitad de la pupila, verá al mismo tiempo la imágen de los objetos, y el papel sobre que la imágen está delineada: el observador podrá entonces con un lápiz dibujar los objetos.

Dos vidrios periscópicos acompañan al instrumento para que el observador use uno ú otro segun sea su vista de miope ó presbite.

Del anteojo astronómico.

El anteojo astronómico se compone de dos lentes biconvexas, un objetivo, y un ocular (*fig.* 208).

Sea AB un objeto que se supone muy lejos; los rayos enviados por este objeto formarán una imágen inversa $A'B'$ en el foco principal del objetivo *ob.* El ocular CC se coloca de manera que la imágen $A'B'$ esté sensiblemente en su foco, de suerte que colocado el ojo en O , donde se hace la concentración de los rayos AC' y $B'C$, verá la imágen inversa del objeto al través del ocular y mucho mayor. Se halla por el cálculo que el tamaño del objeto es al de la imágen como la distancia focal del ocular es á la del objetivo.

Debe observarse que en este anteojo se ven los objetos inversos; pero esta inversion no influye nada en las observaciones astronómicas.

Del anteojo terrestre.

Agregando dos vidrios convergentes al anteojo astronómico se consigue poner rectos los objetos. Estos vidrios se llaman oculares, y el instrumento *anteojo terrestre*, el cual está representado en la (fig. 209.)

Cuanto mas distantes están los objetos vistos al través de este anteojo, tanto mas es necesario acostarlos para verlos con la misma claridad; esto se consigue facilmente moviendo un tubo que lleva los tres oculares de modo que se acerque al objetivo. Para ver los objetos á menores distancias se aleja el primer ocular del objetivo alargando el tubo.

Del anteojo de Galileo.

Si se sustituye al ocular convergente del anteojo astronómico una lente divergente se tendrá un anteojo conocido con los nombres de *anteojo batavica* ó *anteojo de Galileo*. (fig. 210).

Sea AB un objeto distante; los rayos emanados de este objeto irán á formar una imágen inversa en A'B' mas allá del objetivo CC; pero esta imágen será recta poniendo un ocular divergente dd delante del cruzamiento de los rayos. Entonces cada rayo se refractará alejandose de su eje, de manera que, si se pone el ojo muy cerca del ocular se verá la imágen recta sobre la prolongacion de los rayos refractados. Los anteojos se dicen *acrómaticos* cuando el mismo objetivo lo es tambien.

Del telescopio Newtoniano.

Consiste este instrumento en un tubo grueso AB en cuyo fondo se halla colocado un espejo convexo que recibe la imágen de los objetos muy lejanos, y la refleja convenientemente. En el interior de este instrumento, y cerca del foco principal F del espejo

dicho, se coloca un espejo plano inclinado 45° al eje del anterior, y cuyo tamaño es el suficiente para recibir todos los rayos reflejados. Este espejo envía á un lado todos los rayos sin cambiar absolutamente nada su convergencia, y sin hacer mas que trasladar el foco perpendicularmente al eje á una distancia igual á la que se habria formado el mismo sobre su prolongacion. Frente á esta nueva direccion se practica una abertura lateral *ao* en el tubo del telescopio para dejar salir los rayos, y se mira la imágen con un ocular que puede ser simple ó compuesto. Tal es el telescopio de Newton.

Se ha modificado de muchas maneras la forma de este instrumento. Jacobo Gregori hizo un telescopio en cuya construccion empleaba dos espejos uno parabólico y otro elíptico; mas siendo estos espejos de una construccion muy difícil se les remplaza por espejos esféricos. El mayor está colocado en el fondo del tubo y atravesado por un agujero circular en su centro; el otro mas pequeño está á la otra estremidad del tubo, y su concavidad vuelta hácia el espejo grande. La imágen formada por la reflexion en el espejo grande está dibujada en el pequeño, que la envía á su vez por la abertura circular del espejo grande; en donde se hallan dos oculares de los cuales el primero forma una nueva imágen de donde parten los rayos, para el ojo atravesando el segundo vidrio.

Este telescopio es muy preferible á el de Newton para las observaciones terrestres, porque los objetos ven en su verdadera posicion; pero las imágenes son mas vivas y mejor circunscriptas en el de Newton que en el de Gregori.

Del Heliostat.

El heliostat es un instrumento que tiene por objeto reflejar la imágen del sol hácia un punto determinado; de tal suerte que la posicion de la imágen sea fija, mientras que el sol toma todas las posiciones aparentes, causadas por el movimiento real de la tierra.

△ Unos atribuyen la invencion de este instrumento á S^r Grævesand profesor holandés, y otros á Fahrenheit físico inglés. Pero siendo demasiado complicado para dar aquí su descripción, hablaremos solamente del heliostat que Mr. Gambey acaba de construir muy superior y mas sencillo que el precedente. He aquí segun el mismo Mr. Gambey, el principio sobre que está fundado este instrumento.

Supongamos que la línea CD (*fig.* 212) sea el eje de rotacion del movimiento aparente del sol; la línea BC la direccion de los rayos incidentes de este astro, y la línea CA la de los rayos reflejos: siendo igual la línea BC á la AC, formará con la AB un triángulo isosceles; de manera que poniendo un espejo paralelo á esta última línea, y perpendicular al plano del triángulo ABC, este espejo estará en una posición conveniente para reflejar los rayos BC en la direccion CA, que es la condicion que debe llenar el instrumento: he aquí la demostracion.

El ángulo CBA es igual al CAB; estos dos ángulos son opuestos é iguales el uno al ángulo de incidencia y el otro al de reflexion. Se vé ahora que si se hace girar la línea CB al rededor de la CD con un movimiento igual al del sol; que esta línea CB forme con la EF, que representa el ecuador un ángulo igual al de la declinacion del sol, y que además la línea CD sea paralela al eje del mundo, es evidente que á una época cualquiera del dia la línea CB será la direccion de los rayos incidentes, y la AB siendo susceptible de girar sobre el punto A, y de deslizarse sobre el punto B, será siempre la base de un triángulo isocetes.

Asi, empleando un movimiento de reloj para hacer girar en 24 horas la línea CB al rededor de la CD, y poniendo sobre la primera de estas líneas un arco graduado para colocarla en la declinacion del sol, y un cuarto de circulo sobre la línea CD para poner esta línea á la altura del polo, al mismo tiempo que se coloca en la direccion del meridiano por medio de un eje movil puesto en el pie del instrumento; y añ

diendo á todo esto un espejo plano sobre la linea A B podrá formarse una idea ecsacta del heliostat de Gambey.

Remitimos á nuestros lectores para ver mas por menores á la discipcion de este instrumento publicada por Mr. Hachette.

§ VI.

DE LA DOBLE REFRACCION.

Hemos visto precedentemente que cuando un rayo luminoso cae sobre un cuerpo diáfano bajo cierta oblicuidad penetra en él y sufre un cambio de direccion, al cual hemos llamado refraccion; y hemos visto tambien que el rayo incidente y el refracto están siempre en un mismo plano perpendicular á la superficie comun de ambos medios. Pero hay cierto numero de cuerpos diáfanos cristalizados que tienen la propiedad de dividir el rayo refracto en dos; uno que sigue la ley de refraccion que acabamos de recordar, y es el *rayo ordinario*, y el otro que sigue una ley distinta, y es el *rayo extraordinario*. He aqui en que consiste el fenómeno de la doble refraccion.

El espato de Islandia (cal carbonatada) es el cristal en que por primera vez se observó el fenómeno de la doble refraccion, y en que se manifestó tambien con mas energía.

Se llama eje del cristal en un romboides la linea AA' (*fig. 213*) que une los dos ángulos opuestos iguales.

Todos los cuerpos dotados de la refraccion no presentan este fenómeno con la misma intensidad, cualquiera que sea la direccion en que los rayos los atraviesan, asi cuando se pone un romboide de espato de Islandia sobre un punto negro puede vérsese doble, pero cambiando la posicion del romboides se hallará una en que el punto se vé uno solo, y esta posicion es la del plano perpendicular al eje del

cristal: se ha dado á este plano el nombre particular de *seccion principal*.

El fenómeno de la doble refraccion nos inclina á considerar el eje de un cristal como el centro de una fuerza ya atractiva ó ya repulsiva, que cambia la direccion de una parte de las moléculas luminosas; pero no se verifica en la misma direccion en todas las sustancias. En algunas el rayo extraordinario es repellido, esto es, se aleja del eje de refraccion, en otras al contrario es atraído ó se aprocsima.

En el cristal de roca el rayo extraordinario se aprocsima al eje, mientras que en la esmeralda, la turmalina, el carbonato de cal &c. se aleja.

Algunas sustancias cristalizadas con regularidad, tienen dos ejes que estan situados siempre simétricamente con relacion á las formas cristalinas, tales son las micas, los topacios, los sulfatos de estronciana, barita, &c. En algunas de estas sustancias los dos ejes producen una doble refraccion atractiva, en otras producen una doble refraccion repulsiva.

Del micrómetro.

Este instrumento, que ha sido inventado por Rochon, es una aplicacion de los efectos de la doble refraccion.

El micrómetro consiste en un prisma doble rectangular de espato de Islandia (cal carbonatada), que deja ver las imágenes dobles; este prisma se adapta al tubo de un antejo. Cuando se mira un objeto cualquiera muy distante las dos imágenes estan mas ó menos procsimas segun la posicion del prisma, y se les puede hacer coincidir absolutamente. El antejo tiene una escala que señala los movimientos del prisma, esta escala está de tal manera dividida, que se puede medir la distancia del objeto que se mira si se conoce su tamaño, ó reciprocamente.

Polarizacion fija de la luz.

Ya sabemos que cuando un rayo luminoso atraviesa un romboides de espato de Islandia se divide en dos; pero lo mas notable es que si caen perpendicularmente estos dos rayos sobre un segundo romboides, cuya seccion principal sea paralela á la del primero, estos rayos no se dividen mas. El rayo que proviene de la refraccion ordinaria en el primer cristal refracta ordinariamente en el segundo: y el rayo extraordinario en el primer cristal refracta extraordinariamente en el segundo.

Cuando las secciones principales estan en angulo recto el rayo refractado ordinariamente por el primer cristal lo es extraordinariamente por el segundo; y reciprocamente el rayo refractado extraordinariamente por el primer cristal lo es ordinariamente por el segundo. Entonces no hay mas que dos imagenes; por poco que se haga girar uno ú otro romboides cada rayo se divide en dos, y produce nuevas imagenes débiles al principio, pero cuya intensidad aumenta poco á poco; á medida que se vuelve el romboides las dos primeras imagenes se ván debilitando y desaparecen al cabo cuando las dos secciones estan en ángulo recto.

Malus ha demostrado que la luz reflejada por diversas sustancias bajo ciertos ángulos adquiere las mismas propiedades que atravesando un romboides de espato de Islandia. Por ejemplo si un rayo solar cae sobre un espejo bruñido bajo el ángulo de $35^{\circ} 25'$, se verá que este rayo despues de su reflexion goza de las mismas propiedades que un rayo extraordinario; por que si se recibe sobre un romboides de espato de Islandia se hallará que tiene dos posiciones en que no experimenta ninguna division atravesándolo; estas posiciones son aquellas en que la seccion principal es perpendicular ó paralela al plano de reflexion. En el primer caso el rayo goza de las propiedades del *rayo extraordinario*, y en el segundo de las del *rayo ordinario*.

19 Cuando se recibe sobre un segundo espejo un rayo solar ya reflejado sobre otro bajo el ángulo de $35^{\circ} 25'$ y dispuesto de manera que la oblicuidad sea en este la misma que en el primero, se observa, que si ambas reflexiones se hacen en el mismo plano la intensidad de la luz está en su máximo, y que si el plano de reflexión del segundo espejo es perpendicular al plano de reflexión del primero la luz deja de estar reflejada.

Se vé, según esto, que la luz modificada por la refracción ó la reflexión bajo cierta incidencia, manifiesta propiedades diferentes según las faces que le presenta una superficie reflejante.

Estas observaciones condujeron á Malus á suponer que los fenómenos de que hemos hablado dependen de la posición que toman las moléculas luminosas unas respecto de otras y de su forma. El supone que las moléculas tienen dos polos que gozan de propiedades diferentes y que están ordinariamente mezcladas aunque sin orden con relación á sus polos, pero que atravesando un cristal unas se dirijen perpendicular y otras paralelamente á la sección principal y tienen sus faces opuestas vueltas en el mismo sentido. Malus compara esta disposición de las moléculas á un imán muy poderoso, que volveria los polos de un gran número de agujas imantadas en mismo sentido, de aqui la espresion de *polarización de la luz*.

Polarización móvil de la luz.

En las esperiencias precedentes hemos reconocido que un rayo de luz penetrando en un cristal dotado de la doble refracción se divide en dos uno ordinario y otro extraordinario, en cada uno de los cuales las moléculas luminosas toman posiciones respectivas particulares. Pero Mr. Biot ha descubierto que estas moléculas no se colocan inmediatamente en esas posiciones desde su entrada en el cristal; ellas la toman progresivamente, y á profundidades tanto mayores cuanto menor es la fuerza atractiva ó repulsiva.

A medida que las moléculas luminosas penetran en el cristal vuelven alternativamente sus ejes, como por una especie de oscilacion, á uno y otro lado de los planos á donde deben definitivamente dirigirse. A estos fenómenos son á los que Mr. Biot ha dado el nombre de *polarizacion móvil*, para distinguirlos de la definitiva que él llama *polarizacion fija*.

Mr. Biot ha llegado á estos resultados por una observacion de Mr. Arago hecha sobre la cal sulfatada y la mica. Segun este sábio, cuando se espone una lámina de mica ó de cal sulfatada á un rayo polarizado, y se mira la imágen que resulta de ella al través de un prisma de espato de Islandia, se le vé resolverse en dos imágenes diversamente coloradas, cuyas tintas son cambiantes, complementarias las unas de las otras, variando segun el espesor de las láminas, y segun sus posiciones relativas á los ejes de las moléculas que las atraviesan.

Estudiando con cuidado estos fenómenos se halla que cuando un rayo polarizado atraviesa una placa cristalizada de superficies paralelas y formadas de un solo eje, hay dos posiciones en que conserva su polarizacion primitiva; 1.^a cuando la seccion principal del cristal es paralela al plano de polarizacion primitiva del rayo; y entonces el rayo atraviesa enteramente la placa en el estado ordinario; 2.^a cuando esta misma seccion es perpendicular al plano de polarizacion del rayo entonces este es enteramente extraordinario; de manera que si se hacen estas dos esperiencias sobre una misma placa, y se practican en ella dos secciones segun estas dos direcciones, una de ellas será la seccion principal, que contendrá el eje de doble refraccion.

Los pormenores que tendríamos que dar para formar una idea exacta de los principios establecidos por Mr. Biot, y de sus aplicaciones á diversos fenómenos, nos obligarian á traspasar los límites que nos hemos señalado en una obra de la naturaleza de esta. Remitimos pues para esto á nuestros lectores á la *Fisica* de Mr. Biot ó á sus *investigaciones sobre la luz*. Paris 1814.

Concluiremos este artículo observando que la luz que emana de un cuerpo sólido, ó en estado de fusion no proviene solamente de su superficie, sino que proviene en cierto modo de lo interior del cuerpo á cierta profundidad, y atraviesa una capa de sustancia mas ó menos gruesa. Pero la luz que emana de semejante cuerpo está en parte polarizada, mientras que la luz que atraviesa los fluidos elásticos no experimenta este fenómeno: y como la luz solar no está polarizada resulta, que nos inclinamos á creer que esta luz tiene su origen en una atmósfera muy caliente estendida al rededor del sol, lo que tiende á confirmar las conjeturas de Schroeter, de Bade, y de Herschel *sobre la existencia de una atmósfera solar.*

De la difraccion de la luz.

Se llama *difraccion* la especie de modificacion que la luz experimenta tocando las estremidades de los cuerpos.

Para observar este fenómeno se introduce un rayo solar en una cámara oscura por una abertura de muy pequeño diámetro, y se pone en su direccion un cuerpo opaco muy delgado y estrecho, como un alambre de acero, ó una pequeña tira de carton: entonces se observa en cada lado de la sombra producida por el cuerpo muchas franjas ó bandas coloradas muy claras y distintas, separadas por otras franjas oscuras. Si el cuerpo es muy estrecho se ven tambien franjas en su sombra, pero son alternativamente claras y oscuras. Se dá el nombre á estas últimas de *franjias exteriores* y el de *franjias interiores* á las primeras.

Grimaldi es quizá el primer fisico que ha observado este fenómeno.

Si se introduce un rayo colorado por la abertura de una cámara oscura, y cae en seguida sobre un cuerpo como el anterior, solo se observan franjas del mismo color, pero separadas por bandas negras.

Es de notar que la forma y naturaleza del cuer-

po opaco, que se interpone entre los rayos no tienen ninguna influencia en el fenómeno.

Mr. Fresnel llegó á medir el ancho de las franjas y las curvas que hacen, y reconoció que estas curvas son hiperboles.

Estos fenómenos solo se esplican bien por el sistema de las undulaciones (*vease sobre este objeto el trabajo de Mr. Fresnel en los Anales de Física y Quimica tom. 11.*)

Observacion general.

En esta obra hemos considerado el calor como un fluido particular; pero debemos observar que segun los cálculos mas recientes relativos á las undulaciones de la luz, ha llegado á considerarse el calor como un movimiento vibratorio que se ejecuta entre las partículas de los cuerpos. La verdadera teoría de la luz nos parece la de las undulaciones, aunque generalmente no hayamos hecho uso de ella, porque siendo las esplicaciones poco mas ó menos las mismas, y siendo por otra parte las ideas de los rayos mas familiares á todos, facilitan la inteligencia de los fenómenos. Las investigaciones que se continuan en todas partes con grande actividad, y las consideraciones teóricas ingeniosas tienden igualmente á asemejar los fluidos eléctrico y magnético, que para la mayor parte de los sábios parecen ya idénticos; y lo mismo el fluido eléctrico al calor. Por manera que finalmente se referirá la causa de los fenómenos á dos fluidos cuyas modificaciones producirán los efectos que atribuimos á diferentes cuerpos. Es necesario ser muy prudentes en la adopcion de semejantes hipótesis para no verse obligado á retroceder en seguida y establecer nuevas bases; mas sin embargo ¿no parece mas racional reducir el número de agentes, y creer que la naturaleza tiene su riqueza en esa aparente pobreza á la manera ciertos principios son tanto mas fecundos cuanto mas se generalizan?

CAPITULO XVI.

Meteorología.

Bajo el nombre de meteorología se ha designado en un principio la parte de la física consagrada á los fenómenos aereos que aparecian de una manera irregular, y de los cuales algunos causaban espanto: pero despues se ha estendido el sentido de esta palabra, y algunos autores comprenden bajo la misma denominacion el calor del globo, los volcanes, las aguas termales &c. Nosotros no entraremos en estos pormenores minuciosos. Dividiremos este capítulo en dos párrafos de los cuales el primero comprenderá los instrumentos meteorológicos cuya mayor parte se debe á Mr. Leslie, y cuya amistad nos ha puesto en estado de dar á conocer; el segundo párrafo tratará de la atmósfera, de los vientos &c. &c.

§ I.

Los instrumentos propios para hacer las observaciones meteorológicas son once, á saber: 1.º el barómetro, que mide la presion atmosférica; 2.º el ter-

mómetro, que señala los grados de calor; 3.º el hygrometro, que señala la sequedad relativa de la atmósfera; 4.º el atmómetro que sirve para medir la cantidad de vapor que escapa en un tiempo dado la superficie de la tierra; 5.º el fotómetro, que indica la intensidad de la luz transmitida del sol a la tierra, ó reflejada por el cielo; 6.º el etrioscopio, que descubre el frio que viene de las regiones elevadas de la atmósfera; 7.º el cianómetro que distingue la gradacion de las tintas azules en el azul celeste; 8.º el anemómetro que mide la fuerza del viento; 9.º el ombrómetro ó hidrómetro que mide la cantidad de lluvia, granizo, y nieve que cae en el dia; 10.º el electrómetro, que nota el estado eléctrico del aire; 11.º en fin el drosómetro con el cual se mide el rocío.

Aunque ya hemos hablado del termómetro diferencial volveremos á su descripcion sirviendonos de las mismas espresiones que empleamos en el extracto dado en las memorias del Muséo de historia natural.

Del termómetro diferencial.

El termómetro de aire, susceptible de grandes variaciones, queda absolutamente sin uso por que se afecta no solo de la temperatura del lugar donde está, sino tambien de la presion atmosférica á la cual está sometido. Una modificacion bastante sencilla puede convertirle en un instrumento de grande utilidad en las diferentes investigaciones de fisica, en que hay necesidad de una gran sensibilidad. Para construir este instrumento se sopla una bola de vidrio á la estremidad de un tubo de la misma materia; despues se suelda este tubo á otro mas largo terminado igualmente en otra bola que contiene aire lo mismo que la anterior, pero que encierra ademas una pequena cantidad de un líquido colorado. Entonces se encorba el tubo á la llama de una lámpara de esmaltador, y se le da poco mas ó menos la forma de la letra U. En cuanto á la altura del líquido se le arregla haciendo pasar segun se necesite algu-

nas ampollas de aire de una de las bolas á la otra, por medio de una pequeña dilatacion hecha en el tubo en el punto en que se hace la soldadura (*fig* 214.)

Si las dos bolas están espuestas á una misma temperatura el líquido permanecerá evidentemente en quietud; pero si la bola del tubo mas cortese calentada, el aire dilatandose adquirirá mayor fuerza elástica, y bajará el líquido en el mismo tubo; si esta bola se enfria el aire condensandose dejará subir el líquido en el tubo, por que la elasticidad del aire contenido en la bola opuesta será el predominante. El descenso ó elevacion del líquido indicará por consiguiente el exceso de calor ó la frialdad de la otra bola, y el espacio que corre en estas variaciones sirve de medida para la diferencia de temperatura. Los tubos pueden tener un diámetro desde un veinte á un cincuenta avo de pulgada, y los de las bolas pueden tenerlo desde un cuarto de pulgada á pulgada y media. El líquido que debe preferirse es el ácido sulfúrico colorado con carmin, por que conserva su color aunque se les esponga al sol, no se altera ni por la sequedad ni la elasticidad del aire contenido en las bolas, y que le oprime de un lado y otro. El alcohol es mas ligero y movable; pero como los vapores que produce se mezclan diferentemente con el aire, y le dilatan de diverso modo segun las temperaturas altera la exactitud de las indicaciones. Para apreciar la diferencia de ambas bolas se ha adaptado una escala dividida en *milésimas*, en la cual el intervalo comprendido entre el yelo líquido, y el agua hirviendo está dividido en mil partes, que forman otros tantos grados.

El termómetro diferencial puede variar en sus dimensiones segun el objeto á que se destine. Una de las formas mas convenientes es la vertical, en la cual el líquido colorado está sostenido en su base por la atraccion capilar de un cilindro, cuyo diámetro no excede de un décimo de pulgada, y termina inferiormente en una bola.

Del pyróscopto.

Este instrumento, que principalmente está destinado á medir la intensidad del fuego ordinario, no es otra cosa que el termómetro diferencial reducido á su mayor sencillez. Toda la variacion consiste en cubrir completamente de una gruesa hoja de oro ó plata la bola que sirve de receptaculo al líquido colorado. Las *ondas calientes*, que salen continuamente del foco para estenderse en la cámara son en gran parte reflejadas por la superficie brillante del metal, que cubre una de las bolas del pyróscopto, mientras la otra bola, que está descubierta, recibe toda la impresion del calor; y se vé entonces el líquido bajar una cantidad proporcional en el tubo.

La accion del calor disminuye en razon del cuadrado de la distancia, á medida que uno se aleja del fuego; y sin embargo la sensibilidad del instrumento es tal, que se afecta visiblemente, aun que esté colocado en las partes mas distantes de una habitacion. Espuesto en un cuarto cualquiera, y á la misma distancia indicará la fuerza absoluta del fuego, ó medirá las ondas colorificas que se esparcirán en la habitacion.

El pyróscopto podrá servir igualmente para indicar las ondas emitidas por una superficie fria. En un lugar caliente es sensiblemente afectado á muchas pulgadas de distancia por la impresion fria que produce un lebrillo lleno de agua sacada del pozo.

Del fotómetro.

Este instrumento se inventó para evaluar la fuerza ó brillantez de la luz por la observacion de la ligera elevacion de temperatura que ella produce. A este efecto una de las bolas del termómetro diferencial está soplada en vidrio negro ó esmalte del mismo color, mientras la otra está construida de vidrio transparente. Los rayos de luz que caen sobre esta, la

atravesen sin obstáculo; pero los que caen en la bola negra son absorvidos por ella comunicandoles calor. Este calor debe acumularse en ella hasta que la pérdida del aire llegue á equilibrar esactamente el aumento constante de la temperatura.

La cantidad que baja entonces en el tubo el liquido colorado mide las impresiones momentaneas de la luz ó su intensidad actual. Para precaver en la atmósfera una agitacion estraña, que acelere la pérdida del calor en la superficie de la bola negra, y que por consiguiente disminuya el efecto total producido, se cubre todo el instrumento de una caja de cristal transparente, sobre todo si se quiere operar al aire libre.

El fotómetro es susceptible de algunas variaciones en su construccion: las figuras 215 y 216 representan sus dos formas mas comunes. La primera es el fotómetro *portatil*. La bola negra estando una pulgada mas elevada que la otra, y encorbada por delante de modo, que pueda estar colocada en la misma linea vertical puede encerrarse en una caja de madera ó metal que la preserve de cualquier accidente. El segundo fotómetro es el *estacionario*. Sus dos bolas están á igual altura é inclinadas en direcciones opuestas. El fotómetro puesto al aire libre muestra distintamente el progreso de la luz desde el instante de la aurora hasta el calor mas fuerte del mediodia; y su descenso gradual desde este instante hasta que la oscuridad envuelve el hemisferio nos dice la disminucion de la claridad.

Tambien nos enseña que la intensidad de la luz aumenta desde el solsticio de invierno hasta los calores mas intensos del estio, y que decrece al contrario desde este último momento hasta que las nieblas mas y mas espesas del otoño nos traen el invierno. Podemos tambien por medio de este instrumento comparar con una esactitud numérica el brillo de la luz en diferentes regiones; el cielo brillante de la Italia, por ejemplo, con la atmósfera nebulosa y sombría de la Holanda.

En este clima (1) la acción directa del sol en el medio día se eleva á cerca de 90° ; pero el líquido baja en el instrumento á medida que los rayos son mas oblicuos. Cuando el sol está á la altura de 17° , el efecto se reduce á la mitad; y á la altura de 3° , el fotómetro no señala ya mas que un grado de la escala dividida en mil partes; mas en medio del invierno la mayor intensidad de la luz no excede de 25° .

La cantidad de luz indirecta que nos viene del cielo, aunque estremadamente variable en nuestros climas es muchas veces considerable. Se puede graduar en 30 ó 40° , en estío, y en 10 ó 15 en invierno. Esta segunda luz es mucho mas poderosa cuando el cielo está cubierto de ligeras nuves y ella está en su mínimo cuando los rayos son detenidos por una masa de espesa niebla, ó cuando la atmósfera está clara y de un azul muy subido. Sobre las elevadas cúspides de los Alpes ó de los Andes el fotómetro, puesto á cubierto del sol, y sometido á la acción de la bóveda celeste no espuesta al sol, no indica sino un efecto muy pequeño.

Durante el eclipse de sol del 7 setiembre de 1829 cuando el sol estaba completamente en sombra, indicaba antes y despues del paso del disco de la luna 12° de luz mientras que en el instante de la mayor oscuridad notaba solo uno. La delicadeza de este instrumento lo ha hecho un poderoso auxiliar en diversas investigaciones científicas. Indica la disminución que sufren los rayos de luz cuando son reflejados, ó cuando atraviesan diferentes sustancias transparentes. Adaptándolo al recipiente de una máquina neumática descubre igualmente la potencia relativa de conductibilidad de diferentes gases en diversos estados de rarefacción.

El fotómetro sirve tambien para valuar la intensidad relativa de diferentes luces artificiales, y aun la diferencia de su poder de iluminación comparado

(4) Probablemente en Edimburgo, donde Mr. Leslie imprimió la Memoria á cuya traducción nos invitó su amistad.

con el de los rayos solares. Se puede mencionar como una consecuencia curiosa de este hecho, que la luz emitida por el sol es doce mil veces mas enérgica que la llama de una bugía; ó de otro modo, que si una porcion de la materia luminosa del sol, cuyo diámetro fuera algo menos de una pulgada, se trasladase á nuestro planeta daria una luz igual á 12000 bugias.

Para comparar el alumbrado de las bugias, ó de las lámparas del gaz estraidode carbon de piedra ó del aceite la forma que debe preferirse en el fotómetro es la que representa la (fig 214.) Consiste en proveer el instrumento por delante y por detras de dos láminas delgadas y anchas de mica, puestas paralelamente entre si, y á una distancia de cerca de seis lineas. (1)

Del hygrómetro.

Este instrumento, de un uso muy frecuente, está destinado á medir la sequedad y humedad de la atmósfera. Este no es sin embargo mas que una modificacion del termómetro diferencial. La bola que contiene el líquido colorado debe tener muchas cubiertas de papel de seda mojadas en agua pura. El descenso de la columna de líquido en el tubo opuesto, indicando la disminucion de temperatura ocasionada por la formacion del vapor á espensas del líquido repartido al rededor de la bola, espresará la sequedad relativa del aire que le rodea. Sin embargo, como no se ha comprendido bien este principio, conviene ecsaminar mas rigurosamente la manera con que se efectua la evaporación.

Cuando el agua pasa al estado de vapor aumenta de volumen, y absorve una cantidad considerable de calórico; por consiguiente un cuerpo que esté mojado en su superficie se enfria generalmente espuesto al contacto del aire. Pero el descenso de temperatura llega bien pronto á cierto limite donde permanece es-

(1) Mr. Leslie se propone publicar sin interrupcion una serie de esperiencias ralativas á este objeto.

tacionario aunque la evaporacion continúe con igual actividad. El mismo medio que recibe el vapor debe suministrar tambien la porcion de calor necesaria para la formacion continua del vapor; en efecto, luego que la superficie húmeda se ha enfriado, cada porcion del aire que la toca debe ser igualmente enfriada hasta que llegue al mismo grado y comunique por consiguiente su exceso de calor ó sea la diferencia entre el primero y segundo medio, que sostiene la vaporizacion, diferencia evidentemente proporcional á la pérdida de temperatura que experimenta. La comunicacion de calor á la superficie con quien está en contacto se verifica al mismo tiempo que la sustraccion de calórico producida por la evaporacion, y llega prontamente al mismo grado de intensidad, despues de lo cual se establece el equilibrio, y el frio producido continua sin la menor alteracion. Una circulacion rápida del medio evaporante puede acelerar el efecto de estas causas, pero mientras conserve el poder secante, no puede de ninguna manera modificar la temperatura. El calor comunicado por el aire á la superficie húmeda é indicado por el hydrómetro se convierte por esta razon en una medida esacta de la cantidad de calor empleada en vaporizar la porcion de humedad necesaria, para que llegue aire por la saturacion á su mas baja temperatura.

El hydrómetro tiene dos formas distintas una que permite trasportarlo, y otra que le hace estacionario. La primera de estas disposiciones consiste en colocar las dos bolas sobre una misma línea vertical, y preservar el instrumento por medio de una caja de madera ó metal en la cual está fijo, de modo que pueda llevarse en la faltriquera: dos ó tres gotas de agua pura se aplican con las barbas de una pluma ó un pincel de pelo á la superficie de la bola así guarnecida, y el instrumento se mantiene esactamente en la posicion vertical cuando uno quiere servirse de él (*fig.* 218) Puede aun haber mas esactitud en la disposicion del

hygrómetro estacionario. Las bolas se colocan á la misma altura y en sentido opuesto; la que está cubierta, despues de haber sido una vez mojada, permanece constantemente húmeda por medio de algunas hébras de seda cruda ó de algodón, (1) que llegan por un lado á la bola, mientras que la otra estremidad se sumerge en un gran frasco lleno de agua destilada puesto á algunas pulgadas de distancia, y provisto de un tapon que deja abierta una piqueta saliente por donde pasa el líquido (fig. 217) (2)

Las dos bolas del hygrómetro deben tener pocas ó menos el mismo color y opacidad á fin de alejar la influencia de los fenómenos fotométricos, ó precaver cualquiera otra alteracion que la accion de la luz ocasionase. La bola descubierta está hecha de vidrio rojo, verde, ó azul; y la que está guarnecida de papel está exteriormente envuelta de una seda ligera, cuyo tinte claro toma un color mas fuerte cuando se moja.

El estado de humedad de la atmósfera es extraordinariamente variable. En nuestro clima señala el hygrómetro en invierno los grados de sequedad que varian desde 5 hasta 25, pero durante los meses del estío oscila generalmente entre 15, y 55, y en ciertos dias puede subir hasta 80 ó 90

(1) El lector notará que en este aparato el líquido llega á la bola del hygrómetro por el intermedio de algunas hébras de seda, cuya reunion forma tubos capilares que hacen las veces de sifones.

(2) Hygróscopo. Figura 219. El pequeño receptáculo piramidal de marfil vuelto y que lleva un tubo de cristal de diámetro ancho está lleno de mercurio; cuando la atmósfera está mas seca perdiendo esta bola de marfil su humedad, se contrae, y hace subir el mercurio en el tubo indicando la variacion en una escala fija en el instrumento y dividida en grados, que cada uno de ellos es un milésimo del volumen total. La diversa graduacion, puesta al otro lado del tubo indica la correspondencia de este instrumento con el hygrómetro perfecto. Este instrumento obra muy lentamente y no es transportable.

En el continente de la Europa (1) conserva mayor elevacion, y en las Indias altas (interior de las grandes Indias) ha estado frecuentemente á 160°.

Cuando la indicacion hygrómetrica no excede de 15°, nos inclinan nuestras sensaciones á decir que el aire es húmedo; de 30 á 40° empezamos á calificarlo de seco; de 50 á 60° la sequedad nos parece grande, desde 70° en adelante es considerable. No puede ser ni cómodo, ni acaso saludable, un lugar donde hay menos de 30° de sequedad; pero la atmósfera de una estancia caliente y habitada tendrá comunmente mas de 50°.

En los tiempos de hielo la bola guarnecida se cubrirá de nieve sin que se interrumpa el uso de hygrómetro. La evaporacion entonces compleja, de la capa congelada aumentará cerca de un séptimo el descenso del líquido de la que ocasionaría la simple evaporacion de una superficie puramente húmeda.

El hygrómetro no indica solamente la sequedad relativa de la atmósfera, sino que suministra tambien los datos necesarios para determinar la cantidad absoluta de humedad, que es capaz de absorber en un tiempo dado para la formacion del vapor; pero como la cantidad de calórico sustraído eleva un grado milesimal un peso de agua igual á 6000 veces el del agua vaporizada, y por otra parte la capacidad del aire para el calórico es próximamente de $\frac{3}{10}$ de la del agua, la misma cantidad de calor comunicaria igual elevacion de temperatura á una masa de aire 20,000 veces tan pesada como la del vapor. Asi á medida que el hygrómetro baja un grado por la evaporacion del líquido, este descenso se compensa por el contacto caliente de un peso de aire igual á 20,000 veces el del vapor, cuya masa de aire está saturada por esta union.

(2) Debe tenerse presente que Mr. Leslie habla de la Gran-Bretaña, que está ciertamente en Europa aunque no es del continente, y cuyo clima insular es muy diferente de el de otros muchos países que parecen estar en las mismas circunstancias.

Mas la disposicion del aire para recibir la humedad aumenta rapidamente á medida que se eleva su temperatura. De la combinacion de estas observaciones resulta que la sequedad de este liquido tan variable es doble cada vez que la temperatura se eleva; 15^o centesimales; asi por ejemplo, en el punto de congelacion si el aire es capaz de contener una porcion de humedad representada por 100^o del hygrómetro, á la temperatura de 15^o contendrá 200 ; á la de 30 ^o 400; á la de 45^o de la misma escala 800 partes, que corresponden á la vigésimaquinta parte del peso total. La tabla siguiente demostrará la facultad disolvente del aire atmosférico por grados de temperatura desde 15^o hasta 45 ^o.

Puede calcularse que una masa cúbica de aire de 40 pulgadas cúbicas con la densidad ordinaria pesa 20,000 granos. La tabla que vamos á dar manifiesta en granos el peso de la humedad que un metro (1) cúbico de aire es capaz de contener á diferentes temperaturas. Asi á 20 ^o, que corresponde á 68^o de Fharenheit, puede recibir esta masa de aire 252 granos de humedad.

(1) El metro, ó la diez millonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, es una medida lineal francesa, que es la unidad fundamental de los pesos y medidas del sistema decimal frances, y equivale á 1,19 de la vara de Castilla (N de T).

Cantidad de humedad contenida en el aire atmosférico á diferentes temperaturas del termómetro centígrado.

Temperatura.	Humedad.	Temperatura.	Humedad.	Temperatura.	Humedad.	Temperatura.	Humedad.
— 15°	50,0	0°.	100,0	15°.	200,0	30°.	400,0
— 14	52,4	1	104,7	16	209,5	31	418,9
— 13	54,9	2	109,7	17	219,4	32	438,7
— 12	57,4	3	114,9	18	229,7	33	459,3
— 11	60,1	4	120,3	19	240,6	34	481,2
— 10	63,0	5	126,0	20	252,0	35	504,0
— 9	66,0	6	132,6	21	263,9	36	527,8
— 8	69,1	7	138,2	22	276,4	37	552,8
— 7	72,4	8	144,7	23	289,5	38	578,9
— 6	75,8	9	151,6	24	303,1	39	606,3
— 5	79,4	10	158,7	25	317,5	40	635,0
— 4	83,1	11	166,2	26	332,3	41	665,0
— 3	87,1	12	174,1	27	348,2	42	696,4
— 2	91,2	13	182,3	28	364,7	43	729,4
— 1	95,5	14	191,1	29	381,9	44	763,8

Esta tabla confirma la ingeniosa teoría de la lluvia propuesta por el difunto Dr. James Hutton, el cual atribuye la deposición de la humedad en la atmósfera á la mezcla de las capas calentadas desigualmente. Mezcléanse dos metros cúbicos de aire húmedo á las temperaturas de 18 y 26° ellos producirán separadamente uno 229,7; y el otro 332,5 granos de humedad, ó ambos mezclados 281,1 granos.

Pero á la temperatura media, que es de 22° , el cubo métrico de aire no contiene mas que 276,4 granos y deberá por consiguiente deponer bajo la forma de niebla ó lluvia el exceso de humedad que será de 4,7 granos.

Para producir por consecuencia, un efecto completo es necesario poner en contacto dos volúmenes considerables de fluido en un mismo lugar y en un tiempo dado. No tenemos mas que suponer el efecto recíproco de una corriente fria sobre otra caliente de aire húmedo, que marchen en direcciones opuestas y se mezclen continuamente cambiando su superficie de contacto.

Es admirable la pequeña cantidad de partes acuosas que está suspendida en la atmósfera en ciertos tiempos. Fijando por el cálculo á 19° la temperatura en la superficie del globo, el aire podrá no contener mas que 240,6 partes de humedad por 20,000 veces su peso total. Pero este peso es á corta diferencia igual al de una columna de agua de 400 pulgadas de altura; y por consiguiente si la atmósfera saturada de humedad se descargase de ella enteramente, formaria una capa de 4 pulgadas 812 milésimas ó bien algo menos de 5 pulgadas de espesor. Para suministrar una cantidad suficiente de lluvia seria necesario que, durante todo el curso del año, el aire fuera susceptible de pasar frecuentemente de la sequedad á la humedad.

Es evidente, segun la teoría del hygrómetro, que este instrumento solo indica la sequedad del aire que le rodea en el grado de calor que señala la bola húmeda. Para hallar la verdadera sequedad de la atmósfera es necesario hacer una correccion por la mayor fuerza absorbente de la temperatura actual. Asi supongamos que el termómetro este en 16° , mientras que el hygrómetro señala 30, el aire tendrá esta medida de sequedad á la temperatura de 13° , que es la de la superficie húmeda: por consiguiente si el aire despues del contacto se elevara á su anterior temperatura la sequedad aumentaria 27° ó el exceso de 209,5 sobre 182,3. Se puede tambien

deducir otra conclusion, y es que el aire en este estado contiene 152,3 partes de humedad; lo cual segun la tabla es la estension del poder evaporante á la temperatura de 9° , 1. Enfriado en este limite se haria perfectamente húmedo y humedeceria todas las sustancias espuestas á su contacto. El punto que señala de una manera tan notable la calidad del aire ha sido llamado algunas veces *punto del rocío* (*Dew point*). Segun esto he calculado una tabla cuyo uso es muy fácil para la correccion de las indicaciones dadas por el hygrómetro, comprobando los puntos correspondientes de la humedad absoluta en diferentes grados de temperatura. (1)

El hygrómetro es un instrumento de grande utilidad no solo para las observaciones meteorológicas sino tambien para la economía doméstica. Dando el medio de reglar los procedimientos artisticos, y dirigir la eleccion que debe hacerse en ciertas clases de productos, indicará, la humedad por ejemplo, de una habitacion, las condiciones que debe tener un almacén, un hospital, ó una enfermeria. Muchas casas de comercio necesitan mantenerse en cierto grado de sequedad por el objeto á que se dedican. El estampado de hilo y algodón debe hacerse en piezas muy secas; pero los talleres de hilados y los telares están mejor en los lugares en que el aire inclina á la humedad. El fabricante se limita completamente hoy, para guiarse á los efectos producidos por las estufas, y de aqui resulta muchas veces que sus productos son deteriorados ó dañados antes que haya notado el cambio sobrevenido en el estado de la atmósfera. La lana y los cereales pueden aumentar de 10 á 15 por ciento de peso con la

(1) El autor trae en este lugar una tabla para las correcciones del hygrómetro y de la situacion del punto de saturacion en diferentes grados del termómetro centígrado, pero siendo este instrumento mas útil en las artes y las manufacturas, que aplicable á las ciencias he creído que nada desmerecia esta obra suprimiendole una parte que es absolutamente innecesaria para el objeto á que este Manual se destina. (N del T).

humedad ; pero se conocerá pronta y esactamente el estado de estas sustancias poniéndolas sobre una caja de alambre donde se coloca el hygrómetro.

Este instrumento determina los diversos poderes absorbentes de sustancias secadas anteriormente. No solo el acido sulfurico y las sales delicuescentes muestran una grande afinidad con la humedad del aire contenido en un espacio, sino tambien la harina, la arcilla y diversas tierras y piedras compuestas ejercen sobre ella una no menor atraccion. Los terrenos muy fértiles parece deben distinguirse principalmente por sus cualidades absorbentes.

El hygrómetro es el que ha contribuído al descubrimiento de un medio muy eficaz de congelacion artificial. Como la rarefraccion aumenta el volumen del aire aumenta tambien su disposicion para contener mas humedad á medida que la presion disminuye y facilita por tanto la expansion de la materia liquida asi como su conversion en vapor. Segun esto, si el hygrómetro está suspendido bajo un ancho recipiente donde se hace rapidamente el vacio bajará al momento. En estío el aumento de sequedad producida asi se eleva á cerca de 50° , siempre que el aire se enrarece á la mitad, de tal modo que suponiendo que se haga rapidamente el vacio, y que se reduzca el aire á $\frac{1}{64}$ de su densidad el descenso del hygrómetro no será al fin mas que de 30° . Pero este efecto es momentaneo por que el aire enrarecido se satura bien pronto de los vapores que emanan de la superficie de la bola húmeda.

Debemos pues creer que las regiones mas elevadas de la atmósfera deben estar comparativamente mas secas que las que tocan la tierra ó que á temperatura igual el fluido enrarecido es capaz de contener ma-

(4) Alfonso Leroy y algunos otros fisicos han demostrado que la cantidad de vapores que puede formarse en un espacio dado es la misma sea que el vacio se haga en este mismo espacio, sea que se deje en él el aire, y que la única diferencia que ecsiste entonces consistiria en la lénitud de la vaporizacion á la cual el aire oponia un obstáculo.

por cantidad relativa de humedad. (1)

Así en las faldas del Chimborazo si se pone un hygrómetro en una tienda de campaña en que el el aire se haya elevado á la temperatura que reina en las costas de Lima se mantendrá á 40° sobre el punto en que se le observaria al nivel del mar. Sin esta disposicion de los elementos es cierto que nuestro suelo estaria sumerjido en tinieblas eternas; por que el frio que reina en las capas superiores habria impedido á la humedad llegar á esta grande altura, y la hubiera condensado en nubes ó nieblas.

Estando bien comprobado el aumento del poder disolvente de las materias acuosas, que el aire puede adquirir á medida que se enrarece, el primer objeto de ecsamen es combinar la accion de un poder absorbente con la sequedad pasajera producida por la rarefaccion del aire bajo el recipiente de una máquina neumática. Despues de haber introducido una ancha superficie cubierta de ácido sulfurico bajo el recipiente se ha visto que esta sustancia agregaba su atraccion particular á la humedad á los efectos que resultan del aumento del vacio; y lo que es aun mas importante, se le ha visto continuar manteniendo con una energía casi igual la sequedad que se habia producido al principio. El aire enrarecido no podia ya como antes cargarse mas y mas de humedad; pero cada porcion de este medio, á medida que se saturaba tocando la bola húmeda del hygrómetro, trasladaba su vapor al ácido, le cedia su humedad, y quedaba en aptitud de apoderarse de una nueva cantidad de líquido. Por esta alternativa perpétua de vaporizacion y absorcion la cantidad restante de aire se mantenía constantemente en el mismo grado de sequedad: el calor se sustrae pues proporcionalmente al aumento de intensidad de la evaporacion. Si el aire se enrarece á $\frac{1}{50}$ el descenso de temperatura llegara de 80 á 100° de la escala del termómetro de Farenheit.

Pero si la rarefraccion sube hasta 250°, último quizá, á que puede llegarse en tales circunstan-

(1) Véase la nota de la página anterior.

cias, la superficie de la evaporacion bajará 120 °, en invierno y 200 en estio.

Podemos por consecuencia en las épocas mas ardientes, y en todos los países del globo helar una masa de agua, y mantenerla en estado de congelacion hasta que se desvanezca totalmente por una evaporacion gradual é invisible pero permanente. La sola condicion necesaria es que la superficie del acido tenga una gran dimension, y que esté puesta muy cerca del agua; por que de otro modo escapándose la humedad en cantidad demasiado grande para ser absorbida, la sequedad del medio eurareado se aprocsimaria mucho á la saturacion, y su fuerza de vaporizacion disminuiriá esencialmente. El acido debe verterse en capas de media pulgada ó mas de espesor en un plato ancho y chato que cubra un recipiente de forma hemisférica; el agua espuesta á la congelacion debe contenerse en otro plato de barro poroso que no esceda de la mitad del ancho del primero, y que esté sostenido por un ligero pie de porcelana.

La congelacion artificial se hace siempre en grande con mucha mas facilidad; dos o tres minutos bastarán para hacer el vacio completo, despues de lo cual la evaporacion y absorcion producirán gradualmente sus principales efectos. Se acelerará algo el procedimiento, y el yelo obtenido será mas sólido y transparente, si el agua ha sido antes purgada de aire por la ebulicion, y encerrada en un frasco tapado herméticamente. La disminucion que experimenta el agua mientras se convierte en yelo es sumamente pequeña, pues rara vez llega á $\frac{1}{50}$ de su volumen total. Una libra de acido sulfurico sirviendo muchas veces en tales esperiencias puede efectuar la congelacion de dos veces su peso de agua, antes que se empape de un volumen de agua casi igual al suyo, y que haya perdido por esta combinacion la octava parte de su poder refrigerante.

Ademas del acido sulfúrico pueden emplearse

tambien otras sustancias para producir la absorcion indispensable en esta esperiencia. El muriato de cal llena perfectamente el objeto; pero la harina de avena seca ofrece mas ventajas, y aunque no puede emplearse en mas de dos operaciones sèguidas, se le vuelve facilmente su primitiva energia por una desecacion total á un fuego activo, ó por la esposicion á los rayos de un sol muy fuerte. La congelacion es producida por una especie de destilacion aérea é invisible. El vapor ecsalado por la superficie del agua es llevado á los cuerpos absorbentes, cuya superficie debe ser, como hemos dicho la mayor posible, y donde el se condensa abandonando su eceso de calor. Todo el procedimiento consiste pues en trasladar incesante el calor del plato que contiene el agua al receptáculo que tiene el cuerpo absorbente. Luego que el yelo se ha formado se entretiene el paso de su calor y la masa de yelo se pone aun mas fría, mientras que el acido ó la harina de avena adquieren una temperatura superior á la de la atmósfera del recipiente.

Del atmómetro.

Este instrumento se usa muy amenudo, y podrá si se ecsamina atentamente, reemplazar el hygrómetro. No indica la sequedad del aire; pero segun manifiesta su nombre mide la cantidad de vapor que ecsala una superficie húmeda en cierto espacio de tiempo.

El atmómetro consiste en una bola de la tierra porosa de que se hacen las ollas, de un diámetro de dos ó tres pulgadas, y unida á un tubo estrecho que está fijo á una especie de cuello hecho á la bola. El tubo tiene divisiones y cada una de ellas contiene la cantidad de líquido necesaria para cubrir la superficie exterior de la bola de una capa de agua que tuviese un milésimo de pulgada de espesor (*fig. 220*)

Las divisiones están determinadas por un cálculo muy fácil de hacer: se cuentan de alto á bajo y de 100 á

200 grados. En la estremidad del tubo está ajustado un anillo de cuero en el cual se asegura una pequeña cubierta de cobre luego que se llena de agua el aparato. Para poner el instrumento en observacion se enjuga la humedad que pueda haber estendida en la superficie de la bola, y se le pone en seguida fuera de las habitaciones, y en un lugar donde pueda estar al libre contacto del aire. En estas circunstancias la humedad trasuda al traves de la bola porosa en una cantidad esactamente igual á la que puede evaporarse; y esta disminucion se mide por medio de un tubo en que el agua descende una cantidad proporcional.

Si la bola del atmómetro está preservada de la agitacion del viento, las indicaciones serán proporcionales á la sequedad del aire en la temperatura de la superficie húmeda que está bajo de la del aire; y la cantidad del líquido evaporado en cada hora espresada en milésimos de pulgada, multiplicada por 20, dá la medida hygrométrica: por exemplo, en este clima estando calculada la sequedad media á 15° en hivierno y á 40° en estio, la ecsalacion diaria en un lugar resguardado durante el hivierno debe formar una capa de 0,018 y en el estio de 0,048 decimos de pulgada. Supongamos un lago que pudiera surtir un canal navegable, cuya superficie fuese igual á 10 acres ingleses (1) y que el atmómetro baje 80° en veinte y cuatro horas; la cantidad de agua evaporada en este tiempo será de $\frac{80}{1200} \times 660 \times 66 \times 10$; ó 2904 pies cubicos que corresponden al peso de 81 cubas ó toneles. La disipacion de la humedad es muy acelerada por la accion de los vientos que la aumenta algunas veces desde 5 á 10 veces.

En general el aumento es proporcional, como en el caso de enfriamiento, á la velocidad del viento.

(1) El acre ingles es una medida de superficie que equivale á 361,92 estadales cuadrados españoles; y siendo cada estadal igual á once pies, será el acre igual á 1327,4 varas cuadradas castellanas.

La acción del aire tranquilo está calculada igual al efecto producido por una velocidad de ocho millas por hora. Por este medio se pueden formar fácilmente ideas exactas sobre la velocidad del viento; sobre todo comparando las indicaciones del hygrómetro con las del atmómetro, ó las indicaciones del atmómetro abrigado con las de otro espuesto á las corrientes de aire. Supongamos que el hygrómetro señale 40°, ó que la columna de agua en un atmómetro resguardado baje dos divisiones en una hora, mientras que otro atmómetro espuesto á las corrientes bajase doce divisiones; entonces, 2 es á 10, efecto adicional del viento, como 8 es á 40 millas, espacio que el ha corrido en este tiempo.

El atmómetro es evidentemente de grande utilidad en la práctica. Determina pronta y exactamente la cantidad de evaporacion producida por una superficie en un tiempo dado y suministra asi conocimientos importantes no solo á la meteorología, sino tambien á la agricultura y las artes. La valuacion de la vaporizacion que se produce en la superficie de la tierra es de una importancia casi igual á la de la lluvia, y seria de una gran ventaja á los labradores para dirigirlos en sus operaciones rurales. De la rápida dispersion de la humedad depende la buena construccion de las piezas destinadas en las fabricas al secado, que muchas veces se edifican sin inteligencia y conforme á principios erróneos.

Del etrióscopo.

Este instrumento es el ultimo y mas curioso de los que pueden estender nuestros conocimientos meteorológicos. Su nombre se deriva de una palabra griega que significa *serenidad, frescura*; ideas que se enlazaban intimamente en el espíritu de los antiguos poetas. El etrióscopo espuesto al aire libre indica las impresiones variables de frescura que en todos tiempos nos vienen de las regiones superiores de la atmósfera á la superficie del globo; no es mas que una

modificación muy ligera del piróscopo, que se le preserva de la influencia de la luz y de la agitación de los vientos. En efecto el simple piróscopo resguardado de los rayos solares, espuesto á una atmósfera sin nubes y en tiempo sereno, indicaria las impresiones de frescura elevandose desde 5 á 10 grados milésimales. Pero estas indicaciones no son satisfactorias mientras esten afectadas de la influencia de la luz, y de la acción perturbadora de los vientos. La acción de este instrumento puede ser mayor y mas segura añadiendole bajo la bola *sensible* una pequeña copa hemisférica de metal. Y desde aquí á la metamorfosis completa del piróscopo no hay mas que un paso.

Las dos causas perturbadoras que provienen de la luz ó del viento se escluyen ó precaven adaptando el piróscopo á la cavidad de una copa metálica bruñida de forma esferoidal prolongada, cuyo gran eje es vertical, y cuyo foco inferior está ocupado por la bola sensible, mientras que la sección de un plano horizontal pasando por el foco superior determina el orificio (*fig. 221*) La copa es de latón ó plata hecha á martillo ó fundida, y torneada despues y bruñida. Su diámetro es de cerca de cuatro pulgadas y la ecentricidad de la figura elíptica varia entre ciertos límites segun las circunstancias. Las dimensiones mas ventajosas son aquellas en que la ecentricidad es igual á la mitad del eje pequeño; lo que debe consiguientemente colocar el foco á la tercera parte de la altura total de la cavidad, estando igualmente el diámetro de la bola sensible situado á la tercera parte de la altura partiendo del orificio de la copa. Para separar un espacio mayor las dos bolas del piróscopo puede elevarse la dorada un poco sobre la otra y colocarla en la dilatación de la cavidad. Estando su tubo encorbado y el cuello prolongado en parte para precaver el peligro de dividir el licor colorado mientras se transporta el instrumento, se pone sobre el orificio del etrióscopo una cubierta del mismo metal bruñida como la copa, y que no se quita hasta

el momento en que se empieza la esperiencia. La escala puede estenderse desde 90 ó 100° sobre cero hasta 10 ó 15° por bajo.

Este instrumento espuesto al aire libre en tiempo sereno indicará á cada instante sea de noche ó de dia la impresion de frio que nos envian las regiones superiores. Estos efectos varian estremadamente: están en su máximum cuando el cielo es de un azul muy puro, disminuyen á medida que la atmósfera se carga de nubes, y estan en su mínimum cuando las nieblas se acercan á la superficie de la tierra. En tales circunstancias las impresiones frigoríficas son generalmente algo mayores en el dia que de noche; y considerablemente mas fuertes en estio que en invierno. Ciertos vientos que soplan á diferentes alturas, parece que deberán modificar sus resultados.

El etrióscopo está reducido á su mas pequeña dimension cuando está reunido al termómetro diferencial vertical (*fig* 222). En este caso no hay necesidad de dorar ninguna de las bolas de vidrio, pero la inferior que puede tener mayores dimensiones, está encerrada en una esfera hueca de cobre compuesta de dos piezas que se encajan mutuamente, mientras que la bola superior ocupa el foco de la copa, que no debe exceder de dos pulgadas de ancho. La sensibilidad de este instrumento es admirable por que el licor baja y sube en el tubo cada vez que pasa una nube en tiempo sereno y claro. El etrióscopo indicará rara vez una impresion frigorífica de menos de 30 , ó mas de 80° milésimales. Si el cielo se cubre de nubes pueden reducirse los efectos á 15° , y aun á 5° cuando los vapores se reunen sobre un pais montuoso. Hay sin embargo algunas variaciones aparentes. Yo he observado mas de una vez que al anochecer en tiempo frio y claro, mientras la atmósfera se oscurecia por la presencia de un humo espeso y negro, el licor colorado subia instantáneamente desde 25 á 35° donde se mantuvo, hasta que aquella masa negra se hubo disipado. La capa de materia fuliginosa habia sin duda absorvido las impresiones frigoríficas

emanadas del cielo. Este humo precipitandose por su propio peso debe traer de las regiones superiores un frio intenso, y por consiguiente enviar nuevas impresiones tanto mas poderosas cuanto mas inmediato es-
tá su origen.

Colocando de nuevo en un instante cualquiera la cubierta de metal sobre el etrióscopto se estingue totalmente el efecto, y el fluido del termómetro diferencial baja á cero. El menor papel ó la mas ligera película de sustancia animal disminuye la accion exactamente en la mitad. Una cubierta de carton llena tambien el mismo objeto que una pantalla perfecta; pero despues que su superficie superior se ha enfriado mirando al cielo, ecsita á su vez una ligera influencia secundaria en la bola sensible, donde el liquido no sube apesar de todo mas que un décimo de la elevacion que tendria sino tuviera cubierta. Esta disminucion de efecto es producida por la diferencia de temperatura que ecsiste entre las dos superficies del carton al traves de cuya sustancia mole penetran lentamente las adiciones succesivas de frio. Esta esperiencia nos ha sugerido un método brillante de determinar rigorosamente el grado de conductibilidad de diferentes cuerpos comparando los resultados producidos por las cubiertas de diferentes materias haciéndolas de un mismo grueso y poniéndolas igualmente pulidas por sus dos lados.

Para determinar si las *undulaciones* de frio se dirijen del mismo modo oblicua, que verticalmente, puede construirse el etrióscopto de manera que se vuelva hácia todos los puntos del cielo. Se le adapta ademas por reflector un segmento de esferoides de una grande escentricidad, y en el cual uno de los diámetros es de 9 pulgadas y otro de 6; se practica una larga escotadura en la pared inferior de esta gran copa, que se hace de manera que la bola dorada esté separada de ella, y la bola sensible permanezca siempre en el foco á una pulgada de distancia del fondo de la cavidad, mientras el eje del esferoides puede por medio de tornillos que obran

en el borde de un cuadrante elevarse ó bajarse según se quiera (*fig. 223*). En esta construcción se produce especialmente el efecto por la impresión directa; por que las ondas laterales hiriendo menos oblicuamente en la cavidad del esferoides son debilmente reflejadas.

Este instrumento, que puede llamarse *Etrioscopo de sector* se coloca convenientemente al aire libre, y cuando el cielo despejado de nubes presenta un color azul claro. Estando el esferoides vuelto primeramente hácia arriba se anota el efecto producido, que permanece constante apesar de la depresión del eje, hasta que la dirección de este llega á los límites de la esfera de energía, ó cerca de 20° sobre el horizonte. El resultado prueba suficientemente que cada porción del cielo, subtendida por un ángulo visual dado, nos envia igual cantidad de ondas frigorificas. Hay aun otra variedad del etrioscopo, que puede emplearse en determinar la teoría del instrumento; para esto se invierte la copa metálica en la que se encierran las bolas de un piróscopo tambien inverso. Este etrioscopo vertical puesto sobre el piso de una habitacion caliente permanece en cero; pero colocado algunos pies de elevación indicará una impresión sensible de frio que podrá llegar á 3° , ó 4° si el instrumento está suspendido cerca del techo. Este efecto depende evidentemente de la diferencia de temperatura entre el piso y las capas de aire que se desprenden, y en las que está el instrumento sumergido.

La impresión producida en el etrioscopo debe ser evidentemente la misma, bien resulte de una sola série de grandes ondas, ó bien de muchas séries de pequeñas ondas: si en lugar de una sola capa en que el aire esté seis veces mas caliente que el de la capa inmediata superior, suponemos seis capas que cada una tenga sobre la precedente un grado mas de temperatura, la onda escitada por la primera de estas capas intermediarias y sucesivamente unida á las de la segunda, de la tercera &c., adquirirá en último

análisis una energía igual á la que hubieran tenido ó comunicado las seis capas á la vez.

Así, la superficie inferior de la capa F (fig. 224) envía inferiormente ondas que aumentan sucesivamente marchando á las superficies inferiores de las capas EDCBA, que pueden tener al fin la misma intensidad que si resultaran originariamente de las dos capas extremas F, y A. Si la acción de las ondas es excitadas en un pequeño espacio de aire se hace así invisible, debemos detenernos mucho para hacer mas notables los efectos producidos por la mezcla de las que es el resultado de un movimiento complejo de las mismas ondas en el vasto espacio de la atmósfera. Tomando la parte inferior de las capas de una altura de cerca de dos millas, y que no contenga mas que una tercera parte de la masa total atmosférica, la diferencia de temperatura entre las capas últimas será de 20° centesimales. El orden de la serie de capas es exactamente inverso del que tiene lugar en un espacio cerrado, porque el aire de las regiones superiores está constantemente mas frio que el de la superficie de la tierra. Como las capas mas elevadas de la atmósfera envían abajo ondas de frio, las inferiores deben arrojar á su vez ondas calientes hácia las partes superiores. El etrióscopo puede servir para valuar estas cuando se le dá una posición inversa. Trasladado á la cúspide de una montaña, y dirigido hácia las llanuras inferiores indicará una impresión notable de calor, que será casi proporcional á la cantidad que se eleva. Sobre la cima del Chimborazo señalará este instrumento probablemente una impresión de 20° milésimales. Esta forma del etrióscopo descubre igualmente la cantidad é intensidad de las ondas emitidas por la tierra; estas son generalmente muy débiles y rara vez esceden de 3 ó 4° en los climas que habitamos. En un dia claro á medida que el sol se eleva sobre el horizonte, como la superficie de la tierra se calienta mas que el aire superior, produce ondas calientes; pero el efecto disminuye gradualmente á medida que

el sol declina, y parece adquirir una nueva energia en sentido contrario luego que la tierra está relativamente mas fria.

El mismo instrumento suspendido algunos pies sobre un cesped un dia que el cielo estaba claro y azul, y habiendo colocado una copa de plata debajo la impresion del frio reflejado le hizo bajar á 25° . Pero interponiendo una lámina de vidrio señalaba solo 2° ; y alejandolo y poniendo una capa de agua sobre la plata se destruia completamente el efecto. La influencia absorbente del agua, y por consiguiente de las nubes, que consisten puramente en particulas acuosas, está asi claramente demostrada. La naturaleza é intensidad de las ondas frias y calientes, escitadas en diversas capas de la atmósfera, se conocerá facilmente por la inspeccion de la figura (*fig. 225*). Supongamos dos círculos iguales y opuestos que tienen por tangente en su punto de contacto la linea recta AB, que separa la capa de aire frio de la del aire caliente, mientras que los diámetros opuestos CD y *cd* representan la fuerza de las ondas de frio enviadas perpendicularmente hácia abajo, y la del calor que va en direccion contraria; las cuerdas CF, CE, CH, y CG, y las otras cuerdas *cf, ce, ch, cg*, representarán igualmente la fuerza de las ondas que se transmiten en diversas oblicuidades.

Cuando todas las impresiones frigoríficas emitidas por las capas superiores son interceptadas por el vasto pabellon de las nubes, el etrióscopo no se afecta mas que de la gradacion parcial de frio al traves de la capa inferior del aire, ó de la diferencia de temperatura entre el suelo y la *pantalla* húmeda; diferencia que debe ser casi proporcional á su elevacion. Este instrumento podrá pues emplearse convenientemente para conocer la altura de un grupo de nubes sobre la superficie de la tierra.

Las ondas frias lanzadas desde la vasta estension de los cielos contribuyen materialmente á la formacion del rocío que se reúne en gran cantidad en los lugares me-

nos abrigados durante un tiempo sereno y claro. De aquí el peligro de dormir al aire libre en las regiones del trópico aunque la sombra de una palmera proteja suficientemente de la intemperie. El agua está siempre fría y aun helada en Egipto y en las Indias, por que la influencia celeste, que es muy fría, se junta al poder vaporizante de una atmósfera estrechamente seca.

Así el etrioscopio ofrece nuevos objetos á nuestra vista. El estiende su sensibilidad al traves de los espacios indefinidos y descubre de que manera obran las partes mas distantes de la atmósfera. Construido con mas delicadeza quiza descubrirá los vientos lejanos; y tal vez la temperatura actual de cada punto del cielo. Las impresiones de frio que llegan del norte parecerán probablemente mas fuertes que las que recibimos del mediodia.

La composicion de esta parte inferior del mundo encierra los principios mas secretos de la armonia. El sistema equilibrado de las corrientes aéreas dirige el calor del ecuador al polo, y desde el nivel del mar hasta las regiones mas elevadas de la atmósfera; la desigual distribucion de calor es al mismo tiempo equilibrada por la impresion vibratoria que conserva al través de la atmósfera general.

La superficie de algunas capas de aire, que envian ondas calientes en una direccion, debe producir evidentemente ondas frias de igual intensidad, pero en direccion opuesta. En un tiempo sereno, las ondas frias enviadas del cielo hácia nosotros escederán aun durante el progreso del calor del dia la influencia de la luz refleja que recibe la tierra en un lugar resguardado de la accion directa del sol. De aquí resulta en todos tiempos el frio que experimentan los cuerpos espuestos al norte; y de aquí tambien la frescura que templá las noches en los climas mas ardientes bajo la estension de el azul que adorna constantemente los cielos. En nuestras latitudes septentrionales un grupo de nubes preserva ordinariamente la tierra de las impresiones de frio.

Bajo el circulo artico, la superficie de la tierra está protegida mas eficazmente por las continuas nieblas que afean estas regiones horribles, y que dejan pasar los rayos luminosos al tiempo que interceptan las ondas frigoríficas emitidas por las regiones mas elevadas de la atmósfera. Los antiguos tenian observado ya que las noches muy claras eran generalmente muy frias. Durante la ausencia del sol las impresiones celestes siguen acumulandose, y la tierra se enfria escesivamente hacia el amanecer en el instante mismo en que la luz recobra su imperio. La capa mas baja de aire, estando resfriada por el contacto de la tierra, depone en la superficie de esta su humedad, que es absorbida por ella ó atraida por las estremidades salientes de las plantas en las cuales se presenta en forma de rocío ó escarcha; por esta causa es util en nuestro pais resguardar durante la noche las flores y los frutos de la influencia de un cielo glacial, y por la misma razon es ventajoso cubrir con redes las espalderas que guarnecen las paredes de los jardines que no solo interceptan las ondas frigoríficas, sino tambien detienen la formacion de la escarcha.

ADICIONES.

Algunos de los instrumentos descritos, aunque simples en su forma y construccion, ecsijen sin embargo mucha inteligencia y cuidado para formarlos. Es necesario, para hacerlos mas sensibles y esactos, elijir y ecsaminar los tubos con el mayor cuidado, que las bolas sean perfectamente proporcionadas en sus dimensiones, las escalas determinadas con esactitud, y la posicion de los líquidos colocados arreglada con delicadeza. Esta esactitud se obtendrá por medio de una pequeña cavidad practicada en la union de las ramas opuestas, y de pequeños glóbulos de aire que se reunen en este lugar. Se les obliga á subir á los líquidos por el calor que se comunica á una de las bolas aplicándole la mano.

El instrumento se tiene en una posicion inclinada por espacio de muchos dias y aun semanas, hasta tanto que todas las particulas del liquido bajen de la bola al tubo graduado, y que todos los glóbulos estén reunidos en una columna.

El instrumento preparado asi permanecerá constantemente del mismo modo mientras esté vertical: deberá mantenerse tambien en la misma posicion siempre que se quiera trasladar á distancias, y el observador cuidará de evitar cualquier alteracion violenta producida por la aplicacion á las bolas de las manos calientes, ó por la aprocsimacion de una bugia encendida. Si no obstante se forman algunos glóbulos en el tubo por que se haya agitado con violencia, ó por haberlo tenido inclinado, podrán disiparse calentando alternativamente las dos bolas con una mano, y golpeando con la otra la base del instrumento para obligar los globulos á subir ó á descender. La llama de una bugia producirá este efecto mas pronto pero es muy peligroso. Esta pequeña operacion ecsije mucha practica y paciencia, y es mejor generalmente evitar estos accidentes. Los instrumentos mas pequeños son mucho mas fáciles de manejar. El *hygrómetro portatil* puede llevarse en el bolsillo tan segura y comodamente como una caja de limpiar dientes; el *fotoómetro portatil* es casi tan cómodo á no ser que se necesite invertirlo, y por temor de que una porcion del liquido corra á la bola transparente, cuyo accidente, sin afectar sensiblemente la esactitud del instrumento, dejará sobre el cristal señales desagradables á la vista. Con un poco de cuidado puede trasladarse con toda seguridad el *fotoómetro de ramas* y el *etrioscopo*.

Respecto al liquido, en todas las modificaciones del termometro diferencial es preferible por su esactitud y demas propiedades el ácido sulfurico concentrado colorado por el carmin. Sus movimientos son esactamente regulares, aunque alguna vez un poco lentos, particularmente en los tubos muy estrechos. Los instrumentos son mucho mas sensibles á las impre-

siones variables cuando los tubos tienen ancho ca- libre, y las bolas con que están soldados un diáme- tro conveniente. En estos casos debe elegirse la for- ma del instrumento en que los tubos son paralelos. Las bolas pueden tener mas de una pulgada ó pul- gada y media de diámetro, y la distancia entre los tubos puede ser de cuatro ó cinco pulgadas. Si se quiere una gran movilidad mas bien que efectos muy delicados puede substituirse al acido sulfúrico el alcohol colorado. Los instrumentos contruidos de esta manera son los mejores para señalar simple- mente los fenómenos.

Si la bola de un hygrómetro cubierta de papel se seca, el instrumento señalará en este estado, aun- que por un corto tiempo, el diferente estado de los medios á que se transporte. Asi el aire de un lu- gar que tenga por ejemplo 52° de sequedad tras- ladando de el un hygrómetro, luego que llegue al punto de quietud á otra habitacion á 70° , la columna li- quida bajará cerca de 20° por la evaporacion de la cantidad de humedad que habia adherida á la cubierta de papel. Pero si el instrumento se tras- lada á una habitacion que no tenga mas que 30° de sequedad, el licor colorado se elevará cerca de 20° sobre el principio de la escala, por que el pa- pel tomará en el aire un esceso de humedad. El va- por combinandose con él pasa al estado liquido y desprende una cantidad correspondiente de calor. El equilibrio se restablece sin embargo al cabo de algunos minutos á menos que las cubiertas de papel no sean muy gruesas. Estos cambios se ma- nifiestan mucho mas pronto cuando se sumerge al- ternativamente el termómetro en dos recipientes de los cuales uno contenga aire mas seco y otro mas hú- medo que el del medio que se ecsamina. Si se emplea en el mismo uso un piróscopo, cuyas bolas estén cubiertas de una pelicula, señalará un efecto del mismo genero aunque momentáneo; por que en el ai- re que está mas seco la pelicula de la bola descubierta arrojará mas facilmente su humedad que la bola do-

rada; por el contrario en el aire que está mas húmedo la primera observará la humedad mas prontamente que la segunda; de manera que en el primer caso perderá una parte de su calor mientras en el otro tomará un ligero aumento. La cantidad de humedad necesaria para producir estas variaciones pasajeras no debe exceder de la milésima parte de un grano. Se puede demostrar facilmente estos cambios pasando por cima de la bola cubierta un vaso de 2 ó 3 pulgadas de ancho cuyo interior esté humedecido con agua, y cerca de un minuto despues otro cilindro de cristal semejante al primero y mojado interiormente de ácido sulfúrico.

Si el ancho recipiente dentro del cual se haya suspendido un hygrómetro delicado se pone sobre una placa de cobre encima de una copa de metal que tenga un poco de agua, el aire contenido apoderandose de cierta cantidad de agua llegará gradualmente á la humedad, y este cambio progresivo lo indicará el instrumento. Sin embargo la masa de aire no llegará nunca al término de la humedad absoluta; y antes que el hygrómetro señale 5^o el interior del recipiente aparecerá cubierto de rocío; por consecuencia mientras crece la humedad, la atraccion del cristal despoja continuamente al aire contiguo de una porcion de humedad. Una destilacion semejante se verifica sin cesar en el medio aeriforme condensándose el vapor en el vaso á medida que se forma; pero, si en lugar de un recipiente se usa de un vaso de metal bruñido, el aire que contiene pasará por todos los grados posibles de humedad, y el hygrómetro llegará despues de algunos minutos al principio de la escala.

Las diferentes propiedades de una superficie metálica y de otra vitrea para atraer ó repeler la humedad pueden demostrarse con mas facilidad aun en un tiempo sereno y tranquilo, colóquese por la noche un vaso de cristal y una copa de plata vacios cerca del suelo; cuanto la humedad comienze á prevalecer el vaso se empañará, y sucesivamente

muy poco despues estará mojado con un abundante rocío, antes que el metal haya indicado señales algunas de humedad. Este efecto se aumenta por las ondas frias que vienen de las altas regiones, y obran más poderosamente sobre el cristal que sobre el metal.

Pues que el aire tiene mas capacidad para el calor á medida que se eleva y que por consiguiente es mas frio, debe ser igualmente mas húmedo; pero habiendo una comunicacion continua entre las partes superiores y las inferiores de la atmósfera, la region media debe bien pronto cargarse de humedad á causa de su frescura. Por consiguiente, si esta tendencia obrara sin oposicion el cielo estaria muy pronto cubierto de perpetuas nubes y de tinieblas, y jamas vendrian los rayos beneficos del sol á iluminar nuestro globo; pero un principio de conservacion se presenta para restungir y vencer los efectos del frio, haciendo al aire ceder una porcion de su humedad. Por la dilatacion este fluido es capaz de contener en igual temperatura mayor cantidad de humedad. Cada porcion de aire que se eleva verticalmente, desde el instante en que el frio predomina, aumenta sin cesar de humedad; pero despues de haber llegado á cierta altura se hace mas y mas seco en fuerza de la gran dilatacion que experimenta. Cada vez que el volumen del aire se duplica adquiere un aumento de sequedad igual á 50° hygrométricos, por consiguiente un grado será solo el efecto de la rarefacion $\frac{1}{2}$ del volúmen. Esta ligera variacion corresponde á la baja de temperatura de $1^{\circ} \frac{1}{3}$ del termómetro centigrado, que cerca de su superficie produce un aumento de humedad igual al grado actual del poder disolvente del aire dividido por 31.4. Supongamos que el termómetro señale 15 grados centesimales sobre la tierra; el aire en cada elevacion de 390
200,
pies prócsimamente será de —mas húmedo ó bien
31,4
de 8 grados hygrométricos; cantidad que la influencia de la dilatacion reduciria á 70°. Si la tem-

peratura de la superficie hubiera bajado hasta 25° , que corresponde á un poder disolvente de $31^{\circ}\frac{1}{2}$, los esfuerzos opuestos de la rarefaccion y del frio producirían una esacta compensacion, y ecsistiria una sequedad constante á una altura bastante moderada.

Puede admitirse que espresando d la densidad del aire á cierta altura, y h la indicacion correspondien-

te, del hygómetro, $\frac{h}{62.8} - \frac{1}{d}$ espresará el aumen-

ta de humedad ocasionado por la baja de temperatura, mientras la disminucion que proviene de la dilatacion es de un solo grado. Resulta de aqui que en el polo el punto en se encuentra el *maximum* de humedad en la atmósfera debe ser á los 13,300 pies de altura; donde la densidad será de 6, la temperatura se mantendrá á $26^{\circ},7$ y el hygómetro á 29° . Bajo el ecuador este límite subirá á una altura mucho mas considerable, y sin embargo no será mucho mayor que la curva de los yelos perpetuos. Es probable que las grandes nubes descienden mucho cuando su temperatura se eleva por las ondas calientes que emiten la superficie de la tierra y las capas inferiores de la atmósfera. No cometeriamos un error muy grave estimando la posicion de la humedad estrema á la altura de dos millas en el polo, de cuatro y media en el ecuador, y de una y media mas allá de los límites de la congelacion. Esta série de puntos está representada por una línea undulante casi paralela á la curva que representa las alturas de las congelaciones perpetuas, pero que se encorba mas acercandose al ecuador; esta indica la altura media de las nubes bajo diferentes latitudes.

Las investigaciones mas delicadas sobre las leyes de la dispersion de la humedad se han hecho por medio de un pequeño atmómetro combinado con un hygómetro de ramas proporcionado á él. La rapidez con que se verifica la evaporacion en el gaz hydrógeno, cuando el hygómetro no señala mas que una ligera disminucion de sequedad, es un fenómeno no-

table. Se pueden obtener tambien algunos resultados notables encerrando la bola de un atmómetro en una caja esférica de madera, llenando despues el espacio intermediario de diferentes gases ó bien de lana, plumas ó harina de flor. La bola ecsalante puede tambien encerrarse en dos hemisferios sólidos de madera que se les une muy esactamente. Por este medio se llega facilmente á conocer el modo de transmitirse la humedad; pero no es este el lugar de entrar en pormenores sobre este objeto.

En cuanto al fotómetro puede aumentarse considerablemente su sensibilidad retardando la pérdida del calor en la bola negra. El aire que la rodea puede enrarecerse hasta duplicar la acumulacion de las impresiones caloríficas; y si se cuida de cubrir el aparato con una caja de vidrio delgado se triplicará el efecto total. He hecho muchas modificaciones en la forma de esta capa para darle la mas conveniente; por ejemplo para producir una gran sensibilidad he agregado al instrumento un pequeño reflector parabólico, ó mas bien hiperbólico en cuyo foco he fijado la bola sensible.

El fotómetro de doble rama puede emplearse facilmente en medir la disminucion de intensidad que la luz experimenta atravesando una masa de agua. En este caso se puede acortar la escala y aumentar por el contrario la dimension de las bolas. Se hace un pie de plomo para recibir este instrumento con su caja, que se tiene cuidado de asegurar. Cuando el instrumento está preparado de este modo se suspende verticalmente con hilos de seda cruda, á los cuales se agrega una cuerda de cierta longitud y que lleva una pequeña vegiga en la otra estremidad.

Cuando el cielo está sereno, y el sol esparce una luz brillante por medio de un varal fijo al costado de un barco, se sumerge el instrumento á cuatro pulgadas por bajo del agua y se tiene algunos minutos en esta posicion; despues se saca para ecsami-

nar el grado que indica. Cuando la accion directa de los rayos solares hace subir el fotómetro á 90° , no se halla mas que á 32° , si el instrumento está rodeado de una masa de agua fria que debilita la intensidad de la influencia de los rayos. Partiendo de este punto es como se cuenta la disminucion de grados que ocasiona la inmersión del instrumento en el agua. El fotómetro abandonado á las olas flota cerca de un cuarto de hora á la profundidad de cinco á seis brazas; sacando el aparato del agua, la accion de la luz, que ha sido menos intensa por su direccion oblicua largo tiempo prolongada, se hace muy sensible. Para dar mayor delicadeza al fotómetro puede encerrarse en una, dos ó mas cajas paralelas de vidrio transparente, separadas por intervalos de media pulgada.

De las esperiencias que últimamente he hecho con este objeto he deducido que la luz incidente, que puede atravesar una capa de aire de la densidad ordinaria, y de $15\frac{1}{2}$ millas de estension, se reduce á la mitad de su intensidad penetrando á una profundidad perpendicular de 15 pies en las aguas mas transparentes del mar, y que estas aguas son 5400 veces menos transparentes que el aire atmosférico. La luz se reduce á la cuarta parte de su intensidad por cada espacio de 5 brazas que atraviese verticalmente en el agua; y por consecuencia á 15 brazas de profundidad no habrá mas que la sexagésima cuarta parte de la luz que se encuentra en la superficie del agua. Suponiendo que el fondo de los mares se hallase á esta distancia y se compusiera de arena blanca, la porcion de luz reflejada que vendria á la superficie de las olas, se reduciria á menos de 64×64 , ó á 4096 avos de lo que seria al principio, y esta claridad seria casi imperceptible á la vista mas penetrante. Las aguas de los lagos profundos que no están revueltas presentan una opacidad aun mayor, y tal que la luz perpendicular se disminuye una mitad descendiendo seis pies en las aguas del lago de Leven, en Escocia; ó dos pies en

una capa de agua artificial en Raith, cerca de Kirkealdy.

Cuando el fotómetro no recibe mas que los rayos directos del sol señala la absorcion que se verifica durante su paso oblicuo al través de la atmósfera. Combinando los resultados de la teoría y la observacion hemos formado la siguiente tabla.

Altura del sol.	Medida de la capa atmosférica.	Intensidad de la luz transmitida.	Accion calorífica en la superficie.
90°	1.000	.750	.740
85	1.004	.749	.737
80	1.015	.747	.735
75	1.035	.742	.717
70	1.064	.736	.691
65	1.103	.728	.660
60	1.154	.718	.609
55	1.220	.704	.577
50	1.305	.687	.526
45	1.413	.666	.454
40	1.554	.640	.411
35	1.740	.606	.348
30	1.995	.563	.282
25	2.359	.507	.214
20	2.905	.434	.148
15	3.841	.331	.086
10	5.610	.199	.035
5	10.450	.050	.004
0	37.850	.00002	

La gradacion de la temperatura en diferentes latitudes puede representarse por un dibujo geométrico. Supongamos que la (*fig. 226*) represente un cuadrante: sea 90° el polo, 50 la latitud de un lugar. Sobre el rayo como eje y parámetro describese una parábola que pasará necesariamente por el polo, y bájese la perpendicular 50 B; su porcion representada por AB, y cortada por la parábola espresará la temperatura media de un lugar dado, al nivel del mar; y en el caso presente este calor será de 12° centesimales.

La temperatura media que resulta es igual á dos tercios de la que se obtiene para el ecuador y por consiguiente $19^{\circ}\frac{1}{2}$ ó bien $66^\circ,8$ de Fahrenheit: tal es lo que sucede á la masa de la tierra, si su calor no es propio y le viene de afuera. Pero en las profundidades poco considerables en que podemos penetrar no sentimos mas que la influencia de la superficie inmediata de la tierra; y en las minas profundas que estan menos distantes del ecuador, no se ha observado tendencia á la elevacion de temperatura, asi como hacia los polos no la hay tampoco á su descenso.

Estas impresiones superficiales son todas producidas por la accion de los rayos solares ó directamente ó por medio de la atmósfera. Se puede calcular segun la esperiencia, que cuando los rayos solares caen verticalmente y en todo su brillo, comunican en cada hora un grado centigrado de calor á una capa de agua de un pie de espesor; por tanto, puesto que la superficie de una esfera es cuatro veces la de uno de sus círculos generadores, una capa de un pie de agua estendida en la superficie del globo recibirá 6 grados de calor por dia. Pero la capacidad de la atmósfera para el calor, que es menor que la del agua, puede valuarse por sus efectos en la que produciria una capa de agua de cerca de 12 pies de profundidad, si la masa de aire recibiera y conservara todo el calórico que eleva en cada dia su temperatura medio grado y que por consiguiente,

la haria subir á $182^{\circ}\frac{1}{2}$ en el espacio de un año. Este aumento de calor se disipa enteramente por la movilidad del medio gaseoso y se absorve gradualmente por la tierra, ó mas bien se esparce al través de las aguas del Occéano, que ocupan por lo menos las tres cuartas partes de la superficie del globo. La luz comunicada por el brillo continuo del sol, sea que la reciba la tierra ó bien se absorva á su paso por el aire, seria capaz de comunicar un grado centesimal de calor al globo terrestre en el espacio de 1323 años cantidad acaso muy pequeña para sentirse, aunque pudiera descubrirse por delicadas observaciones.

Es fácil demostrar por las leyes de la óptica que la cantidad de luz que cae sobre una superficie horizontal debe ser proporcional al seno de su oblicuidad; de donde resulta que la luz que llega al ecuador en tiempo de los equinocios es á la que se acumularia en 24 horas, si se conservara su intensidad en el mismo punto, como el diámetro es á la circunferencia del círculo. El aumento diario de calor que recibe la atmósfera subirá en este clima, en la estacion de que hablamos, á $\frac{633}{10000}$ de un grado. En el polo, el dia de S. Juan, comunica el sol durante el círculo completo que describe, un calor mayor en cerca de $\frac{1}{4}$ ó bien $\frac{797}{10000}$ de grado: la permanencia del sol sobre el horizonte compensa con exceso la debilidad de los rayos oblicuos.

En general la cantidad de luz, enviada á una cierta estension por el sol durante un dia, es proporcional al seno de la mitad del arco descrito en un dia, ó á la distancia del medio dia al poniente entre los cosenos de la latitud y de la declinacion sumados al producto de este arco mismo entre los senos de latitud y de declinacion. Esta última cantidad de la espresion debe considerarse como añadida ó sustraída, segun que la declinacion se verifique en el mismo lado, ó en el opuesto. Asi en Edimburgo, que está bajo la latitud 56° , el calor que se acumula en un dia del solsticio de estio es

$\frac{307}{1000}$ de grado; y solamente $\frac{170}{1000}$ en el solsticio de invierno. Si se calcula la cantidad de luz ó de calor que recibimos del sol en la mitad de un período annuo desde el equinocio de primavera hasta el de otoño y desde este último hasta el de primavera, se formará la tabla siguiente.

	Estio.	Hiverno.	Todo el año.
Ecuador.....	116°	116°	232°
Tropico.....	127	87	214
Latitud de 45°...	120	42	162
Círculo ártico....	102	12	114
Polo.....	8	0	84

La acumulacion annua que se verifica en la latitud de 45° es segun esto de 162°, que difiere muy poco de 158° término medio de los efectos producidos por el calor en el ecuador y en el polo. Puede igualmente observarse que los efectos varian mas lentamente hácia las estremidades que hacia la mitad del cuadrante. Por consiguiente desde el ecuador al trópico y del círculo ártico al polo las diferencias son 30° y 28°, pero en los intervalos mas pequeños que hay del trópico á la latitud de 45°, y de aqui al círculo ártico las diferencias son 52° y 48°. La propiedad que acabamos de establecer corresponde al cambio de la temperatura media en diferentes latitudes.

Si una corriente de aire que venga del ecuador y cuya temperatura fuese de 29°, suponemos que marchara hácia el polo, desde donde otra corriente

igual y contraria se dirijiese del mismo modo hácia el ecuador, cada corriente tomaria 58° de calor. En dos ó tres corrientes efectuadas en un año la acumulacion de 148° de calor podria dispersarse enteramente, para esto bastaria la existencia de un viento en direccion norte con una velocidad de 46 millas por dia; y no seria necesario tampoco que este viento fuese permanente y soplase directamente hácia el norte. El efecto seria el mismo hácia cualquier punto que se dirigiera de la rosa de los vientos, si la velocidad fuese de 3 millas por hora, suposicion que se acomoda perfectamente con las observaciones actuales.

Otra figura puede tambien representar la gradacion de la altura que señala el limite de las nieves en diferentes latitudes. Así la línea horizontal (*fig.* 227) representa la distancia del ecuador al polo dividida en 90; cada línea vertical correspondiente á la latitud indica la altura del limite de congelacion perpétua valuada en millas inglesas.

Estando reunidas las estremidades de estas perpendiculares por una línea darán una curva que presentará sinuosidades en opuestos sentidos: esta curva se inclina lentamente al principio partiendo del ecuador, se hace mas rápida hácia las latitudes medias y vuelve á ser mas oblicua hácia la superficie del polo.

Las ordenadas de esta curva de congelacion, ó la altura del limite del frio perpétuo, pueden hallarse con una precision suficiente segun la gradacion corregida del frio, si el primer multiplicador fuera en cada paralela de latitud conforme á la temperatura media. En las latitudes mas elevadas la correccion que se debe hacer es pequeña, pero se hace mas considerable bajo los trópicos: por ejemplo en la latitud media de 45° es de 110 pies, mientras que en el ecuador se eleva á 877; pero excepto este caso extremo la altura del limite de las nieves difiere generalmente muy poco del producto de la temperatura media multiplicada por 540. Esta línea

debe pues estar muy cerca de coincidir con la curva formada por la comparacion de las séries de temperatura con las latitudes sucesivas.

Del ombrómetro ó hidrómetro.

Este instrumento lleva tambien el nombre ridículo de *pluviómetro* que le dieron algunas personas tan ignorantes de la formacion de palabras compuestas que no sabian que estas no deben ser mitad latinas y mitad griegas; pero hoy hasta las personas menos instruidas rechazan esta denominacion híbrida.

El ombrómetro se compone de un cilindro de cobre y de un embudo muy abierto cuya punta se coloca en el cilindro. De la parte inferior del cilindro sale un tubo de cristal que se eleva verticalmente y en el cual se nivela el líquido con el del interior del cilindro, este tubo lleva graduaciones, cuyo valor se ha calculado. Alguna vez se dá al embudo un diámetro mucho mayor que el del cilindro para hacer mas sensibles las pequeñas cantidades de lluvia: entonces es necesario conocer ademas las relaciones de las superficies, (*Véase este instrumento fig. 228.*)

Del anemómetro.

Con la ayuda de este instrumento medimos la velocidad del aire bien sea en los vientos ordinarios ó en los huracanes. Vamos á referir aquí la opinion de un tecnólogo moderno, cuyos conocimientos son justamente apreciados. "Se han propuesto dice, diversos aparatos que tienen por objeto medir la fuerza del viento. El de Wolf consiste en un pequeño molino de viento, que gira sobre si mismo, por un movimiento facil al rededor de su eje vertical y de una rama que hace el oficio de vela para dirigir las olas contra el viento. Estas alas en número de cuatro hacen girar el eje horizontal

que tiene un tornillo sin fin que endenta en una rueda vertical; sobre el eje de esta rueda hay una especie de péndulo que está vertical en el estado de quietud perfecta, pero que haciendo parte de la rueda dá vueltas con ella, y toma diversos grados de inclinacion con el horizonte. Un peso proporcionado á la estension de las alas está colocado al estremo de la vara del péndulo, y por medio de una ranura donde está suspendido puede deslizarse segun su longitud. Se ve que á medida que el molino dá vueltas por la fuerza del viento el árbol moverá la rueda y elevará el peso de que está cargada el péndulo, al mismo tiempo que se alejará del centro; este efecto desenvolverá así una resistencia siempre creciente, por que el brazo de palanca del peso, que no es otra cosa que la distancia á la vertical tirada por el eje de la rueda, será mas y mas grande. Cuando el peso se ha separado mucho por la fuerza del viento para que el movimiento de ascension del peso se detenga, el ángulo del péndulo con la vertical señalado por un cuarto de círculo fijo, mide la fuerza del viento. Véase la figura 229."

"El anemómetro de Bouguer consiste en un disco de hierro batido que se presenta perpendicular á la accion del viento; este disco está equilibrado por una romana que mide la carga suspendida y por tanto la fuerza del viento."

"Tambien puede verse la descripcion del anemómetro de Poleni en la memoria premiada en 1733 por la academia de ciencias, y consignada en los catálogos de precios, así como el de d'Ons-en-Brai en las memorias de 1734; este sábio supone que su máquina es propia para señalar por si misma en el papel, no solo los vientos diferentes que han soplado en 24 horas, sino las horas en que han empezado y acabado y tambien las velocidades de sus corrientes.

§ II.

DE LA ATMOSFERA.

Se ha dado el nombre de atmósfera á esta capa gaseosa é invisible que envuelve nuestro globo y en la cual se elevan los vapores que forman las nubes: estas se agitan por los vientos que no son otra cosa que un movimiento del fluido en que vivimos y respiramos. Por mucho tiempo estuvo el aire entre el número de los elementos, y en estos últimos tiempos se ha llegado á demostrar que es compuesto y que el oxígeno y el azoe son los dos gases que lo forman casi en su totalidad; en efecto sino se exceptúan el ácido carbónico y el vapor del agua que constituyen una pequeña parte de la atmósfera, se halla que el aire está formado de 21 por ciento de oxígeno y 79 de azoe. Pero aunque el ácido carbónico y el agua no sean necesarios á la composición del aire no dejan sin embargo de tener una gran parte en los fenómenos de la naturaleza animal y vegetal, favoreciendo el uno la vegetacion é impidiendo el otro que el aire seque nuestros órganos y repartiendo además por medio de la lluvia un líquido que vivifica las lánguidas cosechas y las marchitas praderas.

A esta capa gaseosa debemos tambien los fenómenos que elevan el corazón á esos sentimientos dulces y consoladores del infinito, que en todos tiempos inspiraron á los poetas los cantos mas melodiosos; en efecto la fleccion de los rayos luminosos en la atmósfera es la que nos hace percibir el carro brillante del sol aun cuando se haya sumerjido en las olas del oceano, y nos anuncia la presencia de este ástro antes que llegue al horizonte ostentado en el cielo sus tintas rojas, ó por mejor decir, esas nubes ligeras y purpúreas que hicieron decir al divino Homero que la aurora con su rosado semblante.

Sembraba á manos llenas las rosas en los cielos.

Pero dejemos á Homero, á Virgilio, á Thomson, á Sehlenkert y Kleist el cuidado de pintar los cuadros seductores y sublimes de la naturaleza.

De los vientos.

Los vientos, ó para usar una espresion que dé una idea mas esacta, *las corrientes de aire* son producidas por las alteraciones que inducen en la gravedad especifica y la elasticidad del fluido aéreo diversas causas que desalojando una porcion de él, obran desigualmente en algunos puntos de la atmósfera.

Los vientos se dividen en *generales, periódicos é irregulares*. Los vientos generales ó alicios soplan entre los trópicos y rara vez mas allá; su accion es continua y su direccion constante.

Los vientos periódicos ó monzones son aquellos que por muchos meses soplan en una direccion, y los remplaza en seguida una corriente contraria por un tiempo igual.

Los vientos irregulares no observan ni época ni duracion y soplan de diferentes lados.

Pueden esplicarse los vientos bien admitiendo una dilatacion en el punto de la atmósfera de donde sale la corriente, ó bien suponiendo una condensacion en el lugar hacia el cual se dirijen; esta última hipotesis parece mas probable que la anterior y adquiere mayor peso por la observacion hecha en el viento norte, y que manifiesta que la accion se siente primero en los paises mas meridionales. Un eclipse de luna visible en toda la tierra dió ocasion para comprobar este hecho. "Al principio del eclipse, se nos dice, un fuerte viento del norte se manifestó en la Florida; en Filadelfia, que está mas al norte, se sintió cuando el eclipse habia ya empezado; y en fin el eclipse habia acabado cuando este mismo viento se sintió en Boston, que está aun mas al norte que los dos lugares citados."

La velocidad de los vientos varia de una manera considerable; vamos á poner aqui la tabla siguiente extractada del anuario de la oficina de longitudes, que dará una idea justa de las diferentes velocidades.

Velocidad por segundos en metros.	Velocidad por horas. en metros.	en leguas.	
0,5	1,800	0,40	Viento apenas sensible.
1,0	3,600	0,81	Sensible.
2,0	7,200	1,62	Viento moderado.
5,5	19,800	4,45	Viento fuerte.
10,0	36,000	8,16	Viento bastante fuerte.
20,0	72,000	16,20	Viento muy fuerte.
22,5	81,000	17,35	Tempestad.
27,0	97,200	22,04	Gran tempestad.
36,0	104,400	29,33	Huracan.
45,0	162,000	36,62	Huracan que destruye los edificios y arranca los árboles

Referiremos aqui las observaciones y reflexiones mas interesantes que se han hecho sobre este objeto tan curioso, y hablaremos primero de los vientos alicios. Ellos se entienden á los 28°, 32°, y algunas veces hasta los 40° al norte y sud del ecuador. H. Adley ha dado de este fenómeno la siguiente explicacion: el aire calentado entre los trópicos por la continua presencia del sol tiende á elevarse y hace venir el aire situado entre las latitudes próximas, pero la masa de aire que rodea nuestro globo adquiere despues de cierto tiempo en cada uno de sus puntos una fuerza de rotacion proporcional al radio de la paralela descrita por el punto. El aire, trasladado hácia el ecuador antes que haya podido adquirir la velocidad propia al circulo que va á describir, queda detras de los cuerpos que tienen esta velocidad y les choca en una direccion contraria á su movimiento. La direccion del viento debe ser entonces del este al oeste. Pero teniendo ademas el aire por su desalojamiento una velocidad en la direccion del meridiano y otra velocidad de rotacion al rededor de

la tierra, las fuerzas que producen estas velocidades se componen en una sola, lo que debe cambiar la direccion de los vientos alicios un poco hácia el norte en el hemisferio boreal y un poco hácia el sud en el hemisferio austral: y esto es lo que en efecto se observa. Segun esto parece que el viento del este es el que debe reinar en el ecuador; pero no sucede asi. El viento del este sopla al norte del ecuador.

La línea que separa los vientos alicios de nor-deste de los de sud-este en el Océano Atlantico se halla hácia el tercer ó cuarto grado de latitud norte; y si su posicion es el efecto de una permanencia mas prolongada del sol en el hemisferio boreal, tiende á probar que las temperaturas de los dos hemisferios están en razon de 11 á 9. Al oeste de la America los vientos alicios del sud-oeste traspasan menos el ecuador què en el Océano Atlantico; y en efecto la diferencia con que las capas de aire refluyen de los polos al ecuador no puede ser la misma en todos los grados de latitud, es decir, en todos los puntos del globo en que los continentes tienen latitudes diferentes, y donde se prolongan ellos mas ó menos hácia los polos.

Los vientos alicios reinan sin interrupcion en el grande Océano. Las flotillas que parten de Acapulco para las islas Filipinas son siempre conducidas por un viento favorable. Esta travesia, de casi la mitad del globo, se hace en 60 dias sin cambiar las velas; pero es imposible volver por el mismo camino; para esto se ven obligados á virar al norte hasta un limite en que los vientos variables de los climas templados comienzan á reinar.

En las altas regiones de la atmósfera debe reinar un viento oeste contrario á los vientos alicios. El aire que refluye del ecuador á los polos para reemplazar al que va de los polos al ecuador debe producir una contra-corriente, cuya existencia en las regiones superiores de la atmósfera entre los trópicos ha sido muchas veces comprobada. Un acontecimiento lo prueba ademas suficientemente. Sucedió

la erupcion de un volcan en la isla de S. Vicente, el viento este sopla entonces y una nube de ceniza que se elevó á las altas regiones de la atmósfera fué llevada á las Barbadas que está al este de S. Vicente. La contra-corriente se observa diariamente en las islas Canarias por que el pico de Tenerife se eleva hasta ella aun en medio del estío. En todos los viages á la cumbre del pico se hace mencion de la energia del viento oeste. Mr. de Humboldt subió al vértice del pico en 21 de Junio y cuando llegó al borde del cráter era tan violento el viento oeste que apenas le permitió mantenerse en pie. Si á este tiempo otro viento oeste hubiera soplado hácia Sta. Cruz ú Orotava se hubieran admirado tanto como en las Barbadas de la lluvia de ceniza.

Glas refiere algunas circunstancias que pueden dar á conocer la verdadera marcha de las dos corrientes de aire situadas una sobre otra. Todos los marinos prácticos tienen por regla que la tierra firme de los climas cálidos atrae los vientos constantemente y en todo tiempo; esto es sin duda por que el aire caliente y ascendente de tierra firme debe ser reemplazado por el viento alicio. Las Canarias tambien experimentan esta influencia de las inmediaciones. El viento nor-deste se dirige hácia los continentes y tanto mas cuanto mas cerca esten de las costas las islas en que sopla. Las islas elevadas como las Canarias, Tenerife y Palma detienen tan completamente estos vientos, que en los tiempos que soplan con fuerza sobre las costas espuestas al nor-deste se experimenta un calma perfecta en las costas opuestas.

Un movimiento oscilatorio muy regular de la atmósfera, cuya generalidad se ha reconocido recientemente, es el que produce las variaciones horarias del barómetro. Mr. Humboldt reconoció que el barómetro está en su maximum á las 9 de la mañana; que descende muy poco hasta las 12, pero mucho desde el mediodia hasta las 4 ó 4½; que se eleva de

nuevo hasta las 11 de la noche en que está algo mas bajo que á las 9 de la mañana. Baja de nuevo toda la noche hasta las 4½ de la mañana, en que está algo mas alto que á las 4 de la tarde; en fin vuelve á subir desde las 4 hasta las 9 de la mañana. Las épocas de estas variaciones horárias son las mismas en las costas del gran Oceano y en las llanuras del rio de las Amazonas, que en los lugares elevados 2000 toesas, y parecen independientes de los cambios de la temperatura y las estaciones. La marcha del barómetro parece determinada solo por el tiempo verdadero ó la posicion del sol. En algunos lugares de los trópicos el momento en que el barómetro empieza á descender está marcado de tal modo, con que de un cuarto de hora de diferencia el barómetro indica el tiempo verdadero. En el nivel del mar bajo el ecuador, siendo z el termino medio del barómetro, su altura es poco mas ó menos á las 21 horas del día, $z+0,5$; á las 4 horas $z-0,4$; á las 11 horas $z+0,1$; á las 16 horas, $z-0,2$.

Los vientos mas conocidos son los de tierra y de mar: en esta reina por la noche un viento de tierra directamente opuesto al viento de tierra que reina en el dia. He aquí como se explica el fenomeno; durante el dia el sol calienta mas la tierra que el mar; el aire atmosférico está entonces mas dilatado sobre la tierra que sobre el mar y tiende á elevarse; las capas de aire que se hallan sobre el mar vienen á reemplazar á las que se elevan, y forman una corriente del mar á la tierra. Durante la noche sucede lo contrario, por que las variaciones de temperatura son menos sensibles en el mar que en la tierra, y se forma una corriente de la tierra al mar.

En el Oceano indio los monzones parecen destruir la uniformidad del movimiento general de la atmosfera. Desde el trópico meridional hasta el decimo grado de latitud sud los vientos alicios reinan habitualmente; pero al norte de este limite empieza el imperio de los monzones, ó vientos periódicos de

seis meses. Desde el mes de abril hasta octubre, sopla continuamente un gran viento sud-oeste. El cambio de un monzon á otro se hace gradualmente y vá acompañado de tempestades y huracanes. Esta corriente no parece muy elevada en la atmosfera por que es detenida por montañas de mediana altura. En las costas del archipiélago indio los monzones soplan casi directamente de norte á sud.

Existe en la zona equinocial boreal brisas ó vientos de nor-deste, cuya cesacion coincide con la estacion de las lluvias y tormentas, con el paso del sol por el zenit del lugar, y con las frecuencia de calmas y vendabales, ademas son los vientos de sud este y sud-oeste tormentosos, y acompañados de un cielo encapotado. Mr. de Humboldt piensa que se puede hallar una causa de la coincidencia de estos fenómenos en la interrupcion de la corriente que sopla de un polo homonimo, en la falta de renovacion del aire bajo la zona torrida, y en la accion continua de la corriente húmeda ascendente.

De las bombas.

Las bombas ó sifones son fenómenos desastrosos que se verifican en un espacio muy pequeño de la atmósfera. Ninguna parte del globo está al abrigo de estos estragos, por que se ven las arenas de los ardientes desiertos del Africa, las nieves de la Siberia, las aguas de los mares y lagos elevarse en torbellinos en todas latitudes. Debe decirse sin embargo que los mares que bañan las orillas de la China y del Japon, y los países cálidos presentan mas frecuentemente este meteoro que los climas frios y templados.

De las bombas terrestres.

Estas bombas se presentan bajo la forma de una columna inmensa de aire remolinandose con gran velocidad, y que cuando es muy fuerte arrolla cuan-

to encuentra á su paso, secando lagos y estanques y arrancando árboles. Vamos á citar aquí la observacion de una bomba ordinaria de que dá cuenta Franklin á Mr. Collinson en los terminos siguientes. "Estando en Marylan, dice, y yendo á caballo con el coronel Tasker y algunos otros amigos á su casa de campo, donde nos recibió á mi hijo y á mí con toda la atencion y cortesia posibles, vimos en un valle bajo nosotros un pequeño torbellino que empezaba en el camino, y se hacia notable por el polvo que llevaba y levantaba. Parecia en la forma á un cono prolongado en su punta que subia hacia nosotros á lo largo á medida que avanzaba. Cuando pasó cerca su punta vuelta hacia la tierra me pareció mas gruesa que un tonel comun: pero se anchaba tanto por arriba que á 40 ó 50 pies de elevacion parecia tener 20 ó 30 pies de diámetro. Los demas que me acompañaban se detubieron para observar-lo; pero como mi curiosidad era mayor le seguí dirigiendo á su lado mi caballo y observé que en su curso lamia, por decirlo asi, todo el polvo que estaba debajo de su punta."

"Como es una opinion comun que disparando un tiro á una bomba la hace rebentar, ensayé, pero inutilmente, romper este pequeño torbellino con mi látigo á golpes redoblados. Poco tiempo despues dejó el camino y entró en el bosque, donde se hizo mayor y mas fuerte por momentos arrebatando en lugar de polvo hojas secas de que estaba la tierra sembrada, haciendo mucho ruido entre las hojas y ramas de los árboles, y doblando y torciendo circularmente gruesos árboles con una facilidad y fuerza sorprendentes: aun que el movimiento progresivo del torbellino no era tan violento que un hombre á pie no pudiera seguirlo, sin embargo el movimiento circular era de una rapidez admirable. Las hojas que contenia entonces me hicieron conocer claramente que la corriente de aire que las impelia subia en linea espiral; y cuando ví los troncos y grandes trozos de árboles que habia arrebatado] el

„torbellino á su paso sin deshacerse despues de haberlos pasado, no me admiré que mi látigo nada hubiera hecho en el pequeño torbellino cuando empezaba”

„Cerca de tres cuartos de milla le acompañé hasta que algunas ramas secas de árboles tronchadas por el torbellino volando por el aire y cayendo á mi lado me advirtieron el peligro. Me detuve entonces contentandome con seguir con la vista su cabeza; á medida que se alejaba las hojas que arrebatava le hacian visible á una grande elevacion sobre los árboles. El mayor número de estas hojas escapandose de la parte superior y mas anchura del torbellino eran dispersadas por el viento pero las elevava tanto que no parecian mayores que moscas.”

„Mi hijo, que habia venido hasta allí conmigo, siguió el torbellino en toda su travesia por el bosque á cuya salida atravesó un antiguo plantio de tabaco donde no habiendo encontrado ni polvo, ni hojas que arrebatara, fué estinguendose poco á poco y se disipó al fin totalmente sobre aquel campo.”

„El curso del viento general que soplabá entonces seguia casi la misma direccion que nosotros, y el movimiento progresivo del torbellino era en una direccion casi opuesta, aunque no siguió una línea recta y su marcha no fué uniforme, separandose en su camino algo á derecha é izquierda, avanzando mas viva ó mas lentamente y pareciendo algunas veces estacionario por algunos segundos para lanzarse en seguida adelante con mayor fuerza.”

De las bombas ó mangas marinas.

Las bombas marinas van acompañadas de borbotones del mar; las aguas parecen elevarse en la atmósfera bajo la forma de una pirámide truncada; las bombas ocupan sobre el mar un espacio circular, mientras la parte opuesta del cielo presenta una nube que tiene la forma de un cono inverso cuya pun-

ta parece descender hácia la superficie de las olas.

Los desastres causados por estas bombas son algunas veces terribles; por ellas se ven quebrados los mástiles de los navios, desgarradas las velas, rotas las cuerdas y muchas veces sepultado el navio mismo en las olas: he aqui como Dampierre hace la descripción del accidente que estuvo á punto de sumergir en 1764 el navio *Blessing*, sobre las costas de Guinea á la latitud de siete ú ocho grados norte. "Una de las bombas que los marinos divisaron avanzó con mucha velocidad directamente al navio y reventó poco antes de llegar á él haciendo un gran ruido, y elevando el agua que le rodeaba como si se hubiera arrojado al mar un gran edificio ó cosa semejante. El viento continuó con furor y cogió al navio por estribor con tal violencia, que rompió á la vez los mástiles baupres y el de trinquete y soplando en la longitud del barco le arrojó de costado estando á pique de volcarlo del todo; pero el navio se enderezó bien pronto por que el viento remolinandose, y cogiendole con la misma furia por el lado opuesto le arrojó sobre la otra borda estando tambien á pique de volcarlo absolutamente. El palo de mesana sufrió el furor de este segundo embate y se quebró cerca de su pie, como lo habian sido los dos precedentes."

"Véase ademas como el Dr. Mercer refiere una bomba que observó cerca de Antigua. "Aparecieron, dice, á poca distancia de la ensenada de S. Juan dos ó tres bombas de las cuales una iba en direccion de la ensenada, su movimiento progresivo era lento y desigual, no en línea recta sino á saltos y undulaciones. Luego que llegó directamente sobre el puerto estaba yo de ella como cien varas. Entonces se presentó en el agua un circulo prosximamente de veinte varas de diámetro que me ofreció á un tiempo un espectáculo agradable y terrible. El agua estaba violentamente agitada en este circulo donde era conmovida con mucha rapidez y desorden, y despedia un brillo, cual si el sol hubiera lanzado sus mas vivos rayos

sobre aquel lugar, fenomeno tanto mas sorprendente cuanto que aparecia un circulo tenebroso en su alrededor. Cuando llegó á la orilla arrebató con la misma violencia maderas, palos y una casilla de madera que arrancó de cimientos, y trasladó á la distancia de 40 pies de su primer lugar, dejandola allí sin romperla, ni volcarla; pero es lo mas notable que aunque el torbellino se dirijia del oeste al este la casilla fué llevada del este al oeste. Dos ó tres negros y una muger blanca murieron por la caída de la casilla que habia sido elevada en el aire y cayó sobre ellos”

Algunos fisicos han mirado la electricidad como la causa de este fenómeno tan curioso como terrible pero nos parece que debe recurrirse mas bien para esplicarlo á la accion del viento.

De las nubes y las nieblas.

Nada añadiremos á lo que hemos dicho en la página 235. sobre la teoría de las nubes y las nieblas; solamente referiremos la observacion siguiente debida á Mr. Humboldt á cerca de la precipitacion de los vapores.

La corriente ascendente es una de las causas principales de los fenómenos meteorológicos mas importantes. Cuando una llanura arenosa y sin plantas está limitada por una cadena de elevadas montañas se ve el viento de mar impeler sobre este desierto espesas nubes, que no se deshacen hasta que han llegado á las montañas. En otro tiempo se explicaba este fenómeno de una manera poco exacta diciendo que las cordilleras de montañas atraian las nubes. La verdadera causa parece estar en esa columna ascendente de aire, que se eleva de la superficie de las llanuras arenosas, é impide á los vapores disolverse. Cuanto mas desprovista de vegetacion está una superficie mas se calienta la arena y mas se elevan las nubes; por consiguiente menos debe efectuarse la disolucion. Todas estas causas dejan de

obrar en la falda de las montañas; el movimiento de la corriente perpendicular de aire es mas debil; las nubes bajan y se deshacen en lluvia en las capas mas frescas de aire. Asi la falta de lluvia y el defecto de plantas obran alternativamente una sobre otra. No llueve por que la superficie arenosa, desnuda y privada de vegetacion se calienta mucho y refleja mas calor; y el desierto no se convierte en arenas ó en una sábana sino por que sin agua no puede haber desenvolvimiento orgánico (Humboldt, Tableaux de la Nature, tom. 2º pág. 95)

Del rocío y de la escarcha. Véanse las pág. 236 y 237.

De la lluvia.

Hablando de los instrumentos meteorológicos de Mr. Leslie hemos dado la ingeniosa teoría que el mismo autor dá de la lluvia cuando las nubes se encuentran á diferentes temperaturas: bastará aqui añadir que en general la cantidad de agua que cae en un pais es tanto mayor cuanto su posicion se acerca mas al ecuador. Se observa entonces que cae mas lluvia en un solo dia en estos lugares que en mayores latitudes durante muchos meses ó aun un año entero.

De la nieve.

La formacion de la nieve parece producirse cuando la temperatura del aire baja hasta el grado de congelacion, las gotas de agua que resultan solidificadas entonces se convierten en nieve y forman, por su reunion al descender estrellas de seis rayos, cuando el aire está en calma, y copos cuando éste fluido está agitado.

Del granizo.

La formacion del granizo se esplica de la mane-

ra siguiente: supónganse dos nubes tormentosas situadas una sobre otra cargadas de electricidad de nombre contrario y á una distancia conveniente; supóngase además que por una evaporacion, un enfriamiento ó por otra causa cualquiera, se forma entre estas nubes pequeños granizos de hielo que encuentran en su caída la nube inferior, se cargan de la misma electricidad que ella, despues de lo cual son repelidos por la electricidad de esta nube y atraidos por la de la nube superior, en la que neutralizan una cantidad igual del fluido contrario al de que estan cargados; en seguida dividen con la nube su electricidad, son repelidos entonces por ella y atraidos por la electricidad de la nube inferior, que los repele á su vez y asi sucesivamente. Entonces se concibe que los mas pequeños granizos encontrando en su trayecto el vapor acuoso repartido en el aire pueden condensarlo en su superficie y aumentar asi su volúmen, hasta que su peso, superando las fuerzas eléctricas, los obliga á precipitarse sobre la tierra.

ADICION DEL TRADUCTOR.

Siendo las definiciones una expresion abreviada y esacta de las cosas que se definen, y un medio de fijar en la memoria las diferentes ideas que hayan podido adquirirse en cada uno de los tratados de esta obra, he juzgado conveniente agregar al fin de este Manual un catálogo de aquellas mas precisas, bien por que las haya omitido el autor, ó bien por que en alguna de ellas no haya tenido todo el laconismo, presicion y claridad necesarios en esta parte de las otras científicas. Bien conozco que no está muy en armonia con el orden que hoy se sigue el abundar en definiciones que son las mas veces dificiles, otras obscuras é impropias y alguna otra casi imposibles de hacer, y que por esta razon son muy preferibles las descripciones que aunque mas verbosas y menos fáciles de conservar, son sin embargo mas esactas y espresivas. Mas como será muy posible que esta obra se adopte para la enseñanza de la juventud por hallarse al nivel de los conocimientos del dia, y considerando á un tiempo que en los primeros años hay mas dificultad en espresar las ideas que en adquirirlas, no será acaso redundante ó importuno el pequeño trabajo que me tomo con el laudable objeto de aliviar á los jóvenes en la penosa tarea de sus primeros estudios.

Tambien he creido que se lograba mejor el objeto indicado formulando las definiciones en diálogo de la manera siguiente.

¿Que es Filosofia?

Es el conocimiento de todas las cosas de la naturaleza adquirido por la razon y la demostracion.

¿Que es ciencia?

La reunion de proposiciones unidas entre si por mútua dependencia.

¿Que es naturaleza?

El conjunto de todos los cuerpos que componen el universo.

¿Que es fisica y de cuantas maneras puede ser?

La Fisica en su mayor estension significa la ciencia experimental de la naturaleza. Pero puede definirse de otro modo diciendo que es:

La ciencia que dá á conocer las propiedades verdaderamente generales de los cuerpos, describe las acciones mecánicas que ejercen unos sobre otros, y deduce las leyes en virtud de las cuales estas propiedades ejercen estas acciones.

Tambien puede la Fisica, segun la manera de estudiarse, ser *especulativa experimental y práctica*. Se llama *especulativa* si para demostrar las propiedades, acciones y leyes de los cuerpos se vale solo del racionio: se dice *experimental* si se vale ademas de las observaciones y experimentos, y es *práctica* cuando aplica sus conocimientos á las artes, las manufacturas ú otros fines útiles al hombre.

La Fisica se dice ademas *general* si trata de las propiedades generales de los cuerpos y *particular* si solo trata de algunas peculiares á cierta clase de cuerpos.

¿Que es Química?

La ciencia que dá á conocer la accion íntima y recíproca de unos cuerpos sobre otros ó mas bien de sus moléculas.

¿Que es Historia natural?

Es aquella parte de la filosofia natural que enseña á conocer las cualidades y propiedades de todos los cuerpos de la naturaleza y á dividirlos en familias segun su analogia respectiva. Esta ciencia comprende la Mineralogia que trata del origen, configuracion, propiedades y usos de los minerales; la Botánica que trata del conocimiento de los vegetales de sus caracteres, sus diferencias y su clasificacion metódica; y la Zoologia en fin cuyo objeto es el

conocimiento de los animales, sus caracteres y diferencias y su acertada clasificacion.

¿Que es Astronomía?

Es la ciencia que trata de la magnitud, distancia y movimientos de los astros, y demas cuerpos celestes.

¿Que es Geología ó Geognosia?

La ciencia que dá á conocer la estructura, situacion y naturaleza de las materias térreas, ú de otras substancias minerales que entran en la composicion del globo terrestre.

¿Que es cuerpo?

Todo lo que nos manifiesta su existencia por alguna accion sobre nuestros sentidos.

¿Que es propiedad?

Todo lo que observamos constantemente en los cuerpos, sea en su modo de obrar, sea en su modo de existir.

¿Como se dividen las propiedades de los cuerpos?

En universales que son comunes á todos los cuerpos, como la estension, y en particulares que solo se observan en algunos, como la transparencia, la elasticidad.

Se subdividen las primeras en esenciales que son las que no aumentan ni disminuyen en una determinada porcion de materia, que no se derivan de otras y de ellas nacen las demas; y en accidentales que aunque comunes á todos los cuerpos, carecen de los caracteres espresados.

¿Que es fenómeno?

Es cualquier suceso que nos presenta el espectáculo de la naturaleza.

¿Que es experimento y que observacion?

Experimento es la aplicacion de un cuerpo á otro para ver el efecto que produce: y observacion la atenta consideracion de un fenómeno.

Se diferencia la observacion del experimento en que en la primera solo hacemos uso de nuestros sentidos, cuando en el segundo hay ademas la aplicacion de un cuerpo intermedio.

¿Cuales son las propiedades generales de la materia?

Las principales son la estension, la impenetrabilidad, la divisibilidad, inercia, atraccion y movilidad.

¿Que es estension?

Es el lugar ocupado en el espacio, ó bien el resultado de la contiguidad y distincion de las partes de un cuerpo.

¿Cuantas dimensiones hay en la estension?

Tres que considera separadamente el geómetra 1^o la longitud que constituye la línea. 2^o la longitud y latitud que forman la superficie : y 3^o la longitud, la latitud y la profundidad que constituyen el cuerpo, el volumen ó el sólido.

¿Que es impenetrabilidad y que solidez?

Impenetrabilidad es la propiedad en virtud de la cual dos cuerpos no pueden ocupar á un tiempo el mismo lugar. Solidez es aquella por la que las partes de un cuerpo resisten, en virtud de la fuerza de cohesion que las une, á las fuerzas que intentan separarlas ó cambiar su posicion.

¿En que se diferencian la impenetrabilidad y la solidez?

En que la impenetrabilidad es la facultad de escluir un cuerpo del lugar ocupado por otro ; y la solidez es el efecto ó ejercicio de esa facultad.

¿Que es divisibilidad?

La aptitud que tienen los cuerpos para dejar separar sus partes ; ó bien la propiedad que tienen los cuerpos de poderse reducir á menores partes.

¿Es lo mismo division que descomposicion?

No lo es, por que division es la separacion de las partes, descomposicion es la separacion de los principios componentes de un cuerpo. En la division las partes separadas son homogéneas ó de la misma naturaleza, en la descomposicion las partes son eterogéneas ó de distinta naturaleza.

¿Que es compresibilidad?

La propiedad que tienen los cuerpos de poderse comprimir por la accion de una fuerza conveniente.

¿Que es elasticidad?

Es una propiedad por la que ciertos cuerpos comprimidos por una fuerza cualquiera vuelven por si mismos á recuperar la figura y dimensiones que tenian antes de la compresion.

¿Que es cuerpo elástico?

El que cediendo á la accion de una fuerza que lo comprime recobra prontamente su primer estado cuanto cesa la compresion.

¿Que es movilidad?

La facultad que tienen los cuerpos de poder ser transportados de un lugar á otro.

¿Que es movimiento y de cuantas maneras puede ser?

La traslacion de un cuerpo de un lugar á otro.

El movimiento puede ser absoluto y relativo; igual ó uniforme y desigual ó variable; acelerado ó retardado; uniformemente acelerado y uniformemente retardado; simple y compuesto; rectilineo y curvilineo; reflejo y refracto.

¿Que es movimiento *absoluto* y que *relativo*?

Movimiento absoluto es la traslacion verdadera ó absoluta de un cuerpo de una parte á otra del espacio; y relativo la mutacion de lugar de un cuerpo con relacion á los cuerpos que le rodean.

¿Que es movimiento *uniforme* y que *desigual* ó *variable*?

Movimiento uniforme es el de un cuerpo que en tiempos iguales corre espacios iguales; y se dice variable si en iguales tiempos corre espacios desiguales.

¿Que es movimiento *acelerado* y que *retardado*?

Se llama movimiento acelerado el de un cuerpo que en tiempos iguales corre espacios que van aumentando, ó bien espacios iguales en tiempos que van disminuyendo; y se dice retardado el de un cuerpo que en tiempos iguales corre espacios que van disminuyendo ó bien iguales espacios en tiempos que van aumentando.

Llámanse ademas movimiento *uniformemente acelerado* si los aumentos de los espacios son iguales en

los mismos tiempos y *uniformemente retardado* si las disminuciones de los espacios son iguales en los mismos tiempos.

¿Que es movimiento *simple* y que *compuesto*?

Simple es el producido por una sola fuerza y compuesto el producido por dos ó mas.

¿Que es movimiento *reflejo* y que movimiento *refracto*?

Movimiento reflejo es el que sigue un cuerpo cuando después de chocar con otro rechaza ó se retira de él, y refracto el de un cuerpo que se desvia de su primitiva direccion.

¿Que es *reposo* ó *quietud* y de cuantas maneras puede ser?

La permanencia de un cuerpo en un mismo punto, y puede ser absoluto y relativo.

Se llama *absoluto*, si considerado el cuerpo en distintos tiempos ocupa siempre las mismas partes del espacio por las mismas partes del cuerpo; y *relativo* si aunque se mueva no varia de lugar con relacion á los cuerpos que le rodean.

¿Que circunstancias hay que considerar en todo movimiento?

Varias á saber: cuerpo que se mueve, espacio, tiempo, direccion, velocidad ó celeridad y fuerza.

¿Que es espacio?

Es una capacidad en que pueden recibirse y moverse los cuerpos. Si este espacio se considera inmenso y sin limites se llama *absoluto*, y se dice *relativo* cuando se considera una parte limitada del mismo espacio.

¿Que es tiempo?

Es una idea difícil de espresar; pero puede decirse que se concibe figurandose un orden de cosas que se suceden sin interrupcion.

¿Que es velocidad y cuantas especies hay de ella? Velocidad es la comparacion del espacio corrido con el tiempo empleado en correrlo y puede ser *absoluta* y *respectiva*.

¿Que es velocidad absoluta y que respectiva ó relativa de un cuerpo?

Se llama *velocidad absoluta* la celeridad de un cuerpo sin relacion á ningun otro; y *velocidad respectiva* la de dos cuerpos que se acercan ó se desvian mutuamente.

¿Que es fuerza?

Es todo poder que determina una accion, ó bien todo aquello que produce movimiento ó intenta producirlo ó resiste quebrando ímpetu.

Se llama *fuerza viva* la que produce movimiento, y *muerta* la que no lo produce.

¿Que es inercia?

Es una fuerza en virtud de la cual los cuerpos procuran conservar su estado de quietud ó movimiento.

¿Que es gravedad ó pesadez?

Es una fuerza por la que los cuerpos dejados libremente decien den al centro de la tierra.

La gravedad es ó *absoluta* y se compone de la suma de la de todas las partes de un cuerpo; ó *especifica* que es la misma gravedad con relacion al volumen del cuerpo.

¿Que es atraccion y de cuantas maneras puede ser?

Es una fuerza por la que todos los cuerpos se aproximan ó tienden á aproximarse mutuamente. La atraccion se divide en *general*, que tambien se ha llamado por algunos fisicos *grande atraccion* ó *gravitacion*, y es la que obra en grandes masas y á largas distancias, como por ejemplo, en los cuerpos celestes; en *gravedad* ó mejor *pesadez* que se observa entre la tierra y los cuerpos colocados en su atmósfera; y en atraccion *mulécular* ó *afinidad* que obra en pequeñas masas y á cortas distancias, como se observa entre las moléculas de los cuerpos.

¿Que es Estática?

Es aquella parte de la fisica que trata del equilibrio de los cuerpos.

¿Que es máquina?

Es un instrumento destinado á transmitir la accion de una fuerza á cuerpos que no se encuentran

en su direccion; ó bien un instrumento empleado en producir movimiento ahorrando tiempo en el efecto ó fuerza en la causa.

¿Que es potencia y que resistencia en una máquina?

Potencia es la fuerza que tiene por objeto vencer un obstaculo ó mover un cuerpo; y *resistencia* el obstaculo ó fuerza que se intenta vencer por medio de la potencia.

¿Que es punto de apoyo en una máquina?

Es un punto fijo é inmovil capaz de resistir los esfuerzos de la potencia y la resistencia.

¿Que es centro de gravedad de un cuerpo?

Es aquel punto al rededor del cual todas las partes del cuerpo se hallan en equilibrio.

¿Que es equilibrio en una máquina?

Es el estado de quietud que resulta de la exacta contraposicion de fuerzas que se contrarrestan.

¿Cuantas y cuales son las máquinas simples?

Tres; la palanca, el plano inclinado y las cuerdas ó máquinas funiculares.

¿Que es palanca y cuantas son sus especies?

La *palanca*, matematicamente considerado, es una vara inflexible y sin pesadez recta ó curva y móvil al rededor de un punto fijo que se llama punto de apoyo.

Hay tres clases de palanca que son las de primero, segundo y tercer género, y en cada una de las cuales la potencia, la resistencia y el punto de apoyo tienen diferentes posiciones.

Se llama de primer género aquella en que el punto de apoyo está en medio y la potencia y la resistencia en los extremos.

Es de segundo género si la resistencia está en medio y el punto de apoyo y la potencia en sus extremos.

Y es finalmente de tercer género si la potencia se halla en medio y la resistencia y el punto de apoyo se encuentran en los extremos.

¿Cual es la ley de equilibrio en la palanca?

Si con el auxilio de una palanca se hacen obrar

uno contra otro dos pesos de los cuales el uno haga las veces de potencia y el otro de resistencia habrá equilibrio siempre que la potencia y la resistencia estén en razon inversa de sus distancias al punto de apoyo.

¿Que es polea y de cuantas maneras puede ser?

Es un plano circular de madera ó de metal móvil sobre un eje que está sostenido en una chapa. El plano circular tiene en el espesor de su circunferencia una muesca para recibir una cuerda que circuye parte de su circunferencia.

La polea puede ser *fija y móvil*. Es *fija* cuando no tiene otro movimiento que el de rotacion sobre su eje, y *móvil* cuando ademas del movimiento de rotacion tiene otro de traslacion.

¿Que es torno?

Es un cilindro ó gran rueda que gira sobre un eje mantenido por dos puntos fijos y en el cual se enrolla una cuerda que mantiene un peso.

¿Cual es la ley de equilibrio en el torno?

Habrà equilibrio en el torno si *la potencia es á la resistencia, como el rãdio del eje es al rãdio de la gran rueda ó cilindro.*

¿Que es planó inclinado y cual es su ley de equilibrio?

Se llama plano inclinado el que forma con el horizonte un ángulo que no es recto.

Su ley de equilibrio varia segun que la fuerza ó la potencia es paralela á la longitud del plano ó bien paralela á la base del mismo. En el primer caso: *la potencia es á la resistencia como la altura del plano es á su longitud*: y en el segundo *la potencia será á la resistencia como la altura del plano es á la longitud de su base.*

¿Que es cuña y cuantas especies hay de ella?

Es un prisma triangular de madera ó de metal que sirve para cortar, hender ó separar las partes de los cuerpos. Hay que considerar en la cuña el *dorso* que es la parte mas gruesa de la misma y el *corte ó punta* que es su parte mas estrecha.

La cuña puede ser *simple* y *doble*: *simple* es aquella cuyo perfil puede representarse por un triángulo rectángulo, y *doble* la que se representa por dos triángulos rectángulos unidos por uno de sus catetos ó bien por un triángulo isocèles.

¿Que es Hidrostática?

Es aquella parte de la física que tiene por objeto la gravedad y equilibrio de los líquidos, y el modo de obrar de los sólidos sumergidos en ellos.

¿Que es gravedad específica?

La relacion del peso de un cuerpo con su volumen ó bien la cantidad de materia que contiene un cuerpo en un volumen determinado.

¿Que es barómetro?

Es un instrumento que indica las variaciones del peso de la atmósfera.

Que es balanza?

Es una máquina que sirve para equilibrar dos cantidades iguales de materia, de manera que conociendo el peso de la una se sabe necesariamente el peso de la otra.

La balanza es una palanca de primer genero de brazos iguales: hay que considerar en ella 1.^o el astil cuya longitud está dividida en dos partes iguales por su eje 2.^o los dos platillos suspendidos de los extremos del astil y 3.^o la manija que sirve de punto de apoyo al eje y donde se halla el centro del movimiento.

¿Que es romana?

Es una palanca de primer género de brazos desiguales que sirve para conocer el peso de los cuerpos por el intermedio de un pequeño peso colocado á diferentes distancias del punto de apoyo.

¿Que es areómetro?

Es un instrumento que sirve para determinar las gravedades específicas de los líquidos.

¿Que son tubos capilares?

Se llaman tubos capilares aquellos cuyo diámetro es tan estrecho que apenas da paso á un cabello.

¿Que es Dinámica?

Es aquella parte de la física que trata de la valua-

cion de las fuerzas y de los movimientos que ellas producen.

¿Que es choque y de cuantas maneras puede ser?

Es la accion de un cuerpo que estando en movimiento dá con otro con toda su fuerza. El choque puede ser *directo* y *oblicuo*; el primero es aquel en que los centros de gravedad de los cuerpos se hallan en la direccion del movimiento; y se llama *oblicuo* cuando no siguen esta direccion.

¿Que es bomba y cuantas especies hay de ella?

Es un instrumento destinado á elevar el agua: hay tres clases de bomba, la *atrahente* ó *aspirante*, la *impelente* ó *de compresion* y la *mista*.

¿Que es péndulo y de cuantas maneras puede ser?

Se entiende por péndulo un peso suspendido de un hilo de modo que pueda girar al rededor de un punto fijo que se llama *centro de suspension*.

El pendulo es *simple* ó *compuesto*: simple es el que consiste en un peso suspendido de un hilo sin pesadez, y móvil al rededor de un punto fijo: y compuesto el que consiste en muchos pesos unidos igualmente á un hilo sin pesadez.

¿Que es Acústica?

Es aquella parte de la fisica que trata del sonido.

¿Que es sonido y cuantas cosas hay que considerar en él?

Es un movimiento vibratorio impreso á un cuerpo sonoro, comunicado despues por este cuerpo al fluido que le rodea, y transmitido en fin al órgano del oido que recibe la impresion.

El sonido debe considerarse primero en el cuerpo sonoro ó sea su produccion, segundo en el medio que lo trasmite ó sea su propagacion y finalmente en el oido ó sea en el órgano que experimenta la sensacion.

Muchas circunstancias hay que considerar tambien en cada uno de estos estados y que son otras tantas cuestiones que resuelve acertadamente el autor en cada uno de los tratados de su acustica.

¿Que es calórico y cuales son sus principales propiedades?

El calórico, segun todos los fisicos, es un fluido imponderable, estremadamente sutil, radiante, que penetra todos los cuerpos de la naturaleza, los calienta y dilata, combinandose con ellos.

¿Cuántas clases hay de calórico?

Dos principalmente que son 1.º el calórico *libre*, *interpuesto* ó *radiante* y 2.º el calórico *combinado* ó *latente*. Se llama *calórico libre* el que se halla en la superficie de los cuerpos ó simplemente interpuesto entre sus moléculas, que puede medirse y sentirse, y que tiene la facultad de estenderse en forma de rayos y de reflejar en los cuerpos bruñidos. Y se llama *combinado* el que está encadenado en los cuerpos por la fuerza de afinidad ó atraccion, que constituye su manera de ser, y no puede sentirse ni medirse por los instrumentos.

Ademas de las dos especies dichas admiten los fisicos otro calórico que llaman *especifico*, que es la cantidad variable de calórico, que muchos cuerpos de diferente naturaleza ó iguales en peso necesitan para pasar desde cero grados á una misma temperatura. Se dice que un cuerpo tiene mas ó menos capacidad para el calórico segun absorbe mas ó menos cantidad de él que otro cuerpo.

¿Que instrumentos sirven para medir el calórico?

Tres principales que son el termoscópio, el termómetro y el pirómetro.

¿Que es termómetro, termoscópio y pirómetro?

Se llama *termómetro* en general á todo instrumento destinado á conocer la diferencia de temperatura que ecsiste entre dos cuerpos desigualmente calientes. Si el instrumento sirve para temperaturas poco elevadas se llama *termoscopio*; si está destinado á medir temperaturas altas se llama *pirómetro* y conserva el nombre propiamente de *termómetro* si se emplea en las temperaturas medias.

Estos tres instrumentos varian aun mas en su construccion que en sus usos y se construyen varias especies de cada uno de ellos.

En el termoscopio hay el termómetro diferencial

de Leslie ó termómetro de aire, y el termoscopio de Rumfort. En el termómetro, segun su diferente graduacion, se conoce el centigrado ó de Celsius, el de Reaumur ó de Deluc, el de Delisle, y el de Fahrenheit; y hay ademas el inventado por Breguet de que habla nuestro autor. Finalmente en el pirómetro se conocen el de Wegwood y los de Lavoisier y Brongnard.

¿Que es hygómetro?

Es un instrumento destinado á medir el grado de humedad de la atmósfera ó de un gaz cualquiera.

¿Que es electricidad?

Se dá este nombre á la propiedad que tiene ciertos cuerpos cuando son frotados, calentados, ó simplemente puestos en contacto, de atraer y repeler los cuerpos ligeros, de arrojar chispas ó penachos luminosos, de hacer experimentar conmociones mas ó menos fuertes al sistema nervioso, y de producir la descomposicion de un gran numero de cuerpos.

La electricidad, en el estado actual de nuestros conocimientos, no puede esplicarse sin admitir la presencia de un fluido compuesto de otros dos secundarios que se han llamado *fluidos eléctricos vitreo y resinoso*.

¿Que es galvanismo ó electricidad galvánica?

Se entiende por galvanismo una serie de fenomenos análogos á los de la electricidad y desenvueltos por el contacto de dos cuerpos de diferente naturaleza, bien sean dos metales, un metal y una sustancia animal ó en fin dos materias animales diferentes.

En el dia estos fenómenos se refieren á la electricidad ordinaria y se esplican, del mismo modo que los de ella con el concurso de los dos fluidos vitreo y resinoso.

¿Que es magnetismo y que fluido magnético?

Es aquella parte de la fisica que se ocupa de las propiedades del iman.

Para la esplicacion de estas propiedades se admitia por los fisicos la existencia de un fluido imponderable compuesto como el fluido eléctrico de

dos fluidos secundarios uno austral y otro boreal de propiedades análogas á las de los fluidos vitreo y resinoso. En el dia deben referirse los fenómenos magneticos á la electricidad misma.

¿Que es Optica?

Es aquella parte de la fisica que trata de la luz y del mecanismo de la vision.

Ademas de esto la óptica trata de el fluido luminoso en general, y comprende tambien la catóptrica, la dióptrica y la perspectiva.

¿Que es luminico?

Es un fluido impoderable, muy sutil, estendido en todo el universo, que emana, segun un gran número de fisicos, del sol y las estrellas fijas, y cuyas principales propiedades son: propagarse en linea recta, en forma de rayos, y con una velocidad prodigiosa; atravesar ciertos cuerpos llamados *medios* sufriendo en ellos, si cae oblicuamente un cambio de direccion mayor ó menor segun la densidad y combustibilidad de aquellos. Los rayos luminosos descompuestos por medio de un prisma producen tres clases de rayos unos *calorificos*, otros *colorificos* ó *luminosos* propiamente dichos, y finalmente otros *deoxidantes* ó *capaces de producir efectos quimicos*. Los colorificos se descomponen ó subdividen en siete, cada uno de los cuales presenta diferente color. El luminico es reflejado mas ó menos por la superficie de todos los cuerpos formando ángulos de incidencia iguales á lo de reflexion; no obstante que los cuerpos negros gozan apenas de esta propiedad. Influye poderosamente en la vejetacion de las plantas y en la vida de los animales, y goza ademas de otras varias propiedades.

¿Que es meteorologia y que se entiende por meteoro?

Es aquella parte de la fisica que tiene por objeto describir y esplicar los diferentes fenómenos que se verifican en la atmosfera: y se dá el nombre de meteoro á cualquier fenómeno ó mutacion apreciable que tiene su origen en la atmósfera.

Los meteoros se dividen en *acreos*, *acuosos*, *luminosos*, é *igneos*.

TABLA

DE LAS MATERIAS.

Prólogo del traductor.	3
Introduccion.	7

CAPITULO I.

PROLEGOMEMOS ò NOCIONES GENERALES PRELIMINARES, SOBRE EL FIN Y OBJETO DE LA FISICA.	
--	--

Definicion de la fisica.	37
--------------------------	----

CAPITULO II.

De la naturaleza y de sus propiedades generales.	42
Estension.	id.
Impenetrabilidad.	45
Porosidad.	48
Divisibilidad.	60
Compresibilidad.	63
Elasticidad.	71
Balanza da torsion.	75
Escopeta de viento.	77
Fuente de compresion.	id.
Fuente de Heron.	78
Ludion ó diablillo cartesiano.	79

Máquinas aspirantes.	id.
Máquina neumática.	80
Máquina de compresion	83
Movilidad.	id.
Inercia.	88
Gravedad.	89

CAPITULO III.

Nociones de Estática.

Céntró de gravedad.	94
Del equilibrio en las máquinas.	102
De la palanca—Palanca de primer género.	103
Palanca de segundo género.	105
Palanca de tercer género.	id.
De la polea.	116
De las ruedas dentadas.	119
Del torno.	121
Del cabrestante.	122
Del cric ó gato.	id.
Del plano inclinado.	id.
De la cuña.	124
Del tornillo.	id.

CAPITULO IV.

De la Hidrostática.

De la gravedad y equilibrio. de los líquidos	126
Equilibrio de los líquidos.	id.
Pesadez y equilibrio de los líquidos de diferen- tes densidades.	127
Del barómetro.	130
Del sifon.	131
	136

Pesadez y equilibrio de los sólidos sumergidos en los líquidos.	138
Cuerpos flotantes.	139
De los areómetros	140
Arcómetro de volumen variable.	144
Densidad de los sólidos.	143

CAPITULO V.

Fenómenos capilares.	145
----------------------	-----

CAPITULO VI.

De la Dinámica.

Movimiento rectilíneo compuesto.	150
<i>id.</i>	<i>id.</i>
Movimiento curvilíneo compuesto.	151
Cantidad de movimiento.	152
Choque de los cuerpos no elásticos.	<i>id.</i>
Choque de los cuerpos elásticos	153
Fuerzas centrales	154

CAPITULO VII.

Hidrodinámica e Hidráulica.

Presion constante	157
<i>id.</i>	<i>id.</i>
Vaso constantemente lleno.	158
Flotador de Prony.	<i>id.</i>
Teorema de Torricelli.	<i>id.</i>
Contraccion de la vena fluida.	159
Tubos adicionales	160
Unidad de medida en la distribución de las aguas.	<i>id.</i>
Surtidores.	161
Reacción producida por la corriente de los líquidos.	<i>id.</i>

Bombas.	162
Arriete hydraulico	165
Movimiento de los gases.	166
Gasometros.	167

CAPITULO VIII.

Leyes de las caida de los cuerpos	169
Plano inclinado de Galileo.	173
Del péndulo.	<i>id.</i>

CAPITULO IX.

Acústica.

Produccion y propagacion del sonido.	179
Velocidad del sonido.	181
Del ruido y del sonido musical.	183
De la onda sonora.	<i>id.</i>
Disminucion de la intensidad del sonido.	184
Refleccsion del sonido.	185
De la bocina.	186
De la trompetilla acústica	<i>id.</i>
Vibraciones de las cuerdas elasticas.	187
Vibracion de las varas sonoras.	190
Vibraciones de las placas y de las membranas.	193
Comunicacion de los movimientos vibratorios entre los cuerpos sólidos.	195
Instrumentos de viento.	197
Organo del oido.	200
Organos de la voz.	201

CAPITULO X.

Calórico.

	203
--	-----

Construcción del termómetro de mercurio.	204
Termómetro de aire.	206
Termómetro diferencial de Leslie.	207
Termoscopio del Conde Rumfort.	<i>id.</i>

§ 1.º

DILATACIONES.

Dilatación de los cuerpos sólidos.	208
Péndulo compensador.	211
Termómetro de Breguet.	212
Pirómetro de Wegwood.	213
Dilatación de los líquidos.	214
Dilatación de los gases.	216

§ 2.º

DE LA CONDUCTIBILIDAD.

Conductibilidad de los cuerpos sólidos.	217
Conductibilidad de los cuerpos líquidos.	<i>id.</i>
Conductibilidad de los cuerpos gaseosos.	218

§ 3.º

CALORICO RADIANTE.	<i>id.</i>
Del poder radiante de los cuerpos.	219
Poder absorbente de los cuerpos.	220
Poder reverberante de los cuerpos.	221

§ 4.º

LEYES DEL ENFRIAMIENTO DE LOS CUERPOS.	222
Equilibrio de temperatura.	223

§ 5.º

VARIACION DE ESTADO.

Fusión de los cuerpos sólidos.	224
---------------------------------------	-----

Ebullicion de los liquidos. 225
 Del frio producido por la evaporacion de los li-
 quidos. 226

§ 6.º

DE LOS VAPORES.

Fuerza elástica. 227
 De la densidad de los vapores. 231
 Mezcla de los vapores con los gases. 232
 Evaporacion de los liquidos. 538
 Condensacion de los vapores. *id.*

§ 7.º

DE LOS HIGRÓMETROS. 234
 De las nieblas y de las nubes. 235
 Del rocío. 236
 De la escarcha. 237
 Formacion artificial de hielo en Bengala. *id.*
 Calor especifico de diversas sustancias com-
 parado al del agua hirviendo tomada por uni-
 dad segun Lavoisier y Laplace. 241
 Calor especifico de diferentes gases bajo una mis-
 ma presion segun los señores Laroche y Be-
 rard, siendo la unidad el aire atmosférico. 242
 Calor especifico de los gases comparado con el
 del agua, tomada por unidad. *id.*
 Elevacion de temperatura que la combustion de
 18 granos de diversas sustancias comunica á
 igual cantidad de agua segun Rumfort, La-
 voisier y Laplace. 244

§ 9.º

DE LAS MAQUINAS DE VAPOR. *id.*

§ 10.º

DE LAS FUENTES DEL CALORICO. 24

Combinaciones químicas.	<i>id.</i>
De la presión.	247
De la frotación y del choque.	<i>id.</i>
De la electricidad.	248
Del frío producido por la fusión de los cuerpos.	<i>id.</i>
De las mezclas frigoríficas.	<i>id.</i>
Calor animal.	249

CAPITULO XI.

De la Electricidad.

Historia.	256
-----------	-----

§ 1.º

DE LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES.	257
De los cuerpos conductores y no conductores de la electricidad.	<i>id.</i>
Electricidad de diferente naturaleza.	258
Estado natural de los cuerpos.	256

§ 2.º

LEY QUE SIGUEN LAS ATRACCIONES Y REPULSIONES ELECTRICAS.	260
De la pérdida de la electricidad causada por el aire y los sostenes.	263
De la pérdida de la electricidad por el aire.	264
De la pérdida por los aislatorios.	267

§ 3.º

DISTRIBUCION DE LA ELECTRICIDAD EN LA SUPERFICIE DE LOS CUERPOS CONDUCTORES AISLADOS.	268
Distribucion de la electricidad en los cuerpos de distintas formas.	269
Division del fluido eléctrico entre los cuerpos que estan en contacto.	<i>id.</i>

Distribucion del fluido eléctrico en la superficie
de los cuerpos en contacto. 270

§ 4.º

DE LAS ELECTRICIDADES COMBINADAS. DE SU SEPARACION A DISTANCIA.	271
De los electróscopos,	274
Electróscopo de Haüy.	275
Electrómetro de cuadrante.	id.
Electrómetro de panes de oro inventado por Bennet en 1766.	276
Electrómetro de pajas.	id.
Electrómetro de bolas de sauco.	277
Electróscopo de Coulomb.	id.
Electroforo.	id.
Máquinas eléctricas.	278

§ 5.º

ELECTRICIDADES SIMULADAS.	283
Condensador de tafetan.	275
Electrómetro condensador.	id.
Botella de Leyden.	id.
Carga sucesiva ó por cascada.	287
Bateria eléctrica.	288

§ 6.º

DE LA ELECTRICIDAD ATMOSFERICA.	id.
De los para-rayos.	292
Efectos mecánicos de la electricidad.	293
Accion de la electricidad sobre la economia animal.	id.

CAPITULO XII.

Galvanismo.

De la electricidad desarrollada por él contac.

to de sustancias eterogéneas.	295
Construccion de la pila de Volta.	296
Efectos fisicos quimicos y de la pila.	299
Descomposicion del agua.	<i>id.</i>
Efectos fisiológicos de la pila.	301
De la electricidad producida por el calor.	303
De la electricidad producida por la presion.	<i>id.</i>
De la electricidad que se desarrolla en las combinaciones quimicas.	304
De los fenómenos termo-eléctricos.	305
Do los pescados eléctricos.	<i>id.</i>

CAPITULO XIII.

Del magnetismo.

Fenómenos generales	307
Ley que siguen las atracciones y repulsiones magnéticas.	310
Método del doble toque.	311
De los puntos consecuentes.	<i>id.</i>
De las armaduras.	312
De la distribucion del magnetismo.	313
Accion magnética del globo.—Declinacion	215
Variaciones diurnas.	316

CAPITULO XIV.

Electro-dinámica.

De la accion directriz.	317
De la accion repulsiva y atractiva.	<i>id.</i>
De la accion reciproca de las corrientes eléctricas.	318
De la accion de la tierra sobre las corrientes voltaicas.	<i>id.</i>
	320

CAPITULO XV.

De la Optica.

Nociones generales.	322
De la velocidad de la luz.	224
De la propagacion de la luz.	324
De la disminucion de la intensidad de la luz.	<i>id.</i>
De las sombras.	<i>id.</i>

§ 1º.

CATOPTRICA.—DE LA REFLECCION DE LA LUZ	235
De los espejos planos.	<i>id.</i>
Posicion de la imagen de un cuerpo detras de una superficie plana reflejante.	326
De los espejos curvos.	<i>id.</i>
De los espejos cóncavos.	327
De las espejos convexos.	328
De la determinacion de los focos.	329
De la combustion producida por los espejos.	<i>id.</i>

§. 2º.

DIOPTRICA.—DE LA REFRACCION DE LA LUZ	330
Ley de refraccion.	<i>id.</i>
Poderes refringentes de diferentes cuerpos.	333
De las lentes.	336
Determinacion de los focos de las lentes.	338
De la combustion producida por las lentes convergentes.	339
De las imágenes producidas por las lentes convergentes.	<i>id.</i>
Medio de corregir la vista lejana ó la presbicia.	341
De las imagenes producidas por las lentes divergentes.	<i>id.</i>
Medio de corregir la cortedad de vista ó la miopia.	342

CAPÍTULO XVII. § 3.º

DESCOMPOSICION DE LA LUZ.	343
Propiedades calorificas de los rayos.	345
Propiedades quimicas de los rayos.	346
Propiedades magneticas de la luz.	<i>id.</i>
Rescomposicion de la luz.	<i>id.</i>
Colores compuestos producidos por la mezcla de colores simples.	347
Del arco-iris.	<i>id.</i>
Del acromatismo.	350
De los colores producidos por las láminas delgadas.	351
De los anillos colorados.	<i>id.</i>
De los colores de los cuerpos.	352

§ 4.º

DEL OJO Y DE LA VISION.	353
De la estructura del ojo.	354
De la vision.	355
Del ángulo visual.	357
Medios de remediar los defectos de la vista.	358

§ 5.º

DE ALGUNOS INSTRUMENTOS DE ÓPTICA.	359
De la lente ó microscopio simple.	<i>id.</i>
Del microscopio compuesto.	<i>id.</i>
Microscopio solar.	360
Megascopio.	361
Linterna mágica.	<i>id.</i>
Fantasmagoria.	362
Cámara obscura.	363
Cámara lucida.	<i>id.</i>
Del antejo astronómico.	364
Del antejo terrestre.	365
Del antejo de Galileo.	<i>id.</i>
Del telescopio Newtoniano.	<i>id.</i>

§ 6.º

DE LA DOBLE REFRACCION.	268
Del micrómetro.	369
Polarizacion fija de la luz.	370
Polarizacion movil de la luz.	371
De la difraccion de la luz.	373
Observacion general.	374

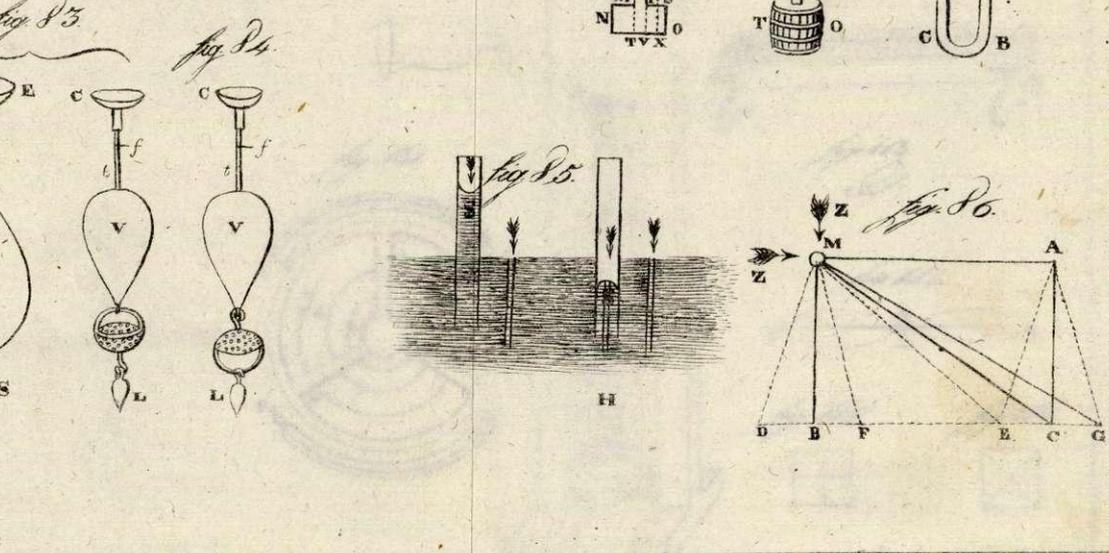
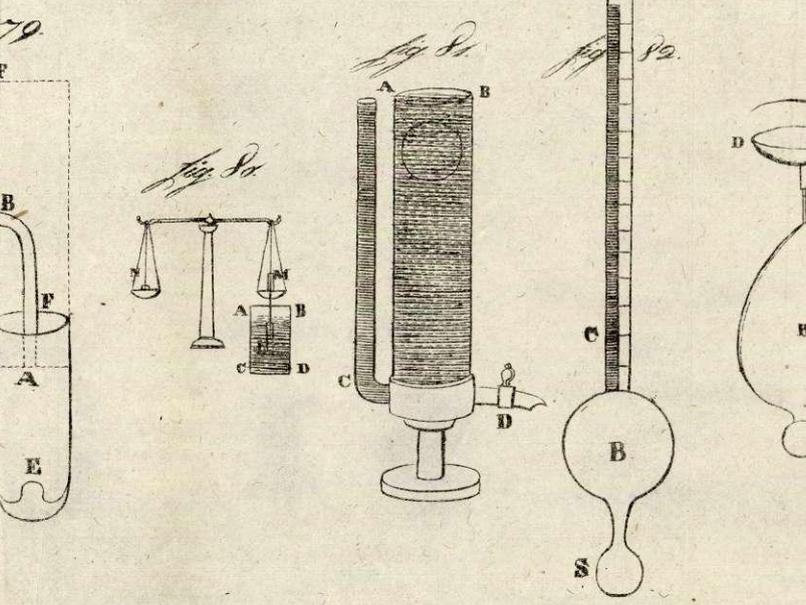
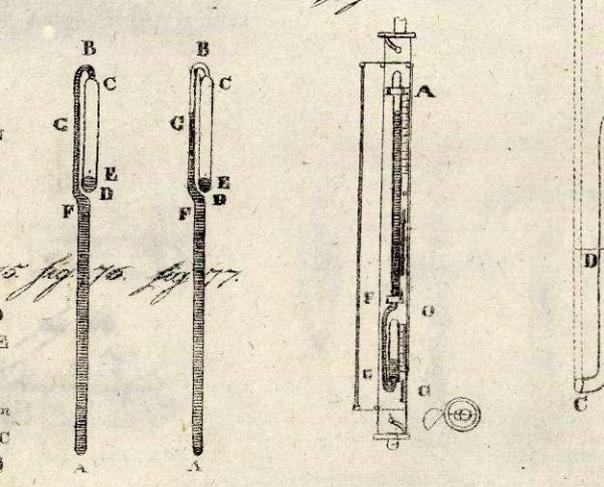
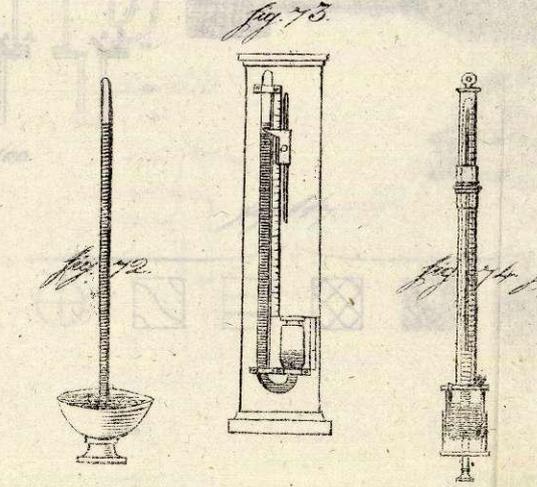
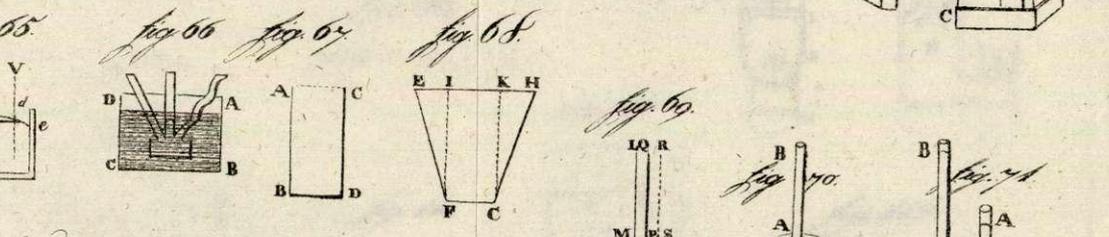
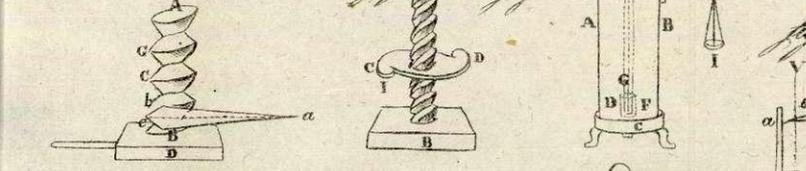
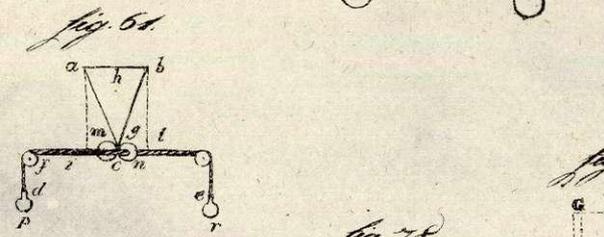
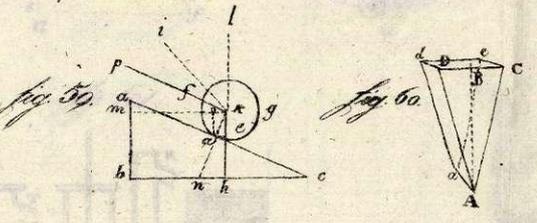
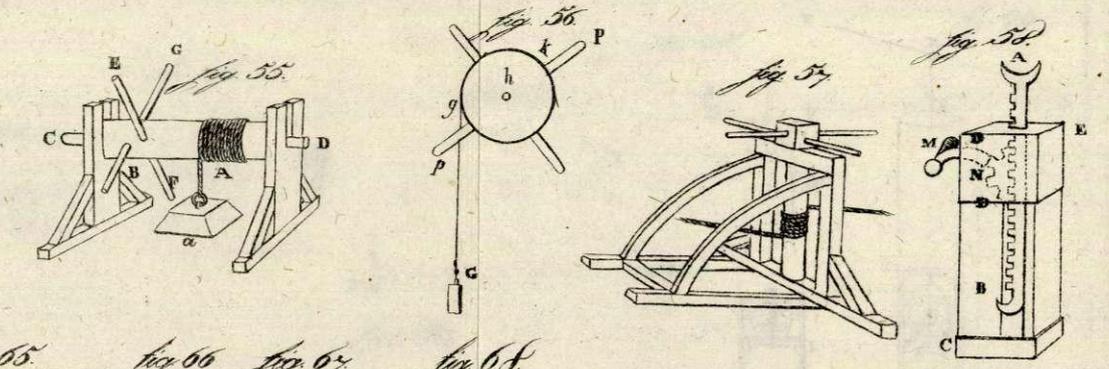
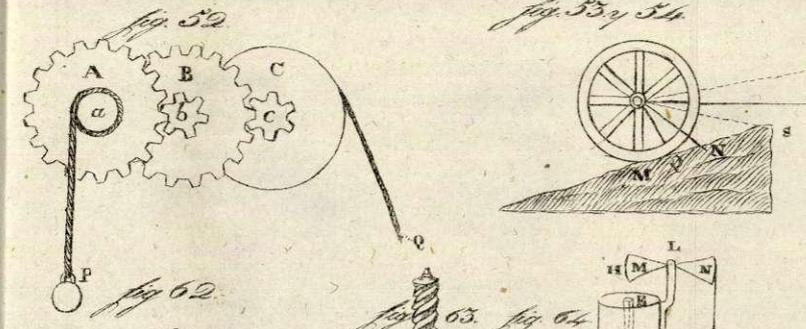
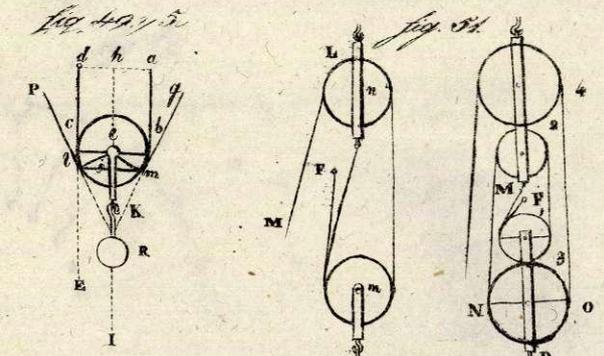
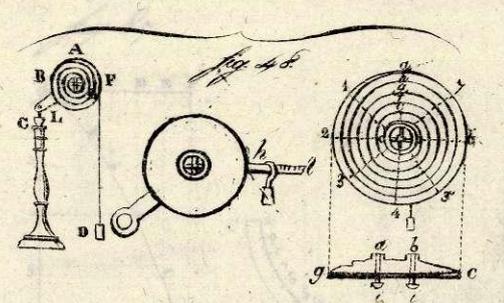
CAPITULO XVI.

Meteorologia.

Meteorologia.	375
Del termómetro diferencial.	376
Del piróscopo.	377
Del fotómetro.	id.
Del hygómetro.	381
Del atmómetro.	392
Del etrioscopio.	394
Adiciones.	402
Del ombrómetro ó hydrómetro.	415
Del anemómetro.	id.
	417
DE LA ATMOSFERA.	418
De los vientos.	423
De las bombas.	id.
De las bombas terrestres.	425
De las bombas ó mangas marinas.	427
De las nubes y las nieblas.	428
Del rocío y de la escarcha.	id.
De la lluvia.	id.
De la nieve.	id.
Del granizo.	430
Adicion del traductor.	

ERRATAS MAS NOTABLES.

PAGINA.	LINEA.	DICE.	DEBE.
29	40	traba	trabajo
30	penúltima.	Snelluis.	Snellius
38	37	de los	de las
46	20	un hilo	un alambre
54	26	experimentos del	experimentos de
58	1. ^a	eente	cente
59	35	armoniacó	amoniacó
60	1. ^a	gaseoso es	gaseoso
62	40	531,024	531024
63	24	$\frac{2}{12}$	$\frac{1}{6}$
73	33	de metales	de los metales
77	47	recorte	resorte
81	38	ó no tener	á no tener
82	18	una que atraviesa	una que la atraviesa
84	29	y sean ó	y sea ó no
97	18	su centro en	su centro de
<i>id.</i>	19	de plomo de	de plomo en
105	15	el brazo	al brazo
128	23	Esto hecho	Este hecho
153	31	en <i>m</i> ¹	con <i>m</i> ¹
163	23	cuerpo de	el cuerpo de
175	21	se aplica	la aplica
165	39	por y consiguiente	y por consiguiente
186	3	en la de noche	en la noche
194	1. ^a	len en los	len los
252	ultima.	la oscilación	la oscidacion
327	37	comparar	comprobar
365	8 y 9	acos-tarlos	acor-tarlos.
<i>id.</i>	17 y 18	batavi-ca	batavi-co
378	22	colorificas	calorificas
407	42	en se	en que se
422	15	con que de un	que con un
451	18	acelerldo	acelerado
435	14	quietad	quietud
457	20	funiculares	funiculares



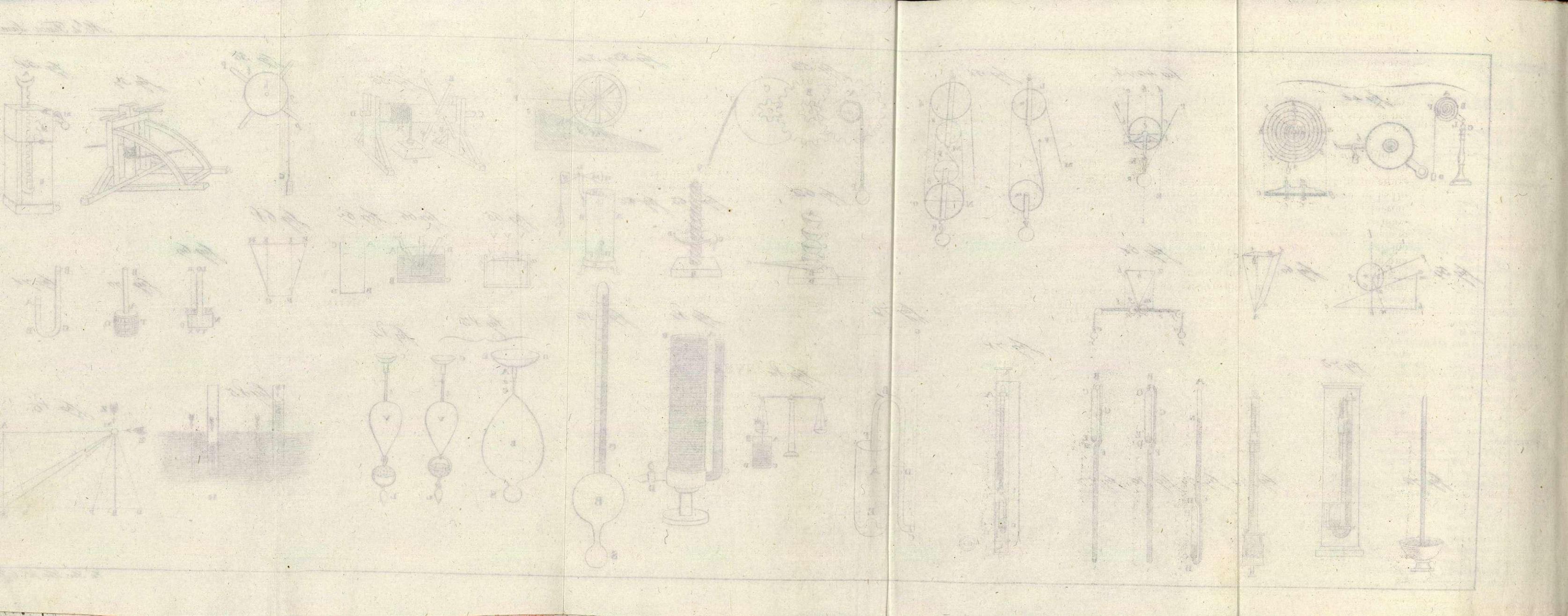


Fig. 87



Fig. 88

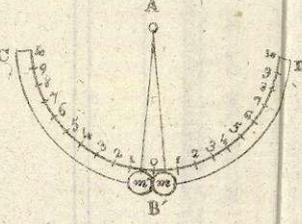


Fig. 89

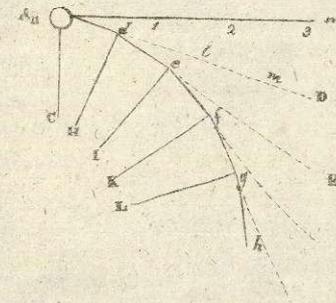


Fig. 90

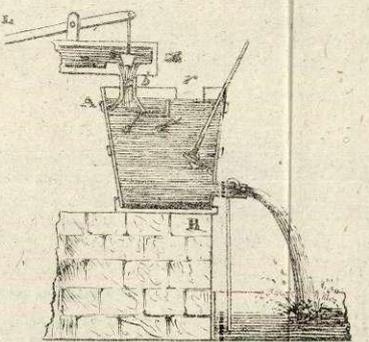


Fig. 91

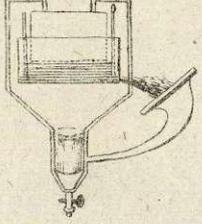


Fig. 93

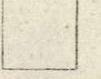


Fig. 94



Fig. 95

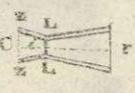


Fig. 96

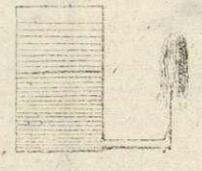


Fig. 97

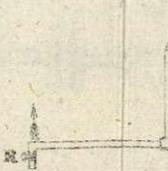


Fig. 98

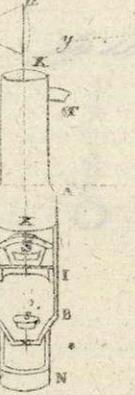


Fig. 99

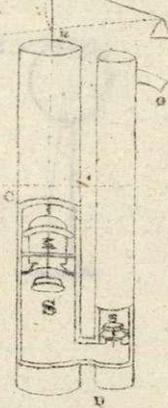


Fig. 101

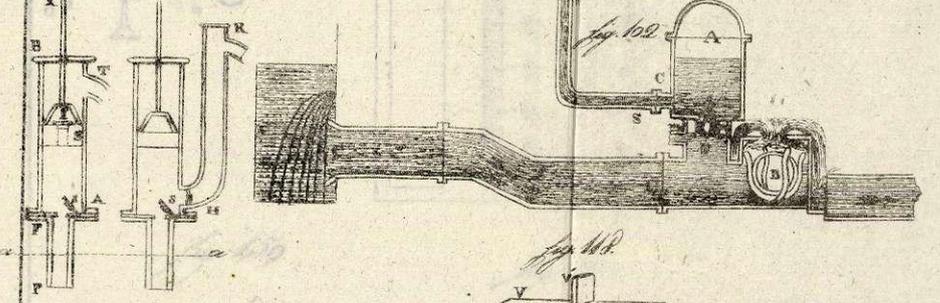


Fig. 102

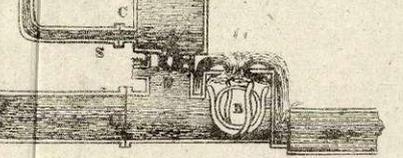


Fig. 103



Fig. 105



Fig. 106

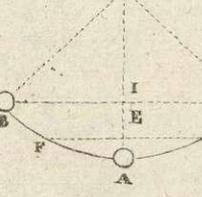


Fig. 107



Fig. 108

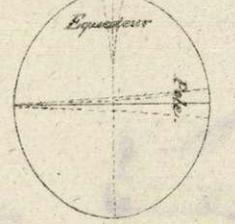


Fig. 109



Fig. 110



Fig. 111

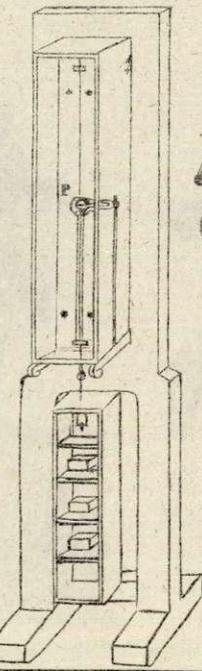


Fig. 112

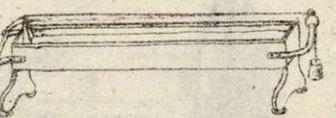


Fig. 113

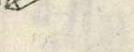


Fig. 114

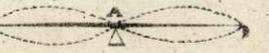


Fig. 115

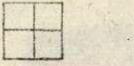


Fig. 116

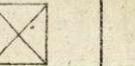


Fig. 100

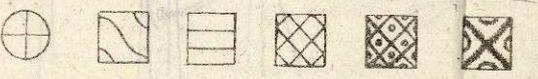


Fig. 117

Fig. 118



Fig. 120



Fig. 119

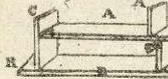


Fig. 121

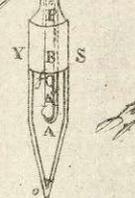


Fig. 123

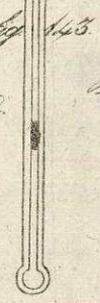


Fig. 122

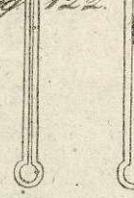


Fig. 124

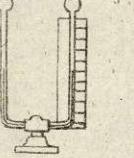


Fig. 125

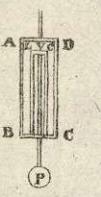


Fig. 126

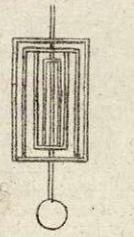


Fig. 129

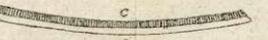


Fig. 127

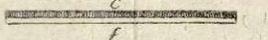


Fig. 128



Fig. 130

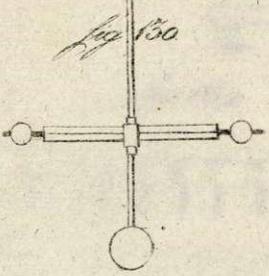
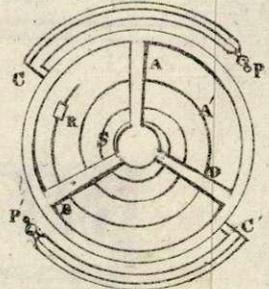


Fig. 131



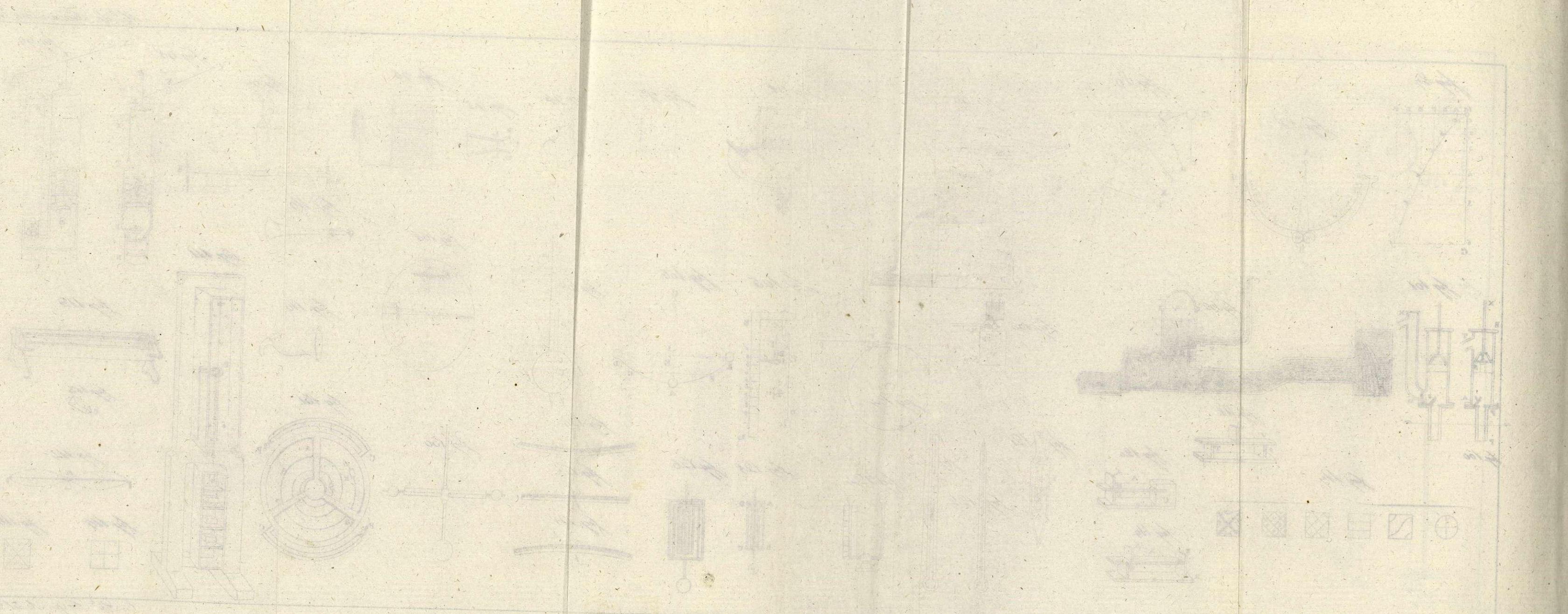


Fig 132

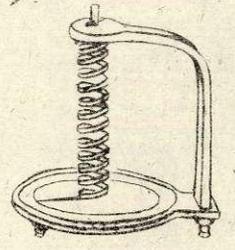


Fig 133

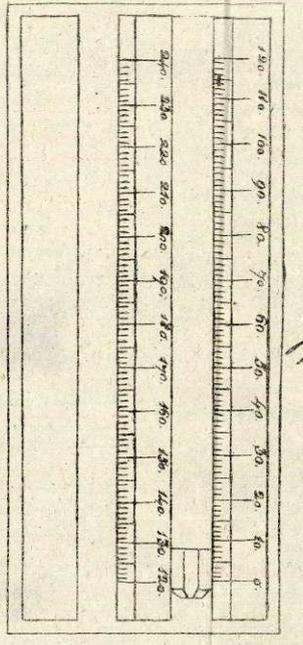


Fig 134

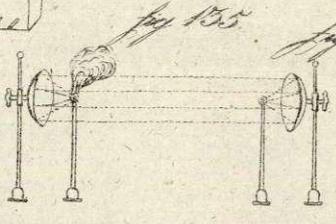
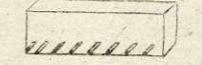


Fig 136

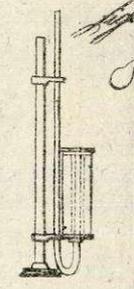


Fig 138

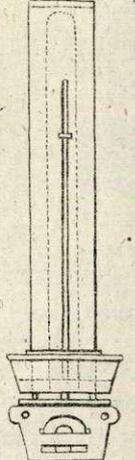


Fig 139

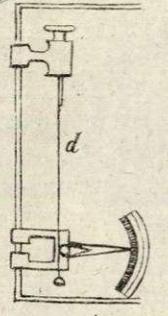


Fig 140

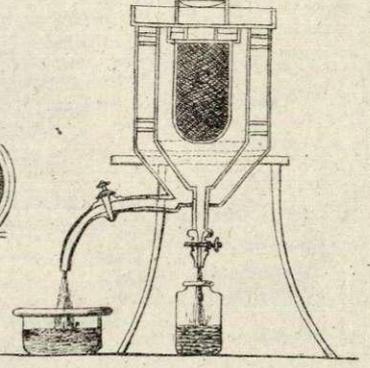


Fig 141

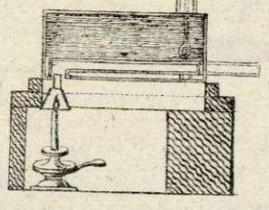


Fig 142

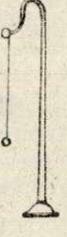


Fig 143

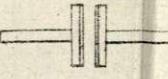


Fig 144

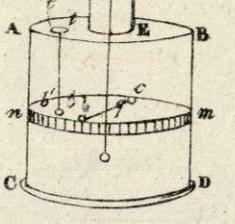


Fig 145

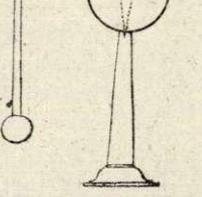


Fig 146

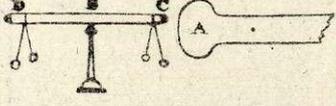


Fig 147

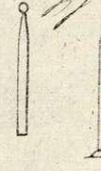


Fig 148

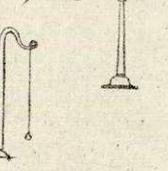


Fig 149



Fig 149 2

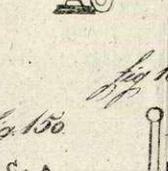


Fig 150



Fig 151

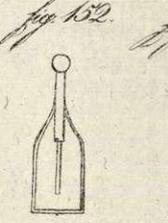


Fig 152



Fig 153

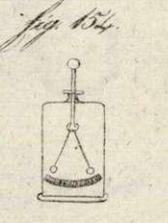


Fig 154

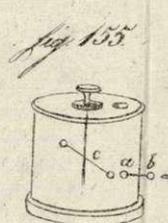


Fig 155

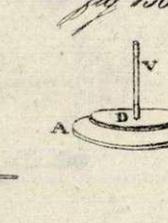


Fig 156

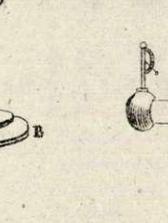


Fig 157

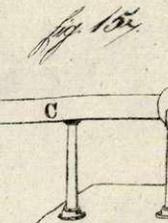


Fig 158

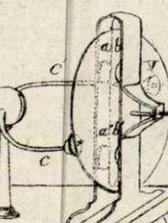


Fig 159

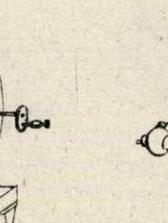


Fig 160

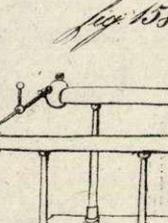


Fig 159

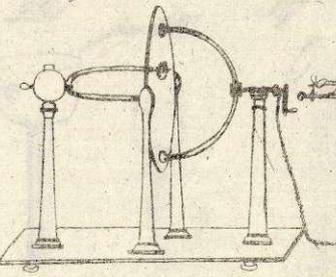


Fig 160



Fig 161



Fig 162

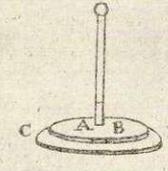


Fig 163



Fig 164



Fig 165

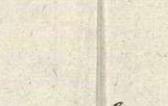


Fig 166

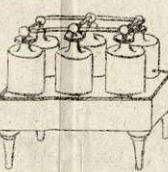


Fig 167



Fig 168

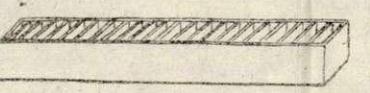


Fig 169

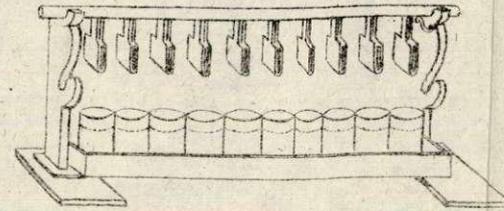


Fig 170

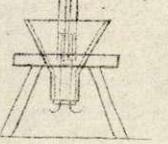


Fig 171



