

X-6^a 22272. + /2272

LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF MADRID

LECCIONES DE FISICA MEDICA.

4786.

QH Natural
239

LECCIONES

de

FISICA MEDICA

DADAS EN LA FACULTAD DE CADIZ

por el catedrático D. Jose de Gardoqui, D. M. P.

REDACTADAS Y PUBLICADAS

por el Dr. D. Manuel Losela Rodriguez, agregado de ciencias
auxiliares en dicha Facultad.



S. Pereda

CADIZ.

IMPRESA, LIBRERIA Y LITOGRAFIA DE LA SOCIEDAD DE LA REVISTA MEDICA
A CARGO DE D. VICENTE CARUANA,
plaza de la Constitucion, número 11.

1845.

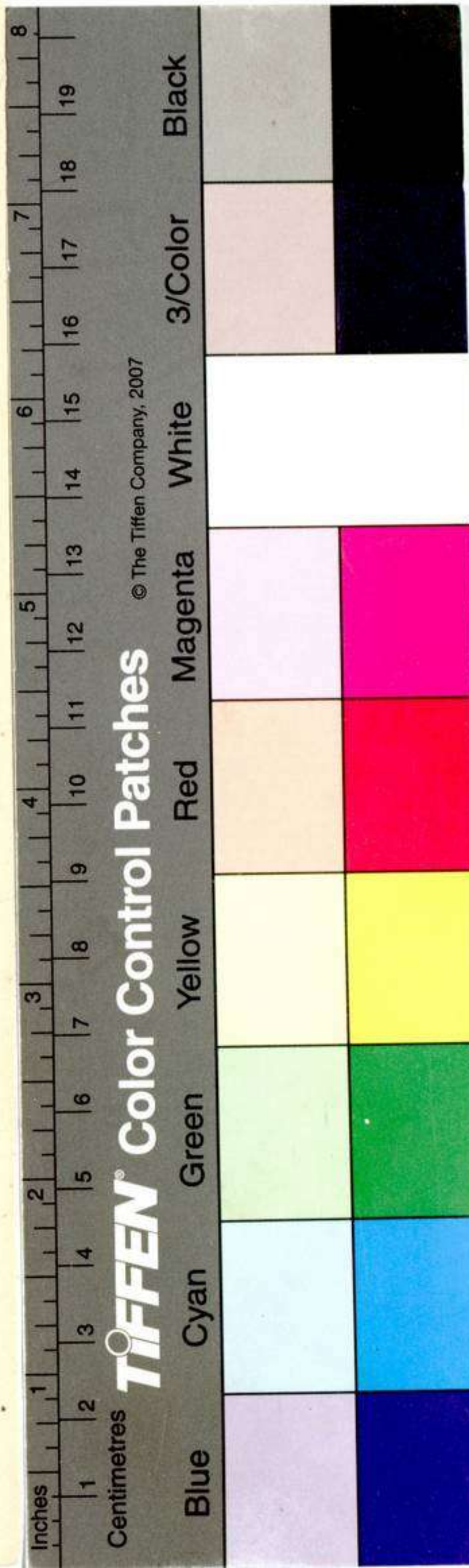
Esta obra es propiedad de su autor , y como tal
está bajo el amparo de las leyes. Todos los ejempla-
res llevarán su rúbrica.



PROLOGO.

Desde que S. M. se dignó nombrarme profesor agregado de la Facultad de Ciencias Médicas de esta ciudad, y fui destinado en la seccion de las auxiliares á las asignaturas de Física y de Historia natural, me creí obligado á trabajar, cuanto mis fuerzas permitiesen, en utilidad de la enseñanza; si habia de corresponder á las miras del Gobierno en el desempeño de la plaza con que me habia agraciado.

Las profundas esplicaciones del profesor de Física médica, me hicieron advertir desde luego que los alumnos no encontrarían fácilmente, entre los pocos tratados que de esta materia existen en nuestro idioma, uno en que estuvieran reu-



nidos todos los puntos que aquel tocaba y las aplicaciones médicas que á cada paso hacía; de aqui nació en mí la idea de redactar una obra que pudiera servirles de texto, para aprovecharse de las luces y talentos de su maestro.

De él mismo me he valido yo; porque sintiéndome flaco de fuerzas al emprender este trabajo, le comuniqué mi proyecto, y fué acogido con la bondad y franqueza propias de su carácter, ofreciéndose á proporcionarme cuantos conocimientos necesitase, y señalándome desde luego el camino que debia seguir para llenar mi objeto. Con semejante auxilio he podido satisfacer, mas pronto de lo que esperaba, las instancias de muchos alumnos, dando á luz el curso de las lecciones, tal cual se ha seguido en la clase.

Como hay que entrar en descripciones de muchas máquinas, es preciso presentar aqui el diseño, no solo de las existentes en el gabinete, sino de las que para completarlo se han pedido al extranjero; el de las primeras se ha sacado de sus originales, y respecto á las segundas se han copiado otras láminas: asi será mas fácil á los alumnos comprender y recordar todos los pormenores de las esplicaciones.

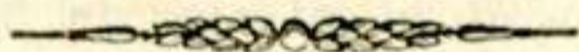
No siendo cuestionable la necesidad de conocimientos matemáticos para el estudio de la Física, como que algunas ramas de esta ciencia hacen parte de aquellas, no se ha podido prescindir de las demostraciones matemáticas: con to-

do no faltan alumnos, que apesar de que por el plan vigente deben estar iniciados en la ciencia del cálculo, no podrán seguir estas demostraciones, por lo cual se han separado en cierto modo, poniéndolas en letra mas pequeña, con el fin de que puedan suprimirlas, sin interrumpir el hilo del discurso, los que se hallen débiles en esta materia.

Resta advertir, que en esta obra hallarán los cursantes, si no todas las aplicaciones posibles de la Física á la Medicina y Farmacia, á lo menos las mas esenciales para prepararse á recorrer con fruto la inmensa carrera de las ciencias médicas.



LECCIONES DE FISICA MEDICA.



LECCION I.



Definiciones, propiedades generales, estension, instrumentos para medirla.

1. La palabra física, tomada en su sentido etimológico, significa *estudio* de la naturaleza; así esta ciencia debería abrazar el de todos los cuerpos que componen el universo, entendiendo por cuerpo aquello que produce ó puede producir alguna impresión en los sentidos. Mas como para imponerse en ella, aunque fuera superficialmente, no bastaría la vida del hombre, ha sido preciso dividirla y subdividirla, formando cada una de estas divisiones ciencias particulares. Al conjunto se designa con el nombre de ciencias físicas ó naturales.

2. Los cuerpos de la naturaleza ó se hallan á gran distancia de la tierra como el sol, la luna y las estrellas, ó bien están co-

locados en el interior del globo que habitamos, en la superficie ó fuera y muy próximos á ella. De los primeros trata la Astronomía; en que han adelantado mucho los modernos. Los demas cuerpos, llamados tambien sublunares, se dividen en dos órdenes muy distintos: unos, como los vegetales y animales, gozan de lo que sin poderse definir bien, todo el mundo conoce con el nombre de vida, tienen una estructura particular y se denominan orgánicos; otros por el contrario carecen de vida y se llaman inorgánicos. De estos últimos y de las propiedades de los cuerpos organizados comunes á los inorgánicos, tratan la mineralogía, la geología, la química y lo que en el dia se llama física. La mineralogía describe los seres inorgánicos, la geología enseña la colocacion respectiva de ellos en lo interior de la tierra, la química trata de su composicion y descomposicion, y finalmente la física estudia las propiedades generales de los cuerpos y los fenómenos que, sin ocasionar mutaciones permanentes en su composicion intima, parecen depender de muchos agentes universales. Cuando se aplican las leyes de la física á los fenómenos de la economía animal y especialmente á los del hombre, dicha aplicacion toma el nombre de *física médica*.

3. Como quiera que la naturaleza no se amolda á divisiones arbitrarias es difícil dar en la actualidad una definicion que dé á conocer la diferencia que hay entre la física y la química; pues estas dos ciencias, que al principio estaban completamente separadas, han ido teniendo tantos puntos por donde se aproximan y aun reunen, que es muchas veces imposible determinar á cual de ellas corresponde el fenómeno que observamos. En efecto, los agentes de que dispone la física ocasionan la descomposicion de los cuerpos, atributo especial de la química; y por la inversa en muchas operaciones químicas aparecen fenómenos cuyo estudio pertenece á la física.

4. Los cuerpos pueden considerarse formados por un conjunto de partes sumamente pequeñas unidas entre sí de cierto modo. A estas partes diminutas se le da el nombre de *moléculas*. La física divide los cuerpos en sólidos, líquidos y gaseosos. Por *sólidos* se entiende aquellos cuyas moléculas tienen tal adherencia entre sí que se necesita de un grande esfuerzo para separarlas, como el oro, el marmol &c. Cuerpos *líquidos* son aquellos cuyas moléculas estan unidas con tan poca fuerza que necesitan de una vasija que los contenga; y la superficie superior de dichos líquidos, que se llama nivel, está en un plano horizontal. Los

gases parece que no tienen adherencia entre sus moléculas; si nada los comprime se esparcen indefinidamente en todas direcciones; por eso cuando están encerrados en una vasija toman la figura de ella ocupando toda su capacidad. Los líquidos y los gases, se designan también colectivamente con el nombre de *fluidos*.

5. Como el mismo cuerpo puede de sólido pasar á líquido, y de líquido á gaseoso y vice-versa, se suele llamar estado de los cuerpos al modo como se presentan: así se dice que el agua está en estado sólido cuando se trata de la nieve, en estado líquido si se presenta tal como existe generalmente en la naturaleza, y en estado de gas cuando se ha convertido en vapor. Algunos físicos admiten ahora cuatro estados en los cuerpos, siendo el cuarto el *globular* ó el que toma una gota de líquido cuando se echa en una vasija enrojecida al fuego. De este fenómeno hablaremos en adelante.

6. Las *propiedades* de los cuerpos de que trata la física pueden ser *generales*, esto es, convenir á todos los cuerpos en todos los estados, como la estension, la movilidad &c., ó bien solo corresponder á ciertos cuerpos ó á ciertos estados como la maleabilidad, la ductilidad &c.: á estas últimas se llaman *propiedades particulares*. Algunas de las primeras son tan inherentes á los cuerpos que ni siquiera puede concebirlos nuestra imaginación si careciesen de ellas; tales son la estension y la impenetrabilidad: por eso las suelen llamar algunos físicos *propiedades esenciales*. Empezemos ya á tratar de las propiedades generales de los cuerpos.

ESTENSION.

7. La estension es una porción limitada del espacio cuyo estudio profundo corresponde á la geometría. Esta considera la estension con una, dos ó tres dimensiones, constituyendo respectivamente líneas, superficies ó volúmenes y halla la relación que tienen con otra estension de su misma especie que se toma por unidad. Si esta es arbitraria no es posible dar idea de la estension medida al que no la viese ó tocase, por eso los pueblos han adoptado unidades convencionales que salvan este inconveniente; mas por desgracia tales unidades convencionales no son comunes á todas las naciones. La unidad lineal en España es la vara de Búrgos que se divide en tres pies: el pie en doce pulgadas; la pulgada en doce líneas, y la línea en doce puntos.

8. Nada habria que añadir respecto á las unidades lineales si no se hubiese adoptado por la mayor parte de los físicos, al publicar sus experimentos, un sistema que estando fundado en la naturaleza debiera considerarse como universal: tal es el sistema de medidas y pesos actualmente usado en Francia, que vamos á esponer. Los franceses dividieron en cien partes el cuadrante del meridiano terrestre ó lo que es lo mismo la cuarta parte de la circunferencia de dicho meridiano, y á cada una de estas cien partes le llamaron grado. Cada grado se dividió en diez miriámetros, cada miriámetro en diez quilómetros, un quilómetro tiene diez hectómetros, un hectómetro diez decámetros, y un decámetro diez metros. El metro se considera como la unidad lineal y corresponde, segun se vé fácilmente por lo que acaba de decirse, á la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre.

El metro se dividió en 10 partes llamadas decímetros; el decímetro en 10 centímetros y el centímetro en 10 milímetros. El metro corresponde á 3 pies 7 pulgadas 0 lineas, 9,66 puntos, medida de Burgos. Las unidades de peso están ligadas con las lineales en dicho sistema del modo siguiente. Si suponemos que se forme un cubo geométrico cuya arista sea un centímetro, que dicho cubo se llene exactamente de agua destilada á 4° del termómetro centígrado y que se pese luego dicha agua, al peso que resulta le llamaron los franceses grama y constituye la unidad de peso: 10 gramas componen una decágrama; 10 decágramas una hectógrama; 10 hectógramas una quilógrama: la grama se divide en 10 decigramas; la decígrama en 10 centigramas y la centígrama en 10 miligramas, una grama corresponde próximamente á 20 granos del marco de Castilla (*). La quilógrama equivale á 2 libras, 2 onzas, 12 adarmes, 14,7 granos de dicho marco.

9. Además de la utilidad que resulta en el estudio de la física del conocimiento del sistema decimal en atencion á los casos indicados, hay otra razon por la cual este conocimiento es de la mayor importancia para los médicos y farmacéuticos. El gobierno frances mandó en el año de 1841 que se recetase en aquel pais en pesos y medidas decimales, y desde entónces los libros franceses de Medicina y de Farmacia, que con frecuencia hay que consultar, traen todas las dosis de los medicamentos espresadas en el nuevo sistema decimal. Por esto no creo fuera del

(*) Exactamente á 20,31 granos.

caso indicar aquí la division de la libra Médica castellana y expresar con sus divisiones el valor de los pesos franceses. La libra médica consta de 12 onzas castellanas, una onza tiene 8 dracmas, la dracma 3 escrúpulos y el escrúpulo 24 granos.

5 centigramos.	=un grano	} próximamente.
1 grama.....	=veinte granos	
2 gramas.....	=media dracma	
15 gramas.....	=media onza	
30 gramas.....	=una onza	
360 gramas.....	=una libra	

Es indispensable á veces en física medir con exactitud una longitud dada, ó á lo menos disminuir en lo posible el error que se cometa, y para eso se han ideado varios instrumentos que sucesivamente vamos á describir.

10. *Nonio ó Vernier.* Este instrumento se llama así por los nombres de sus inventores. Figurémonos que una regla AC (fig. 1.^a) esté dividida en partes iguales: que de ellas tomemos 9 por ejemplo ó desde A hasta B, y que dividamos en 10 partes otra regla FG del mismo tamaño que las 9 partes primeras, pues esta regla FG, que en general puede correr sobre la AC, se llama el nonio de ella. Para hacer ver el uso de este instrumento supongamos que se trata de averiguar qué longitud tiene la recta MN que nos dan; para eso aplicola contra la AC de modo que la estremidad M corresponda al punto A; si la otra estremidad N cayese en alguno de los puntos de la division de la regla AC, claro es que no tendríamos necesidad de nonio; mas esto casi nunca sucederá: supongamos pues que la estremidad N caiga en el punto H, como se vé en la figura 2.^a; queremos averiguar cual es la longitud de la fraccion comprendida entre H y la division n.^o 13: para lo cual corro el nonio por la regla, hasta que el punto F del primero coincida con el punto H, y veo cual es la division del nonio, que coincide con alguna de las divisiones de la regla; aquí es la division 7 del nonio, pues digo que la longitud de MN es $13\frac{7}{10}$ divisiones de la AB: si estas divisiones son lineas, la MN tendrá 13 lineas y 7 décimos de línea.

Para probar esto es necesario averiguar de antemano la distancia que en la fig. 1.^a hay entre la primera division del nonio y la primera de la regla, entre la segunda del nonio y la segunda de la regla etc. Es evidente desde luego que

$$F 1 = \frac{F G}{10} = \frac{A B}{10}$$

$$A B = 9 A 1$$

y de consiguiente

$$F 1 = \frac{9}{10} A 1$$

como la distancia entre la primera division del nonio y la primera de la regla, ó lo que es lo mismo

$$(1.1) = A 1 - F 1 = A 1 - \frac{9}{10} A 1 = \frac{1}{10} A 1$$

$$(2.2) = A 2 - F 2 = 2 A 1 - 2 F 1 = 2 (A 1 - F 1) = \frac{2}{10} A 1$$

$$(3.3) = A 3 - F 3 = 3 A 1 - 3 F 1 = 3 (A 1 - F 1) = \frac{3}{10} A 1$$

se deduce que la distancia entre la primera division del nonio y la primera de la regla es igual á $\frac{1}{10}$ de las divisiones de la regla: la distancia entre la segunda division del nonio y la segunda de la regla es igual á $\frac{2}{10}$ de las divisiones de dicha regla, y así sucesivamente.

Ahora bien, si colocamos la primera division del nonio en coincidencia con una division cualquiera de la regla, como por ejemplo con la 4.^a figura 3, no cabe duda en que la distancia entre la division anterior 3 de la regla y el principio F del nonio es $\frac{1}{10}$ de las divisiones de la regla. Si hacemos coincidir la 2.^a division del nonio con una division de la regla, la distancia que haya entre la estremidad F del nonio y la division de la regla mas cercana hácia la izquierda será $\frac{2}{10}$; si coincide la 3.^a division del nonio, la distancia entre dicha estremidad F y la division de la regla mas cercana hácia la izquierda será $\frac{3}{10}$ etc. por eso como en el ejemplo propuesto la 7.^a division del nonio era la que coincidia con la division de la regla, la distancia entre la estremidad F del nonio que se colocó en H y la division mas cercana á la izquierda que es el 13 es de $\frac{7}{10}$

Tambien se aplica el nonio á graduaciones circulares, en cuyo caso se compone de un arco de círculo, graduado de tal modo que 9 partes de la graduacion principal se dividen en 10 para el nonio; de consiguiente la teoria y el modo de emplearlo son iguales á lo dicho para el nonio recto. El vernier es un instrumento muy empleado en física en las escalas de los barómetros, sonómetros &c. y tanto por su utilidad, como por costar algun trabajo á los principiantes la inteligencia de su teoria, me ha parecido que deberia detenerme algo en su explicacion.

Hemos supuesto que la regla FG ó el nonio se habia dividido en diez partes iguales: pero nadie quita el que el número de estas divisiones fuese 50, 100, 1000 &c., pues eso es enteramente arbitrario: si hubiese sido en 100 y que la longitud total del nonio equivaliese á 99 divisiones de la regla principal ó lo que es equivalente, que la AB de la figura 1.^a se hubiese dividido en 99 partes, podriamos apreciar hasta $\frac{1}{100}$ de estas divisiones; si se hubiera dividido el nonio en 1.000 partes cuya suma tuviese la misma longitud que 999 divisiones de la estension A B de la regla, el error seria de menos de $\frac{1}{1000}$ &c. En teoria parece que esta disminucion de error es indefinida; pero no sucede así en la práctica, pues cuando las divisiones del nonio distan muy poco entre sí, ya casi se confunden, y no es posible hallar, ni aun auxiliado de instrumentos, cual es la division del nonio, que coincide con la de la regla. En general á lo mas que se consigue reducir el error con este instrumento es á $\frac{1}{50}$ de milimetro.

11. *Comparador.* Este instrumento, como su nombre lo indica, sirve para comparar la longitud de dos reglas que se diferencian muy poco entre sí; aunque es bastante complicado la teoria es muy sencilla: sea *ab* (fig. 4) el espacio ocupado por una de las barras, *b* un punto fijo y que al otro extremo *a* de la misma barra toque la estremidad de una palanca encorvada *acd*, movable al rededor del punto *c* y cuyas dos ramas sean muy desiguales, la *dc* por ejemplo diez veces mayor que la *ac*, la estremidad *d* puede recorrer un arco de círculo graduado *mr*: si quitamos la barra *ab* y ponemos en su lugar otra que se diferencie muy poco de ella, la punta *a* de la palanca corta andará un pequeño arco, y se transmitirá el movimiento á la palanca larga, cuya punta recorrerá una gran estension del arco *mr*. Es fácil calcular qué relacion hay entre los movimientos de los dos brazos de palanca, y referir á lineas y fracciones de linea por ejemplo, los arcos recorridos por la punta *d*: esta punta suele estar armada de un nonio.

12. *El tornillo micrométrico* por sí solo es un instrumento con el cual se pueden medir longitudes con mucha aproximación, y además contribuye á formar parte de otros varios aparatos para el mismo objeto. Consta de un tornillo *ab* (fig. 5) perfectamente trabajado, que entra en una tuerca fija *cd*: la distancia *rs* entre una de las partes salientes del tornillo y la inmediata, ó el paso del tornillo, es de una longitud conocida, como por ejemplo de un milímetro: en la estremidad superior del tornillo hay un círculo *fg*, cuya circunferencia está graduada en 400 partes; paralela al tornillo y tangente á la circunferencia de que acabamos de hacer mencion hay una regla *hm* dividida en milímetros y que está fija á un aparato particular que tiene siempre el tornillo micrométrico. Para manifestar el uso de este instrumento supongamos que se quiera medir la distancia que hay entre la estremidad inferior del tornillo *b* y el punto *z*; para mayor claridad supongamos también que la division 0 del círculo graduado esté ahora tocando á una de las divisiones de la regla *hm*: tuerzo el tornillo hasta tanto que la estremidad *b* toque á *z*; y cuento cuantas veces ha pasado el cero por la regla *hm* otras tantas vueltas habrá dado el tornillo y otros tantos milímetros habrá descendido este instrumento; pero solo por casualidad al tocar la punta inferior *b* del tornillo al punto *z*, corresponderá también á la regla el cero de la circunferencia, en general habrá entonces un número distinto que supondrémos sea el 36 y que además hayan sido 17 las vueltas completas que ha dado el tornillo. A estas vueltas corresponden 17 milímetros y como 400 grados del círculo superior equivalen á un milímetro de descenso del tornillo, se formará la proporcion $400:1::36:x$; y este cuarto término será siempre un quebrado cuyo numerador es el número de la circunferencia que se halla delante de la regla y el denominador 400. El aparato suele establecerse como se representa en la fig. 6.^a El cuerpo cuya longitud se quiere medir se coloca en la misma direccion que el tornillo micrométrico desde *z* hasta la estremidad de dicho tornillo, el cual se destuerce lo suficiente para que le dé paso; luego sin mover el tornillo se quita el cuerpo y se sigue dando vueltas á aquel, hasta que la punta toque á la pieza *nt*.

13. *El esferómetro de Cauchoix* es una aplicacion ingeniosa del tornillo micrométrico: el amazon del tornillo es un trípode *abc*, (fig. 7.) que descansa sobre un plano de vidrio *df*: con este instrumento se puede fácilmente hallar el grueso de una lámina cualquiera; para ello se coloca la lámina sobre el plano de

vidrio y se baja la estremidad del tornillo hasta la parte superior de dicha lámina; hecho esto quitando la lámina y bajando el tornillo hasta el plano, es fácil ver por lo dicho anteriormente que se podrá averiguar el grueso. Pero el esferómetro de Cauchoix sirve especialmente para conocer si una superficie convexa es ó no esférica; en tal caso siendo inútil el plano de vidrio se hace que descansen los tres pies del trípode sobre la superficie convexa y aproximando entonces á la misma superficie la punta del tornillo y aun poniéndola un poco mas saliente, se dá vueltas á todo el aparato el cual deberá girar sobre dicho eje sin rozar nada los pies: la detencion que se experimenta si hay alguna parte mas elevada y el sonido que produce el rozamiento manifiestan cualquier imperfeccion en la corvadura: repitiendo la misma operacion en varios puntos podrá verse si la superficie es ó no esférica en toda la estension examinada.

14 Tambien contiene un tornillo micrométrico el instrumento llamado *máquina para dividir*, (fig. 8.) Consta de una mesa *ab* que sostiene un tornillo micrométrico *cd* el cual mueve una pieza vertical *ef*: dicha pieza tiene un estilo *gh* cuya estremidad *h* es un buril ó una punta de diamante segun que las divisiones hayan de hacerse en metal ó en vidrio; *kl* es un amazon fijo á la mesa, donde se coloca de antemano la varilla *mn* que se quiere dividir, en una posicion horizontal y paralela al tornillo micrométrico. Las divisiones que se desean, ó serán de longitud determinada, como por ejemplo de milímetro cada una, ó bien se puede tratar de dividir la estension *mn* en cierto número de partes iguales: en el primer caso ya se sabe de antemano á cuanta longitud equivale el paso del tornillo, y es fácil calcular de consiguiente cuantas vueltas y cuantos grados se le deben dar al tornillo para obtener la longitud apetecida. Supongamos que calculada asi resulten dos vueltas y veinte grados: pues poniendo el estilo *gh* en el sitio en donde queremos que empieze la escala, daremos al tornillo micrométrico las dos vueltas y veinte grados; entonces apoyaremos el estilo sobre la regla *mn* y queda ya señalada la primera division: dando de nuevo otras dos vueltas y veinte grados y apoyando el estilo, marcaremos la segunda; y asi sucesivamente. Si queremos dividir la regla *mn* en treinta partes iguales por ejemplo, debe empezarse la operacion por saber cuantas vueltas corresponden á la longitud de cada division; para lo cual se coloca el estilo *gh* en la estremidad *n* de la regla; moviendo despues el tornillo hasta que dicho estilo corresponda á la otra

estremidad m se cuenta el número de vueltas y grados que ha sido preciso que ande para ello: se dividen estos grados, y las vueltas reducidas á grados por 30 ó por el número de divisiones que queramos, y el cociente será el número de grados correspondiente á cada division. Hecho esto se seguirá la operacion como antes.

15. Si con una máquina de esta clase se hacen divisiones sumamente próximas en una lámina de vidrio, conocida que sea la longitud de una de las divisiones se podrán medir con la misma lámina los cuerpos sobrepuestos á ella. A veces son indispensables vidrios de aumento ó instrumentos ópticos para ver á cual de las divisiones corresponden las estremidades del cuerpo.

16. Puede tambien medirse el grueso de un alambre ó de hilos, hándolos en un carrete teniendo cuidado que se toquen perfectamente entre sí sin sobreponerse; midiendo la longitud que ocupan todas las vueltas y partiendo despues por el número de las que se hallan en dicha medida.



LECCION II.



De la impenetrabilidad y divisibilidad.

IMPENETRABILIDAD.

17. Aquella propiedad que tienen los cuerpos, por la cual no pueden ocupar á la vez los mismos puntos del espacio, ó ponerse uno en el mismo lugar que otro, es á lo que se llama impenetrabilidad; sin ella, como hemos dicho, (n.º 6) ni aun concibe nuestro entendimiento los cuerpos. Esta propiedad es muy perceptible en los sólidos, aunque á veces parece que se hallan escepciones que los físicos han denominado *penetrabilidad aparente*: así cuando se introduce á golpes un clavo en un madero, por poco que se reflexione se nota que el clavo no hace mas que apartar las fibras de la madera y comprimirlas, por permitirlo así su estructura; pero nunca hay madera en el mismo sitio en que está el clavo, ni vice-versa. Los cuerpos líquidos, como tienen poca adherencia entre sus moléculas, dan origen con facilidad á esta penetracion aparente; pero si observamos lo que sucede cuando se introduce un cuerpo sólido en agua, veremos que se levanta la parte superior ó el nivel del líquido; prueba de que el agua y el cuerpo no ocupan el mismo sitio. Si el líquido desalojado no tiene espacio á donde irse, no habrá fuerza por poderosa que sea, capaz de introducir el cuerpo sólido; y en esa propiedad está fundado el modo de probar los cañones de hierro ó bronce para ver si tienen alguna grieta ó parte mas endeble que las otras. Puesto en posicion vertical se llena el cañon de agua casi hasta la boca: se cierra esta con un tapon que ajuste perfectamente, el cual se comprime con gran fuerza; y si el cañon es

bastante resistente no se logra introducir mas que una cantidad pequñísima, dependiente de la compresibilidad del agua, de que hablaremos mas adelante; si tiene alguna grieta por alli sale el liquido, y si el cañon presenta algun punto endeble rebienta por aquella parte.

18. Para demostrar la impenetrabilidad de los gases se hacen en física los siguientes experimentos. Se introduce en agua una campana de vidrio boca abajo, y se vé que el liquido nunca llega al fondo de la campana por mas que se sumerja: puede ponerse sobre el agua dentro del aparato, un corcho con una luz para hacer mas perceptible el nivel del liquido. Otro experimento es el de colocar un embudo cuya estremidad sea muy estrecha *a* (fig. 9) en un frasco *b* cuyo cuello se adapte perfectamente al del embudo, impidiendo todo paso del aire entre ellos: en esta disposicion si se echa agua de golpe en el embudo *a*, entrarán solo algunas gotas en el frasco *b*; pero el aire contenido en él, que no puede salir por el cuello estrecho *c*, impedirá por su impenetrabilidad la entrada de lo restante del liquido. La campana de buzos, cuyo modelo tal como existe en el gabinete, se halla representado en la (fig. 10) está fundada en esta misma propiedad: consta de una vasija *c* con un aro exterior *d*, de donde cuelgan los pesos *s, s, s*; si se sumerge en el mar hasta el fondo como no se llena de agua, pueden ir dentro algunos hombres y trabajar allí. Pero el aire se condensa mucho y no es bueno para la respiracion en semejante aparato; por lo cual se ha modificado en el dia, haciendo que respire la persona que va dentro por un tubo, que por arriba llega hasta la parte superior del liquido, y por abajo se adapta á la cara del operario, sin comunicar su cavidad con lo interior de la campana. El modelo de que hablamos tiene una llave *t* en la parte superior, para demostrar que en el momento de abrirla, saliendo el aire de lo interior de la campana, es reemplazado por el liquido.

19 Valiéndose de la impenetrabilidad se puede hallar con facilidad el volúmen de un cuerpo que por su figura irregular no podria hacerse por las reglas de geometría; por ejemplo el volúmen del cuerpo de un hombre: para ello pongamos un cadáver en una vasija prismática *ab* (fig. 11) llena de agua hasta *m*; al instante subirá el nivel hasta *n* y el volúmen de la capa de agua *mn*, que segun la figura de la vasija es igual al area de la base por la altura *mn*, será el volúmen del cadáver.

DIVISIBILIDAD.

20. Se entiende por esta palabra la propiedad que tienen los cuerpos de poderse reducir á partes menores; como por ejemplo en dos mitades, cada mitad en otras dos y así sucesivamente. No tan solo la divisibilidad no es una propiedad esencial de los cuerpos, sino que ha sido necesario ensayarlos y dividirlos todos, antes de asegurar que son divisibles; pero nadie sabe si con el tiempo se descubrirá en lo interior de la tierra alguna sustancia que sea imposible dividirla; ó que la haya de esta especie en los orbes celestes. Fué cuestion muy reñida entre los físicos antiguos si la materia era ó no divisible al infinito; esto es si estas divisiones de un cuerpo en dos, cuatro, ocho partes &c.; podian seguirse haciendo indefinidamente. Aunque no cabe duda en que nuestra imaginacion no se detiene en el limite de estas divisiones, esto no obstante entre una cosa real, como es de lo que debemos tratar en física, y otra imaginaria hay una enorme diferencia, y podria llegarse así á una partícula que no hubiera medios reales de dividirla, ni tuviese la propiedad de ser divisible. Tenemos tan cortos conocimientos de la estructura intima de los cuerpos, que no es posible determinar lo que sucederá; sin embargo las leyes de la química parecen mas bien exigir que esta division de los cuerpos no sea indefinida. Pero de todos modos no hay duda en que la materia es mucho mas divisible de lo que generalmente se cree. Varios ejemplos podrian ponerse de la gran divisibilidad de la materia; pero nos contentaremos con los mas comunmente citados. El oro es uno de los cuerpos mas divisibles, como lo prueban las artes del batidor y del tirador de oro.

21. Batidores de oro son los que aplanan este metal y lo ponen en forma de láminas, tan delgadas como las que se usan para dorar: con la cantidad de este metal equivalente á un grano, dándole martillazos, primero sin que el oro esté cubierto y despues cubriéndolo entre dos especies de sutiles pergaminos, se llega á formar una lámina de 6 pulgadas de largo y otras tantas de ancho, ó lo que es lo mismo, de 36 pulgadas cuadradas: la estension de una pulgada sabe dividirla el arte en 200 partes, luego la pulgada cuadrada tendrá 200×200 ; esto es, 40.000 partes y el grano de oro, que en volúmen es como la cabeza de un alfiler, 40.000×36 ó 1.440.000 partes visibles.

22. Todavía se comprueba mejor la gran divisibilidad del oro en el arte del tirador. Por él se preparan esas láminas tan angostas y poco gruesas, que torcidas despues con seda, constituyen los hilos para bordar. El modo como se hacen estas láminas es el siguiente: con los panes de oro que formó el batidor y con una cantidad del peso de una onza, se sobredora un cilindro de plata de 22 pulgadas de longitud y un cuarto de pulgada de diámetro; hecho esto se adelgaza una de las estremidades de este cilindro, hasta que pueda entrar por una de las aberturas circulares de un instrumento que se llama hilera, y que se compone de una plancha de acero con varias aberturas circulares, de un diámetro que va siendo sucesivamente menor: tirando con fuerza del cilindro sobredorado por la estremidad introducida, se logra que entre todo por dicha abertura, y de consiguiente que se adelgace: se repite la operacion por las otras aberturas, y así se llega á tener un cilindro que ocupa una estension de 96 leguas. Imposible sería medir una longitud tan considerable, siendo tan delicada la materia de que se trata; pero para lograr averiguarlo hay un medio muy sencillo, que es pesar una pequeña parte, medirla, y multiplicar despues la longitud de esta, por el número que espresa cuantas veces está contenida la porcion pesada en la cantidad total. Apesar de tener entonces una longitud tan escesiva el cilindro, todavía está completamente cubierto de oro en su superficie, como es fácil comprobar echando una porcion en ácido nítrico, que disuelve la plata colocada interiormente y deja un cilindro hueco de oro y de paredes continuas. El alambre de 96 leguas se aplanar despues y se convierte en una especie de cinta estrecha, pasando entre dos cilindros de acero movibles cada uno al rededor de un eje. Estos cilindros son paralelos y distan muy poco entre sí; al aplanarse el hilo de oro se alarga tambien y adquiere una longitud de 111 leguas, fácil de calcular por el medio ya indicado. En esta especie de cinta pueden considerarse dos caras y cada cara suponerse dividida longitudinalmente en dos partes; luego el oro ocupa una estension de 444 leguas: como la legua tiene 240.000 pulgadas y la pulgada 200 partes visibles, y que la onza de oro empleada consta de 576 granos, es fácil averiguar el número de partes visibles en un grano. Efectuando el cálculo resulta que son 37 millones.

23. Wollaston imaginó formar una especie de hilos, que llevan su nombre, y cuya delgadez es tal que aislados no se perciben con la simple vista. Para ello en un cilindro hueco puso ti-

rante, en el sitio correspondiente al eje, un hilo delgado de platino; luego echó plata fundida en el cilindro hueco; y despues de enfriado, quitando el molde, obtuvo un cilindro de plata con eje de platino. Haciendo con él la misma operacion, ya anteriormente descrita, de pasarlo por la hilera hasta que todo estuviese muy delgado, el hilo que resultó todavia tenia en su centro un alambre escesivamente delgado de platino; separó despues la plata, disolviéndola en ácido nítrico, y quedó el platino. Basta para dar idea de la delgadez de estos hilos decir que se necesita reunir 140 para que formen un cadejo del grueso de una seda, tal como sale del capullo.

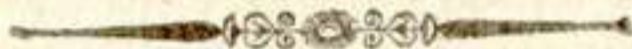
24. Un grano de carmin puede teñir gran porcion de agua, y cada gota debe contener alguna cantidad de aquella sustancia para que tenga color.

25. Pero los ejemplos mas notables de divisibilidad de la materia se hallan indudablemente en el reino animal. En una memoria que el conde de Reaumur presentó á la academia de ciencias de Paris en el año de 1713, intitulada esperiencias y reflexiones sobre la prodigiosa ductilidad de diversas materias, se hallan descritos los órganos que suministran los hilos tejidos por las arañas. Una sustancia glutinosa sale por 6 pezones colocados hácia la parte inferior y posterior del vientre; pero cada uno de estos pezones tiene gran porcion de conductos escretorios, que pueden examinarse fácilmente valiéndose de un buen microscopio. El conde de Reaumur dice que se queda corto en suponer que son mil los conductos ó aberturas de cada pezon, por cada una de las cuales sale un filamento tenuísimo, que reunido con los demas, tanto del mismo pezon, como de los cinco restantes, forman el hilo de las telas de araña.

26. La sangre de los animales no es un líquido homogéneo; está compuesta de suero y de glóbulos, en general rojos, suspendidos en él. Estos glóbulos se ven fácilmente con un microscopio; y el volumen de cada uno de ellos, segun las esperiencias de Leuvenhoeck, es la millonésima parte de una pulgada. Mas este volúmen y la figura no son iguales para todos los animales; los de la sangre humana son lenticulares. Se ha calculado que una gota tan pequeña de sangre que pueda suspenderse en la estremidad de una aguja, contiene cerca de un millon.

27. Mirando con el microscopio una gota de agua que haya tenido vegetales en putrefaccion, se observará que contiene una infinidad de animales, que se llaman microscópicos porque

no los puede descubrir la vista sin el auxilio de instrumentos. Estos seres se mueven con mucha agilidad, lo que indica que tienen órganos especiales para los movimientos. Deben tener además vasos por donde circulen líquidos, y de consiguiente podemos concebir en nuestra imaginación una porción muy pequeña de las paredes de dichos vasos, como también un glóbulo de la sangre que circule por ellos. Aun no se han podido hacer experiencias que manifiesten estas partes, por cuya causa habremos de considerarlas como el límite actual de la pequeñez de los cuerpos.



LECCION III.

De la porosidad y de la inercia.

POROSIDAD.

28. Las moléculas de que se compone un cuerpo no se tocan unas á otras por todas partes; dejan por el contrario entre sí huecos ó intersticios, llamados poros, y que son muy perceptibles en ciertas sustancias, como en las esponjas, &c. Cuando se comprime un cuerpo por una causa exterior su volúmen disminuye, por aproximarse las paredes de los poros; y si lográramos que por la compresion se tocáran dichas paredes, haciendo desaparecer todas las cavidades, no quedaria mas que la materia de que estaba formado el cuerpo. Al volúmen que entonces tuviera se le denominaría volúmen real, en oposicion al volúmen aparente que es el que de ordinario presenta.

29. Todos los cuerpos; de la naturaleza son porosos porque, como mas adelante verémos, todos se contraen ó disminuyen de volúmen quitándoles calor; y es claro que si no hubiese espacios vacios, que permitiesen la retraccion de las partes, seria imposible tal fenómeno; pero si la porosidad es una propiedad general de los cuerpos, tomada en este sentido, deja de serlo siempre que se quiera significar por esta palabra, como sucede comunmente, la propiedad que tiene un cuerpo de dejar pasar gases ó líquidos por sus poros: el vidrio, por ejemplo, carece de es-

ta facultad; causa por la cual es tan útil dicha sustancia para los aparatos de física y de química. Hay además cuerpos que, aun cuando al fin dejan atravesar otros por sus poros, necesitan mucho tiempo y una presión muy considerable para que se llegue á efectuar el fenómeno. Sucede también que unos líquidos penetran con más facilidad que otros; como por ejemplo el mármol es atravesado fácilmente por el aceite, y no por el agua.

30. Multitud de ejemplos comprueban la porosidad de los cuerpos, y el paso de líquidos ó de gases por sus poros. Entre ellos un experimento muy antiguo hecho por los académicos florentinos del Cimento, demuestra la porosidad del oro: con objeto bien distinto llenaron de agua una bola hueca de este metal, luego la cerraron perfectamente, y comprimida después en una prensa, debió disminuir de volumen, en virtud de un teorema de matemáticas de que á igualdad de superficie de envoltura la esférica es la que comprende mayor volumen: se vió entonces salir el agua al exterior de la bola, atravesando los poros del oro, y formando en su superficie como una especie de rocío. No es este el único metal que deja trascolar los líquidos; el hierro fundido posee en tal grado esta propiedad, que es indispensable dar un baño interior de otro metal á los conductos que han de servir para el paso de los líquidos. Cuando se echa un pedazo de tiza en agua, se ven subir á la superficie una porción de gurgujitas de aire, que antes estaban contenidas en los poros de aquel cuerpo, y que el agua vá poco á poco desalojando: así si después de algun tiempo, y cuando ya no se desprenden las gurgujas, se parte la tiza, se hallará toda humedecida interiormente. Los filtros de piedra de que se usa en las casas para colar el agua, manifiestan también la porosidad de aquellos cuerpos.

31. El papel y los cordeles, en virtud del tejido propio á cada uno de ellos, presentan fenómenos distintos al empaparse en los líquidos: el primero aumenta de volumen en todas dimensiones y se arruga; los segundos se acortan y engruesan. La experiencia con que se prueba la porosidad de la madera se denomina en física la lluvia de mercurio: consta el aparato, tal como se emplea en el día, de un tubo *ab* de vidrio (fig. 12) que se enrosca por la parte inferior *b* en la máquina neumática: hay también otro tubo encorvado *cd* (que sirve para extraer el aire del aparato) colocado en la misma parte inferior del tubo *b*: este último está cerrado por arriba con un vaso de metal *a*, y fondo de madera, donde se pone el mercurio; tan luego como empieza á

hacerse el vacío en la máquina, cae el metal en forma de lluvia dentro del tubo.

Finalmente, si se introduce un huevo en un vaso con agua y se coloca todo debajo de la campana de la máquina neumática, se verá salir aire por los poros del huevo. Si se envuelve una cantidad de mercurio en una muñequilla de garcela sin epidermis, á medida que se apriete la muñequilla, irá saliendo el metal en gotas muy sutiles; y este es el medio de quitarle al mercurio las impurezas que á veces contiene.

32. La *cùtis* del cuerpo humano tiene poros; pero no deben estos confundirse con las aberturas que dan paso al vello, ni con las estremidades de los vasos exhalantes de la piel, por donde sale el sudor. Por los poros del *cùtis* pasan los líquidos, como lo demuestra la observacion comun de que el *cùtis* aumenta de volúmen y se arruga, especialmente en la estremidad de los dedos, cuando tenemos introducidas las manos por mucho tiempo en agua tibia. Los poros de las partes internas de nuestro cuerpo parece que no dan paso á los líquidos hasta despues de la muerte: entónces esta propiedad es muy manifiesta; por ella se explica como la parte de los intestinos que está tocando á la vegiga de la hiel, se encuentra teñida por este líquido; las manchas lividas que presentan los cadáveres en las partes mas bajas, debidas á la sangre extravasada, &c., &c.

33. Varios experimentos demuestran la porosidad de los líquidos: si en un tubo de unas treinta pulgadas de largo, cerrado por una estremidad, se echa ácido sulfúrico concentrado, hasta ocupar la mitad de su cavidad, y despues se acaba de llenar de agua; si hecho esto se tapa la estremidad abierta con un tapon de corcho y se invierte el tubo, se mezclarán ambos líquidos; pero el volúmen de la mezcla será menor que la suma de los volúmenes de ambos, pues queda un espacio vacío en la parte superior. Esta experiencia debe hacerse con precaucion, pues se calienta tanto en ella el tubo, que no puede tenerse con las manos.

34. Las artes se valen continuamente de los conocimientos físicos acerca de la porosidad de los cuerpos. Es muy sabido que para que no se salga un tonel, cuando está muy seco, no hay mas que cubrirlo con agua por algun tiempo, hasta que empapándose las duelas aumenten de volúmen y se compriman mutuamente, desapareciendo las rendijas; y se sabe tambien que de no pintarse las puertas no se podrían cerrar bien en invierno, á causa de haberse introducido la humedad que siempre hay en la atmós-

fera; y que dejarían grandes rajaduras en el verano cuando la humedad que contenían las puertas se evaporase: para que no se encorven los enchapados, hay que barnizarlos por la misma razón; asimismo los dibujantes estiran el papel mojándolo primero y colocándolo después en el estirador para que quede sin arrugas luego que se seque. En algunos países tienen un modo ingenioso para labrar las piedras de molino: formado ya el cilindro hacen una incisión circular y poco profunda en el lugar por donde quieren cortarlo; introducen después en la incisión, á fuerza de martillo, pedazos de madera secados al horno: mojados estos con agua, se hinchan y rompen la piedra por el sitio que se quería. Para hacer relieves en madera, como los que adornan las cajas de polvo, se toma un molde de acero con una porción de partes salientes que representan el dibujo que se desea, aplicándolo sobre el pedazo de madera, se golpea encima, y así queda el dibujo escavado; se hace luego desaparecer este por medio del cepillo, mas las partes salientes, al introducirse en la madera, han comprimido las fibras, y echando el pedazo en agua hirviendo se hinchan aquellas y sobresalen.

INERCIA.

35. Llámase *inercia* aquella propiedad que tienen los cuerpos inanimados de no empezar á moverse, ni tender á la quietud si están en movimiento, á no ser obligados á lo uno ú á lo otro por algún agente exterior. La inercia en el primer caso se denomina *inercia en quietud*, y en el segundo *inercia en movimiento*. Nada diremos acerca de la primera, porque como estamos todos acostumbrados á ver que los cuerpos inanimados no se mueven sino en virtud de una causa que origine el movimiento, nos parece escusado detenernos en cosa tan clara y manifiesta, sobre todo cuando estamos por decir que serán muy pocos los que no concedan desde luego, y sin la menor dificultad, esta propiedad á los cuerpos inanimados. No sucede lo mismo con respecto á la inercia en movimiento, porque nos parece contraria á lo que observamos continuamente: no hay en la superficie de la tierra, cuerpo alguno que se mueva sin cesar; sí vemos muchos que, moviéndose por algún tiempo, luego se paran: pero esto depende de que hay muchas causas que se oponen al movimiento, y también es de observación que no logramos destruir todas esas causas, pero

que á proporcion que se disminuyen algunas, el movimiento duras mas. Por ejemplo, si echamos á rodar una bola de marfil sobre una superficie desigual, poco durará moviéndose; mas si pulimos la superficie tardará mas tiempo en pararse: la resistencia que oponen el aire, y especialmente la atraccion de la tierra sin embargo, lograrán al fin quitarle el movimiento. Pero si no hay ejemplos de la segunda clase de inercia en la superficie de la tierra, nos lo ofrecen los Astros que desde su creacion continuan girando sin que se haya observado retraso en sus movimientos.

LECCION IV.



De la movilidad y del movimiento. Mecánica, division, nociones de estática.

MOVILIDAD.

36. La *movilidad* es la propiedad por la cual un cuerpo puede ser trasportado de un lugar á otro, ú ocupar sucesivamente puntos distintos del espacio; y se llama *movimiento* al acto de trasportarse el cuerpo de un lugar á otro: el estado opuesto al movimiento es la *quietud*; y á las causas que obran sobre el cuerpo, y que unas veces ocasionan el movimiento, y otras se destruyen y no llegan á moverlo, se les dá el nombre de *fuerzas* ó *potencias*: en el caso últimamente referido, de que las fuerzas no ocasionen movimiento en el cuerpo, se dice que este se halla en *equilibrio*. El equilibrio se diferencia de la quietud en que para esta última no hay fuerzas que obren. La parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos se llama *mecánica*: á estos fenómenos se les puede aplicar el cálculo matemático, y con su auxilio ha hecho esta parte de la física tan rápidos progresos, que constituye una ciencia separada conocida con el nombre de *mecánica racional*: sería ageno de nuestro objeto entrar en el estudio profundo de ella, ni bastan para eso los conocimientos que la ley exige de los alumnos dedicados á las ciencias médicas; sin embargo, son indispensables algunas nociones para el conocimiento de ciertos fenómenos de la economía animal, y estas son las que procuraremos dar, fundándonos en las consideraciones geométricas mas sencillas.

37. La mecánica se divide en cuatro partes que son *estática*, *dinámica*, *hidrostática* é *hidrodinámica*: trata la primera del

equilibrio de los cuerpos sólidos; la segunda de su movimiento; la tercera del equilibrio de los cuerpos fluidos y la cuarta de su movimiento.

NOCIONES DE ESTÁTICA.

38. Por lo que se ha dicho de las fuerzas ó potencias se infiere que estas no siempre han de ser iguales; y para designar su magnitud, el modo mas claro es el representarlas por líneas: así si tenemos dos fuerzas que sabemos ser una doble de otra y que la primera se represente por la línea *ab*, (fig. 13) la segunda deberá tener la magnitud *cd*: á esas magnitudes se les dá el nombre de *intensidades* de las fuerzas. Cuando varias fuerzas están obrando sobre un cuerpo, este se mueve como si no hubiese mas que una que las reemplazase á todas; á esta fuerza única se llama *resultante*, y á aquellas á que reemplaza ó puede reemplazar, *componentes*. Cuando una fuerza obra en un cuerpo sumamente pequeño procura llevarlo hácia algun punto, y á la recta que va desde el cuerpo al punto se llama *dirección de la fuerza*. No basta solo señalar la dirección, pues sobre A (fig. 14) puede obrar la potencia cuya dirección é intensidad está marcada por la recta AB, bien con una cuerda que obligase al cuerpo á venir de A hácia B, ó con un palo empujando á A, en cuyo caso iria el cuerpo hácia C. Estos dos casos se diferencian en el *sentido* de la fuerza: en el primero el sentido es de A hácia B; en el segundo á la inversa ó de A á C.

39. Es indiferente el punto de la dirección en que se aplique la potencia; así si obra en la dirección AB, (fig. 14) podemos suponer que está obrando en cualquiera de los puntos de dicha recta. Al cuerpo sumamente pequeño, en donde hemos supuesto antes que se aplicaba la fuerza, se le llama *punto material*. Cuando varias fuerzas obran en un punto material en la misma dirección y con el mismo sentido, tienen una resultante que es igual á la suma de ellas. Si dos fuerzas obran en un punto material, en la misma dirección y en sentido contrario, la resultante es igual en intensidad á la diferencia de dichas fuerzas; y su acción se ejerce en el sentido de la mayor. Siempre que dos fuerzas, que obran sobre un punto material, forman un ángulo entre si, la resultante es igual en intensidad y en dirección á la diagonal del paralelogramo construido con dichas fuerzas; esto

es, que si en el punto material *A*, (fig. 15) están obrando las dos fuerzas *AP* y *AQ*, la resultante será la *AR*. La demostración matemática de esta proposición, que se llama del *paralelógramo de las fuerzas*, no es elemental; pero pueden hacerse varios experimentos que la comprueben. Para uno de ellos se toma el aparato (fig. 16) que consta de un círculo de metal sostenido por un pie; en la circunferencia de dicho círculo se aplican garruchas ó poleas, *b*, *c*, las cuales se adaptan por medio de una abrazadera y un tornillo al sitio que se desea; se coloca en el centro del círculo un cilindro de metal *a* que es el cuerpo á donde van á aplicarse las fuerzas: en dicho cilindro se sujetan hilos, los cuales pasan por las poleas, y en sus estremidades se ponen pesos que representan las potencias: como las poleas fijas, según veremos, no hacen más que variar la dirección del movimiento, aunque los pesos pendientes de los hilos son fuerzas verticales, deben considerarse como horizontales en las porciones *ab* y *ac*. Si los pesos *p* y *q* son iguales seguirá el cilindro la dirección *ad* media entre *ab* y *ac*. Si son desiguales *p* y *q*, tomando en las líneas *ac* y *ab* partes proporcionales á estas fuerzas, y construyendo con ellas el paralelógramo, se verá que el cuerpo *a* sigue la dirección de su diagonal: si por ejemplo el peso *q* es doble de *p*, tomando en *ab* una parte *ae* igual $\frac{1}{2} am$ y formando el paralelógramo *aerm*, el cuerpo *a* se moverá en la dirección de la diagonal *ar*.

40. Existe en el gabinete para el mismo objeto otro aparato, el cual consta (fig. 17) de una pieza de madera *abcrmm'* compuesta de una parte *br*, unida á un pie por medio de un tornillo, que se halla en la parte posterior. El hilo á plomo *og* sirve para poner dicha pieza en posición vertical; como *ac* es perpendicular á *br*, *ac* será entonces horizontal: esta pieza tiene dos apéndices *m, m'* en forma de cuadrantes de círculo: á las partes laterales hay dos especies de mesetas *s, t* con dos poleas fijas *d* y *f*, por donde pasan los hilos *hdk*, *lfk* que se unen en el punto *k*; en los cuadrantes ya mencionados se hallan varias líneas y números que espresan lo siguiente: si suponemos que se haga centro en los puntos *u, x*, en donde las cuerdas *hdk* y *lfk* entran en la muesca de las poleas, con un radio igual á 10 pulgadas por ejemplo, y que se describan arcos de círculo; estos serán los cuadrantes que están formados en la figura con puntos: se ven en dichos cuadrantes muchos radios, que forman ángulos de varios grados con el radio horizontal: los números 4, $5\frac{3}{4}$, $9\frac{1}{2}$, 15, colocados en las estremidades de estos radios, son el valor de las tangentes trigonométricas de los ángulos respectivos, en la suposición de ser el radio = 10: así $9\frac{1}{2}$ por ejemplo es el valor de la tangente correspondiente al ángulo *ox* $9\frac{1}{2}$, etc.; los otros números $10\frac{3}{4}$, $11\frac{1}{2}$, $13\frac{3}{4}$, 18, representan el valor de las secantes de los mismos ángulos. La experiencia se hace de este modo: si colocamos los hilos *hdk*, *lfk*, unidos en *k*, y de suerte que sigan el uno la línea

en que está escrito el n.º $11\frac{1}{2}$ y el otro la del n.º $13\frac{3}{4}$ por ejemplo, y ponemos en las estremidades de dichos hilos pesos de la magnitud de estos números, como $11\frac{1}{2}$ onzas en P y $13\frac{3}{4}$ onzas en Q, habrá equilibrio si en R colgamos una pesa equivalente á la suma de las tangentes de aquellos ángulos, esto es á $5\frac{3}{4} + 9\frac{1}{2} = 15\frac{1}{4}$ onzas. Resultando bien la experiencia, si luego probamos que está fundada en el principio del paralelogramo de las fuerzas, quedará comprobado dicho principio. Para ello debemos advertir que el paralelogramo se reduce á rectángulo, cuando dos fuerzas forman entre sí ángulo recto; que la resultante es en ese caso hipotenusa de un triángulo rectángulo cuyos catetos son respectivamente iguales á las dos fuerzas, y de consiguiente que una fuerza es igual, á la resultante multiplicada por el coseno del ángulo que forma con dicha fuerza. Descomponiendo por este principio una de las fuerzas representada por la secante $13\frac{3}{4}$ (y que para mayor generalidad llamaremos *sec. a*) en otras dos, una horizontal y otra vertical; la fuerza horizontal será igual

1

á *sec. a cos. a*; y como $\frac{1}{\cos. a}$ según la trigonometría, esta compo-

nente será = 1: la componente vertical es igual á *sec. a sen. a*. Si descomponemos la otra fuerza, que en general llamaremos *sec. b*, en otras dos, una horizontal y otra vertical; la primera será igual á *sec. b cos. b* que es 1, y la vertical á *sec. b sen. b*; como las dos fuerzas horizontales son iguales, que obran en la misma dirección y en sentido contrario se destruirán, y no quedan mas que las componentes verticales *sec. a sen. a* y *sec. b sen. b*.

$\frac{\text{sen. a}}{\cos. a}$ y $\frac{\text{sen. b}}{\cos. b}$, ó lo que es lo mismo *tang. a* y *tang. b*; pero vamos á ver

muy pronto que la resultante de dos fuerzas paralelas es igual á la suma de las componentes; luego la resultante vertical es *tang. a + tang. b*, como queríamos demostrar: y si se pone dicha resultante en sentido contrario habrá equilibrio, como sucede en la experiencia. Seria fácil demostrar que dicha resultante ha de pasar por el punto *k*; pero no entraremos en esos pormenores.

41. Sucede tambien que en vez de ser el problema hallar la resultante dadas las componentes, hay que resolver el inverso; esto es, dada una fuerza descomponerla en otras dos: mas este problema es indeterminado, y se necesita para determinarlo establecer algunas condiciones. Entre las mas comunes es la de que las componentes sigan direcciones dadas. Supongamos que nos pidan el descomponer la fuerza AB que está obrando sobre el punto material A (fig. 18), en otras dos de las cuales una sea perpendicular á la recta CD y otra, paralela á la FG; para eso por el punto A tiro la recta indefinida AH perpendicular á CD y la AM paralela á la FG; tiro desde B las BP y BQ respectivamente paralelas á AM y AH, y tendremos que las dos fuerzas AP y AQ satisfacen á las condiciones pedidas.

LECCION V.



Siguen las nociones de estática.

42. En vez de concurrir en un punto las fuerzas suelen ser paralelas, y estar aplicadas à una vara que en mecánica se supone primero inflexible y sin peso; en este caso la resultante se halla gráficamente de este modo. Sean las fuerzas paralelas AP, BQ (fig. 19) que estan obrando en las estremidades A y B de la varilla AB; prolongo esta hácia ambos lados y tomo en dichas prolongaciones partes AC, BD iguales á la fuerza menor AP: construyo los paralelógramos ACFP y BDGQ; tiro las diagonales AF y BG; prolongo estas diagonales hásta que se encuentren en el punto H; tiro por H una paralela HM á las fuerzas dadas, y desde el punto O en que dicha recta corta á la AB, tomo una parte OR igual á la suma de AP y BQ; esta OR será la resultante, la cual tiene estas tres condiciones: 1.^a de ser paralela á las fuerzas: 2.^a de ser igual en magnitud á la suma de ellas, y 3.^a de estar aplicada en un punto de la AB, tal como O, que divide á dicha recta AB en partes reciprocamente proporcionales á las fuerzas; esto es que $AP:BQ::OB:OA$.

43. Para demostrar estas tres proposiciones considerémos de nuevo lo que se ha dicho en la construccion: prolongada la AB supongamos que la AC y BD sean dos fuerzas que obran en sentido contrario; como

son iguales, claro es que se destruirán y que no alterarán en nada el sistema de las otras dos AP y BQ que nos dieron. Ahora compongo las fuerzas AC y AP; la resultante será la diagonal AF: hago lo mismo con las fuerzas BD y BQ; darán la resultante BG: estas dos fuerzas AF y BG pueden suponerse aplicadas á cualquier punto de su direccion; prolóngolas hasta que se encuentren en H y supongo que sea H este punto de aplicacion. Las dos fuerzas son ahora $Hs = AF$ y $Ht = BG$. Descompongo la Hs en otras dos, una paralelamente á AP como Hn y otra á CA, tal como Hz; es claro que $Hs = AC$ y $Hn = AP$. Descompongo tambien la Ht en otras dos que sigan respectivamente la direccion de las componentes de la Hs; tales son la Hr y la Hq; tambien es evidente que $Hr = BD$ y $Hq = BQ$: las dos fuerzas iguales Hz y Hr, que obran sobre el punto H en la misma direccion y en sentido contrario, se destruyen: Las otras dos Hn y Hq, que obran en la misma direccion y en el mismo sentido, se suman; luego la resultante pedida es igual á la suma de las componentes, y es paralela á las fuerzas. En vez de considerarla aplicada al punto H puede suponerse que lo esté al punto O, en que la recta HR corta á la AB. Réstanos ahora que demostrar la 3.^a parte de la proposicion, y para ello considero los triángulos AFP, HAO que son semejantes á causa de tener el ángulo $AFP = HAO$ por correspondientes y el $FAP = AHO$ por la misma razon; y como el triángulo AFP tiene $FP = AP$, el AHO nos dará $AO = OH$. Los triángulos BQG y HOB son tambien semejantes y tendrán los lados homólogos proporcionales.

$$BQ:QG:: HO:OB$$

ó

$$BQ:AP:: AO:OB$$

por ser $QG = AP$ y $HO = AO$.

44. Para comprobar esto existe en nuestro gabinete un aparato muy sencillo, compuesto de dos reglas de madera *ab*, *cd* (fig. 20), la primera fija por el punto *f*, tiene una hendidura *mn* en medio de una de sus caras, donde se introducen dos poleas, por las cuales pasan dos hilos: una de las estremidades de estos hilos se fija en la regla movable *cd* la cual está graduada; de la otra estremidad penden pesos; en otro punto de la regla movable hay otra pesa pendiente de un hilo; y es fácil ver que no hay equilibrio sino cuando las pesas y las distancias á que estan aplicadas satisfacen á las condiciones dichas: en el caso de la figura la $R = 12 = P + Q = 4 + 8$; y las distancias del punto O á donde se hallan aplicadas P y Q, estan en razon inversa de sus valores.

45. En la determinacion del punto O (fig. 19) en que la resultante corta á la varilla AB, no entra mas que el tamaño ó intensidad de las fuerzas AP y BQ; pero de ningun modo su direccion. De aqui se sigue (fig. 21) que si, dadas las fuerzas P, y Q y hallada la resultante OR, tomasen las fuerzas las direcciones AP' BQ' ú otras cualesquiera, con tal que se conserven paralelas entre sí, que no varien de intensidad y que permanezcan siempre

aplicadas á los mismos puntos A y B, siempre pasará la resultante por el punto O y será igual en tamaño á la OR. A este punto O que goza de tan notable propiedad se le denomina *centro de las fuerzas paralelas*. Bien pronto veremos lo útil que es su determinacion en mecánica.

46. Si las fuerzas paralelas que estan obrando en una varilla inflexible tienen sentido contrario como las AP y BQ (fig. 22) en tal caso la resultante es igual á la diferencia de las dos fuerzas, obra en el sentido de la mayor y en un punto que ya no está comprendido entre las fuerzas, sino situado en la prolongacion de la AB, del lado de la mayor, como en C.

47. Si las dos fuerzas paralelas fuesen iguales y obrasen en sentido contrario como las AP, BQ, (fig. 23) este sistema de fuerzas se denomina en mecánica *un par*: es imposible hallarle una resultante única; y si tuviese la varilla un punto C al rededor del cual pudiera moverse, las fuerzas P y Q harian que entrase dicha vara en un movimiento de rotacion.

48. Cuando varias fuerzas paralelas estan obrando sobre puntos unidos entre sí de un modo invariable, es fácil hallar la resultante combinando primero dos fuerzas, luego la resultante de estas con otra tercer fuerza, y así sucesivamente: siendo cosa evidente que las consideraciones relativas al centro de fuerzas paralelas, en el caso de dos fuerzas, serán tambien aplicables cuando se trata de muchas: y que de consiguiente la posicion de él no varía si las fuerzas se mantienen con la misma intensidad y aplicadas á los mismos puntos que antes, aunque todas ellas cambien de direccion, con tal que se conserven paralelas entre si.

49. Llámase *momento de una fuerza* el producto de dicha fuerza por la perpendicular tirada á ella desde un punto que se toma por *origen de momentos*. Así suponiendo que el punto C (fig. 24) sea el origen de momentos, y que la fuerza sea la AB; AB.CD será el momento de dicha fuerza.

50. Si tenemos dos fuerzas paralelas cualesquiera AP y BQ (fig. 25) cuya resultante es la CR y tomamos por origen de momentos un punto D de la resultante, tendremos AP.DO = BQ.DS ó los momentos de las fuerzas iguales entre sí. Para demostrarlo observaremos que puesto que DO y DS son perpendiculares tiradas desde un mismo punto D á rectas que son paralelas entre sí, no formarán mas que una sola recta OS: ahora bien; como el punto C es aquel en donde la resultante corta á la recta AB, á que estan aplicadas las fuerzas, será el centro de fuerzas paralelas y de consiguiente AP:BQ::CB:AC; pero las dos rectas AB y OS cortadas por las tres paralelas AP, CR y BQ nos darán CB:AC::DS:OD; luego AP: BQ:: DS:OD y de consiguiente AP.DO = BQ.DS; que era lo que se queria demostrar.

LECCION VI.



Siguen las nociones de estática.

GRAVEDAD Ó PESANTEZ.

51. Newton descubrió que habia atraccion asi entre los cuerpos que ocupan los espacios celestes, como entre los que se hallan en la tierra: á la primera le llamó *atraccion planetaria ó de gravitacion*: á la segunda *gravedad ó pesantez*. Las partes de un mismo cuerpo se atraen tambien entre sí; mas entonces la atraccion se verifica á distancias muy cortas, denominándose *cohesion* cuando las moléculas del cuerpo son de la misma naturaleza, y *afinidad* si son de distinta.

Bajo el supuesto que dos cuerpos se atraen mutuamente, nada parece que seria mas fácil que hallar el modo de comprobarlo; pues pudiera creerse que bastaba ponerlos uno enfrente de otro, para que en virtud de sus fuerzas atractivas recorriesen ambos la distancia que los separaba, hasta llegar á juntarse.

Pero á buen seguro que se consiguiera por este medio lo que se deseaba, debido á que lo impiden causas mas poderosas que la fuerza que procura unirlos. Si se tratase por ejemplo de dos cuerpos colocados sobre una mesa, se opondrian á que se juntasen, 1.º su rozamiento con la mesa; 2.º la resistencia del aire y 3.º y principal la atraccion de la tierra sobre cada uno de ellos.

Cavendish venciendo estos inconvenientes puso de mani-

fiesto el acto de la atracción de los cuerpos con un aparato, cuyas partes mas esenciales vamos á describir. Supongamos una varilla metálica delgada ab (fig. 26), pendiente por un alambre del punto fijo c , que corresponde á la parte media de la varilla; que de las estremidades de esta cuelguen dos bolas iguales y de poco peso f y g : que otras dos bolas sumamente grandes de plomo m y n , estén colocadas de tal suerte con respecto á las otras, que si la m está situada por delante de la f , la n corresponda á la parte posterior de g . Las bolas grandes estan pendientes de dos varas mr y ns unidas entre sí por la vara rs : si suponemos que la rs se cruza formando un ángulo recto con la ab , por medio de la cuerda tz que pasa por la polea u , aun cuando las bolas m y n atraigan á las f y g , como todo es simétrico de una y otra parte, el sistema permanecerá en equilibrio; pero si separamos la rs de dicha posición, aproximando la m á la f y la n á la g , entonces la atracción de las bolas hará que las pequeñas vayan á dar contra las grandes; porque las atracciones de ambos lados coadyuvan á este fin. Cavendish colocó un aparato análogo al explicado en un cuarto sin puertas ni ventanas, para impedir las corrientes de aire, y á fin de poder observar lo que sucedia en el interior tenian las paredes dos aberturas pequeñas, en una de las cuales habia un aparato de iluminación y en la otra un anteojo para observar.

52. Los cuerpos se atraen en razon directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias; entendiéndose por *masa* la cantidad de materia ó de sustancia de que están formados. La primera parte de esta ley significa que si un cuerpo A (fig. 27) cuya masa es por ejemplo 2, atrae como 5 á otro cuerpo B, otro tercero C, cuya masa supondremos tres veces mayor que A, atrae tres veces mas á otro $D=B$, que está á la misma distancia de C que B estaba de A. El que la atracción obra en razon inversa del cuadrado de la distancia quiere decir, que si tenemos un cuerpo A (fig. 28) que atraiga á otros dos de iguales masas B y C, pero que el C esté colocado á una distancia doble de A que la que hay de B á A; la atracción de A con C será á la de A con B como el cuadrado de 1 es al cuadrado de 2; ó lo que es lo mismo que C será atraído hácia A cuatro veces menos que B.

53. Newton demostró el siguiente teorema cuya aplicación veremos inmediatamente. Si tenemos una masa esférica cuyas moléculas atraigan en razon directa de las masas é inversa del cuadrado de las distancias; dicha masa atraerá á un punto material situado fuera de la superficie, como si toda la masa de la esfera estu-

viese en el centro de ella: así A (fig. 29) atraerá al punto m situado fuera, como si toda la esfera estuviese en C y la distancia á la molécula, fuese la Cm . De aquí se infiere que un cuerpo cualquiera separado de la superficie de la tierra es atraído hácia ella con una fuerza que está dirigida hácia el centro. Si un cuerpo cualquiera se suspende por un hilo, claro es que la dirección que toma el hilo irá á parar al centro de la tierra. A esta dirección se llama *línea vertical y plomada* ó *hilo á plomo* al cuerpo pendiente de un hilo, cuando está en equilibrio por la acción de la gravedad: con este instrumento descubrió Bouguer que las montañas separaban el hilo á plomo de su posición vertical, y se tuvo de este modo otra nueva prueba de la atracción de los cuerpos entre sí.

54. Del teorema anterior se deduce también que si queremos averiguar la dirección con que son atraídos por la tierra T (fig. 30) las partes de un cuerpo m colocado fuera de ella, será indispensable tirar rectas que saliendo del centro de la tierra vayan á terminar á los distintos puntos del cuerpo, como cr , cs &c.; pero los cuerpos que generalmente consideramos tienen unas dimensiones tan pequeñas con respecto á la tierra, y de consiguiente con respecto á la distancia á que está el vértice c del ángulo rcs , que es imperceptible este ángulo, pudiéndose considerar como paralelas las líneas cr , cs , &c. Luego á la gravedad es aplicable todo cuanto hemos dicho tocante á las fuerzas paralelas, y el punto que en aquella teoría se llamó centro de fuerzas, toma ahora la denominación de *centro de gravedad*. La resultante de las fuerzas paralelas, que pasa por dicho punto, se llama ahora *peso del cuerpo*. La intensidad de la gravedad varía en razón inversa del cuadrado de la distancia de los puntos del cuerpo al centro de la tierra, y estas distancias son en rigor desiguales; pero por la misma razón de la pequeñez de los cuerpos que generalmente consideramos, en comparación con el radio de la tierra, y que aunque se supongan en distintas alturas ó distancias de su superficie, todas ellas son en general insignificantes respecto á dicho radio; puede sin error sensible suponerse las distancias iguales, y de consiguiente la acción de la gravedad la misma para todas las moléculas. Veremos al tratar del movimiento como se comprueba esta verdad.

55. Hay un medio mecánico de hallar el centro de gravedad de los cuerpos que es el siguiente; suspéndase con un hilo el cuerpo de que se trata como por ejemplo el abc (fig. 31) por uno cualquiera de sus puntos a , y después de estar en equilibrio,

señálese en el cuerpo la as , prolongacion de la vertical ra ; hecho esto cuélguese de nuevo por otra parte como c (fig. 32) tírese la vertical cd y el punto m , en que esta corta á la recta sa , es el centro de gravedad que se busca.

56. La posicion del centro de gravedad en los cuerpos que estan formados de la misma materia en todas sus partes (que se llaman *homogéneos*) depende solamente de la figura que tienen; mas en los *heterogéneos* ó formados de partes de diversa especie, hay que atender á la figura y á la colocacion de las porciones mas pesadas.

57. He aqui la posicion del centro de gravedad de los cuerpos que tienen las figuras mas comunes de la geometría. El centro de gravedad de una linea recta está en su parte media; el de un cilindro en la mitad del eje; el de un paralelógramo en el punto en que se cortan sus dos diagonales; el de un círculo y de una esfera en sus centros de figura; el de un triángulo á los dos tercios contando desde el vértice, de una linea que vá del vértice de un ángulo á la mitad del lado opuesto; el de un paralelepípedo en el sitio en que se cortan sus diagonales; el de una pirámide y el de un cono á las tres cuartas partes contando desde el cúspide de una linea que vaya desde dicho cúspide al centro de gravedad de la base.

58. Cuando un cuerpo está atravesado por un eje horizontal que pasa por su centro de gravedad, dicho cuerpo permanecerá en equilibrio en cualquiera posicion en que se coloque. Si el eje no pasa por dicho centro, habrá dos posiciones en que estará tambien en equilibrio, y en ambas el centro de gravedad y el eje estan en un plano vertical; pero cuando el centro de gravedad está mas alto que el eje, el equilibrio se llama *instantáneo* ó *instable* porque, en el momento que se aparta un poco el cuerpo de su posicion de equilibrio, se separa cada vez mas de dicha posicion, y nunca vuelve á ella. Si el centro de gravedad está mas bajo que el eje de suspension, separado el cuerpo de su posicion de equilibrio, oscila por una y otra parte hasta que vuelve á pararse: por eso este equilibrio se llama *estable*. Varios aparatos hay para demostrar estas posiciones distintas de equilibrio: uno de ellos consta de un triángulo abc de metal (fig. 33) que tiene otra lámina de la misma sustancia bd con tres aberturas r, s y t , de las cuales la s corresponde al centro de gravedad. Un pie f , con una varilla de acero horizontal, sirve para introducir por ella los distintos agujeros del triángulo; y se observa que suspendido por la abertura s se pue-

de colocar dicho triángulo en cualquier posición, y siempre está en equilibrio: que cuando se introduce en r el equilibrio es estable é instantáneo si se introduce en t .

59. En vez de estar suspendidos los cuerpos pueden estar apoyados sobre un plano; y en tal caso la superficie por donde tocan al plano se llama *base de sustentacion*: tambien puede suceder que no se apoye el cuerpo mas que sobre algunos puntos, tales son por ejemplo los cuatro pies de una mesa, sin embargo la base de sustentacion es el rectángulo formado en el plano de sustentacion por estos pies. Puede tambien en realidad reducirse á un punto esta base, una esfera apoyada sobre un plano está en este caso. Los cuerpos apoyados sobre un plano tienen tambien equilibrio estable é instantáneo. Si la vertical tirada desde el centro de gravedad del cuerpo al plano de sustentacion cae dentro de la base de sustentacion, el equilibrio es estable. Si cae en algunos de los bordes de dicha base, el equilibrio es instantáneo; y finalmente si dicha vertical cae fuera de la base, no podrá permanecer en la posición que le suponemos y el cuerpo se caerá. Así el cuerpo $abcd$ (fig. 34) que se apoya sobre el plano de sustentacion con cuatro pies, tiene una base de sustentacion $a' b' c' d'$; y por caer la vertical or , tirada desde el centro de gravedad o al plano de sustentacion, dentro de la base $a' b' c' d'$, el cuerpo $abcd$ permanecerá en equilibrio estable. Si fuese el cuerpo B, cuya base de sustentacion es $mnpq$, y en el cual la vertical gq tirada desde el centro de gravedad g del cuerpo cae en el punto h , que está en el borde de la base de sustentacion, el equilibrio será instantáneo: en cuanto se separe un poco de esa posición dará el cuerpo una vuelta y se caerá; y sucederia lo mismo si esa vertical fuese á caer en algun punto de la $mnpq$. En fin el cuerpo C, cuya vertical gH tirada desde el centro de gravedad, cae fuera de la base de sustentacion $tzsm$ se caerá precisamente.

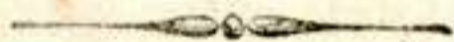
60. De dos cuerpos apoyados sobre un plano con iguales bases de sustentacion, simétricamente dispuestos con respecto á él, pero cuyos centros de gravedad esten á distintas alturas, como por ejemplo A, B (fig. 35); se necesitará hacer menor esfuerzo para derribar aquel cuyo centro de gravedad esté mas elevado.

61. Muchas aplicaciones hay de los principios sencillos que acabamos de explicar relativamente á los cuerpos apoyados; diremos cuatro palabras sobre la aplicacion á los carruages, y nos estenderémos algo mas en la de las varias aptitudes del hombre.

La base de sustentacion de un carruage varia segun el número de ruedas: en los de dos, la base es un triángulo formado por los dos puntos en que las ruedas tocan al suelo, y el tercer punto está formado por las manos del caballo; así la base de sustentacion será tanto mayor cuanto más separadas esten entre sí las ruedas. El centro de gravedad del cabriolé, si lleva dentro algunas personas, está un poco más alto que el nivel de los asientos; y de consiguiente estará tanto más elevado cuanto más altas sean las ruedas: de lo que se infiere que para mayor seguridad estas deben ser chicas y el eje largo. En los carruages de cuatro ruedas la base de sustentacion es el cuadrilátero formado por los puntos en que aquellas tocan al suelo; de donde resulta que es mayor que la del cabriolé. De estos principios se deduce que no debe ponerse la carga, ni mucho peso en la parte superior de las diligencias, porque haciéndolo así se eleva el centro de gravedad, y son más fáciles los vuelcos.

La base de sustentacion del hombre es el espacio comprendido entre sus dos pies; y de consiguiente es distinta segun la posicion de estos: cuando los pies están muy apartados entre sí, la base de sustentacion se agranda; cuando por el contrario los pies están juntos la base es muy estrecha: todavía es mucho menor, á lo menos transversalmente, colocando un pie delante del otro y en la misma línea; por eso es facilísimo derribar á cualquiera en esta posicion con un impulso lateral. Nosotros maquinamente y por lo que el hábito nos ha enseñado, tenemos buen cuidado de variar la posicion de los pies segun la direccion en que nos oponemos á alguna fuerza. El centro de gravedad de un hombre en pie, con la cabeza recta y con los brazos unidos al tronco, está delante de la última vértebra lombar; pero este centro de gravedad varia mucho de posicion segun que movamos en distinta direccion las extremidades superiores. Cuando el hombre está sobre un pie, la base de sustentacion es muy pequeña, como que solo es el espacio de la planta; por lo que es sumamente difícil el mantenerse así: si lo hemos logrado con cierta posicion del cuerpo, debe entonces caer la vertical bajada del centro de gravedad, en la base de sustentacion; y si en esta postura adelantamos ambos brazos, sin mover el tronco, al momento conocemos que nos caeríamos si no moviésemos el tronco para evitarlo. Las corvaduras de la columna vertebral, pudiendo aumentarse ó disminuirse segun nuestra voluntad, contribuyen á hacer variar la posicion del centro de gravedad. En el acto de andar va la vertical bajada de dicho

centro cayendo sucesivamente de un pie á otro. Al subir una escalera inclinamos el cuerpo, para hacer que el centro de gravedad corresponda por su vertical al pie que tenemos en el escalon mas alto, y cuando ya conocemos esto es cuando levantamos el pie del escalon mas bajo.



LECCION VII.



Continuacion de las nociones de estática.

MAQUINARIA.

62. Llámase así la parte de la estática que trata de las máquinas; entendiéndose por máquina un aparato que sirve para transmitir la acción de una fuerza á otra. En toda máquina hay que considerar por lo menos tres cosas, que son la potencia, la resistencia y el punto fijo: *potencia* es la fuerza que se emplea para vencer cierto obstáculo; este se llama *resistencia*, y *punto fijo* es uno al rededor del cual se mueven la potencia y la resistencia. Entiéndese por cálculo de una máquina, el averiguar la relacion que debe haber entre las intensidades de la potencia y resistencia. Las máquinas se dividen en simples y compuestas: las simples son tres, la palanca, el plano inclinado y las cuerdas; las compuestas son en gran número; pero estan formadas de combinaciones de las simples.

63. *Palanca*. Es una vara inflexible y sin peso, (ó á lo menos así la consideraremos por ahora, y despues veremos las modificaciones que resultan por estas circunstancias) que tiene un punto fijo y que están aplicadas á ella la potencia y la resistencia: así la recta AB (fig. 36) que tiene el punto fijo C y las fuerzas AP y BR que pueden considerarse como potencia y resistencia será una palanca. La potencia y la resistencia pueden tener una direccion

cualquiera, y no es difícil hallar en todos los casos la relación entre dichas fuerzas ó la ley de equilibrio; pero nosotros conciliando la mayor claridad con lo que únicamente es necesario para nuestro propósito, supondremos que la potencia y resistencia son paralelas entre sí: siendo evidente que para que haya equilibrio sería menester ó que no hubiese resultante, lo que es imposible habiendo fuerzas, ó que esta resultante se destruya; y para esto no queda otro recurso sino que pase por el punto fijo; de consiguiente la resultante para que haya equilibrio pasará por C, á cuyo punto hemos denominado ya centro de fuerzas paralelas. Luego según lo dicho (nº 42) tendremos $P: R:: CB: CA$. Ahora bien á la distancia que hay entre el punto fijo y la potencia se llama brazo de palanca de la potencia: á la distancia entre el punto fijo y el sitio donde está aplicada la resistencia, brazo de palanca de la resistencia: luego la ley de equilibrio de la palanca es *Potencia es á resistencia como el brazo de palanca de la resistencia es al brazo de palanca de la potencia*. Hay tres géneros de palanca: la de primer género tiene el punto fijo entre la potencia y la resistencia, tal es la AB (fig. 36): en la de segundo la resistencia está entre el punto fijo y la potencia (fig. 37): finalmente en la de tercero (fig. 38) la potencia está entre el punto fijo y la resistencia: claro es que en estas dos últimas la potencia y resistencia han de tener sentidos contrarios para que haya equilibrio. El punto fijo sostiene el esfuerzo que haría la resultante de la potencia y resistencia, puesto que destruye á dicha fuerza, y esto se suele indicar con el nombre de carga sobre el punto fijo. Para demostrarlo experimentalmente se toma una palanca *ab* (fig. 39) y supongamos que su punto fijo *c* esté situado de suerte que $cb = 2ac$; para que haya equilibrio será indispensable que en *b* haya una fuerza como 1 y en *a* como 2: pues *c* sostendrá un peso como 3 de lo que es fácil convencerse poniendo en dicho punto un peso equivalente á 3, que pase por una garrucha fija (especie de máquina que, según veremos después, ni aumenta ni disminuye la potencia) pues de esa suerte el sistema quedará en equilibrio.

64. Cada fuerza obra con mas ventaja en esta máquina según que sea mayor el brazo de palanca correspondiente; así la palanca de primer género, cuyos brazos son iguales, favorece igualmente á la potencia y resistencia; y si los brazos son desiguales á aquella fuerza en donde está el brazo mayor. La palanca de segundo género siempre favorece á la potencia y la de tercero siempre á la resistencia.

65. Para comprobar la ley de la palanca se emplea un aparato, compuesto (fig. 40) de un pie RS de donde se levanta una columna M, que termina en una especie de ojal de metal *cd*; por este ojal pasa la palanca AB de madera ligera, la cual está dividida en partes iguales, y en estas divisiones hay aberturas, para pasar por ellas hilos y suspender pesos, que hayan de hacer las veces de potencia y resistencia. En la estremidad A hay una pieza de cobre *r* que se erosca y sobresale mas ó menos para variar la longitud de este brazo. Para hacer el experimento con la palanca de primer género y de brazos desiguales por ejemplo, se coloca primero la palanca AB en la posición (fig. 40); y se empieza á mover la pieza *r*, hasta tanto que la vara AB permanezca en equilibrio y en posición horizontal: hecho esto se coloca un peso de una onza en el punto D, será necesario para el equilibrio poner otro peso de dos onzas en el punto E, por ser $CD=2EF$, ó de 4 onzas en S, por ser $CD=4CS$ y así sucesivamente. Para los experimentos de palanca de segundo y tercer género se dispone el aparato como en la fig. 41: pueden modificarse de mil maneras los experimentos y sería del todo inútil insistir mas sobre este asunto.

66. Cuando las fuerzas no obran en una dirección perpendicular á los brazos de palanca, como la fuerza AP en la (fig. 42), para hallar cual es el efecto que produce debe descomponerse en otras dos fuerzas, una BM perpendicular á AB, que es la que obra, y otra BS que sigue la dirección de la palanca y que se destruye por la resistencia del punto fijo.

67. Además de las fuerzas que obran en los brazos de palanca hay tambien que atender á su peso considerándolo como una fuerza vertical que actúa en su centro de gravedad. Por fuerte y tenaz que sea la materia de que esté formada la palanca, siempre la encorvarán algo las fuerzas que estan obrando sobre ella; mas como se puede aplicar cuanto hemos dicho de la palanca recta, á la palanca curva, no habrá mas que observar cual es la curvatura producida por dichas fuerzas, y hacer entrar esta consideración en el cálculo.

68. El órden que hemos seguido en todo lo relativo á la palanca puede muy bien servirnos de norma, para conocer el método adoptado por los matemáticos, en la resolución de los problemas físicos. Veamos pues cual ha sido este órden, concretándonos á la cuestión de que acabamos de tratar. Primero se consideró la palanca como vara inflexible y sin peso, suposición evidentemente imposible, por cuanto no existen en la naturaleza se-

mejantes varas. Pero establecida que fué la ley de equilibrio bajo tal supuesto, pudimos considerar ya el fenómeno como lo presenta la naturaleza, y hallar la ley de equilibrio de la palanca siendo la vara pesada y flexible.

69. Hay en la naturaleza y en las artes muchos ejemplos de palancas de los tres géneros. Las tijeras, las pinzas de anillo, las tenazas &c., son del primero y además palancas dobles: el punto fijo está en el clavillo, la potencia en los ojos adonde se aplican los dedos, y la resistencia en las hojas: esta es la razón por la cual hay tan gran diferencia entre las tijeras destinadas á cortar el papel, cuyas hojas son muy largas y los ojos están muy cerca del clavillo y las tijeras que sirven para cortar metales. Palanca de segundo género es el remo, pues la potencia está en la estremidad por donde lo coje el marinero; la resistencia que es la nave, está aplicada al lugar en que el remo se une á ella, y el punto fijo es el agua. Palanca de tercer género son las pinzas de disecar, pues el punto fijo está en la unión de las ramas, la resistencia ó el cuerpo que se agarra, en su extremo, y la potencia ó la mano entre el punto fijo y la resistencia.

70. En el cuerpo humano hay una multitud de palancas y las mas comunes son las de tercer género, es decir aquellas en que no está favorecida la potencia. Además la dirección sumamente oblicua al brazo de palanca en que obra esta en la economía animal, dirección indispensable atendida la configuración de nuestros miembros destruye una gran parte de la potencia. Para que el braquial anterior, por ejemplo, fuese perpendicular al cúbito cuando empieza á obrar, claro es que el brazo y el antebrazo habrían de tener otra figura. Además es una cosa común á todas las máquinas, que advertiremos desde luego en la palanca, que lo que se gana en fuerza se pierde en tiempo y viceversa: por ejemplo en la (fig. 43) es cierto que con un peso como 1 aplicado en A se podrá hacer equilibrio á otro como 6 puesto en B; pero también el cuerpo A tendrá que recorrer un espacio que es seis veces mayor que el recorrido por B; así para levantar del suelo un pié el cuerpo B será necesario que A suba 6 pies. En la palanca de tercer género, de consiguiente estando situada en A la resistencia y en B la potencia es claro que se necesita mucha fuerza para levantar cualquier cuerpo colocado en A, pero por poco que ande el punto B producirá gran movimiento en A y se ganará en tiempo lo que se ha perdido en fuerza. La naturaleza pues ha atendido en la configu-

racion de los animales á la rapidez de los movimientos, perdiendo en fuerza lo que gana en tiempo. En la economia animal hay palancas encorvadas y palancas dobles; pongamos un ejemplo. La mandíbula inferior es una palanca doble y encorvada: el punto fijo de cada una de ellas está en la articulacion; la potencia principal para levantar la mandíbula es el músculo crotáfites ó temporal, que vá á atarse á la apofisis coronoides, muy cerca de la articulacion; la resistencia son los alimentos; y la naturaleza ha tenido buen cuidado de disponer los dientes de suerte que aquellos que sirven para dividir cuerpos blandos, estén colocados donde su brazo de palanca sea largo; y que tenga menos brazo de palanca, y de consiguiente no obre la potencia con tanta desventaja, en donde están colocadas las muelas.

71. Llámase *balanza* una palanca de primer género, cuyos brazos son iguales. Las balanzas ordinarias constan de una barra de acero *ab* (fig. 44) aplanada, para que presente mayor superficie de arriba abajo que en ninguna otra direccion, á fin de que resista mas á las fuerzas que procuran encorvarla hácia bajo; las dos estremidades de esta barra *ab*, que se llama *astil*, tienen dos anillos de donde cuelgan por medio de tres cadenas ó cuerdas los *platillos* *m, n* cuyo peso, incluso el de las cadenas ó cuerdas, debe ser el mismo para ambos: todo este aparato así descrito tiene su centro de gravedad *c* y encima de dicho centro está atravesado el astil por un cilindro de acero *do* que está soldado con él y que se llama el *eje*: las estremidades de este eje descansan en dos agujeros que presenta una pieza llamada *ojal* *rs* y de la parte superior del astil, en el sitio correspondiente al eje, se levanta una aguja denominada el *fiel* *f*: hemos dicho que el eje de la balanza ó el punto de suspension de ella ha de estar colocado encima del centro de gravedad, pues si sucediese lo contrario, esto es, que el punto de suspension estuviese situado mas abajo que el centro de gravedad, el equilibrio seria instantáneo, la balanza se llamaria *loca*, y no seria posible pesar con ella: si coincidiese el centro de gravedad y el de suspension, estaria en equilibrio el astil en cualquiera posicion y no podriamos distinguir la de equilibrio; la balanza toma entónces el nombre de *balanza quieta*.

72. Para que una balanza sea buena, ademas de las condiciones ya dichas, ha de tener iguales en longitud y en peso sus dos brazos: deben estar igualmente distantes del punto de suspension, los sitios en que la argolla que sostiene las cuerdas ó cadenas de que cuelgan los platillos, se une con el astil y mantener-

se así en todas las pesadas; debe además ser sensible, esto es, que aunque esté cargada con bastantes pesos en ambos platillos, un cuerpo de peso muy pequeño le haga perder el equilibrio. Los platillos han de poder moverse libremente al rededor de su punto de apoyo respectivo, para que la vertical tirada desde dicho punto caiga siempre en el centro de dicho platillo, pues si no fuese así, como el B de la fig. 45 que supondremos unido de tal suerte con la estremidad de la balanza *cd* que no le permita movimiento, claro es que si ponemos dos pesos iguales en los platillos B y E la balanza se quedará en equilibrio; pero en el momento que se separe el astil de la posición horizontal y tome otra, por ejemplo la indicada en la fig. 46 el peso colocado en B obrará según la dirección Bg es decir como si estuviese aplicado en *f*, ó que fuese mayor este brazo de palanca.

73. Las balanzas comunes que acabamos de describir nunca son bastante sensibles á no ser que se disminuyan mucho sus dimensiones, en cuyo caso no sirven para pesar cuerpos de mucho peso. Fortin construía unas, que llevan su nombre, y que sobresalen por su exactitud y sensibilidad: describirémos la que existe en el Gabinete que es magnífica: consta de un pie (fig. 47) en forma de pirámide *ab* hueca por dentro y que termina en la parte superior en dos planos de ágata: sobre ellos descansan dos cuchillos de acero no muy cortantes que sirven de eje al astil *cd*; este tiene de longitud 99 centímetros; 8 milímetros de grueso y 35 de ancho hácia su parte media, y luego vá angostándose hácia las estremidades como lo representa la figura. De la parte media é inferior de dicho astil sale una varilla de metal con rosca, en donde entra una bola que se sube ó se baja, á fin de que el centro de gravedad del astil esté mas ó menos cerca de los puntos de suspensión, con lo que se consigue que la balanza sea mas ó menos sensible, puesto que su sensibilidad es tanto mayor, cuanto menos bajo esté el centro de gravedad. En los puntos *f* y *g* de dicho astil se elevan dos agujas de la figura indicada, las cuales cuando hay equilibrio deben estar mirando á otras dos lengüetas fijas *h, k* que existen en otra pieza de que hablaremos despues: las estremidades del astil tienen aberturas cuyos bordes estan cortados en bisel lo mismo que los ganchos que sostienen las cadenas de los platillos; de las partes laterales de la pirámide que sirve de pie, salen dos brazos de metal *mn* que sostienen las lengüetas fijas *h, k* de que hemos hablado y que presentan además dos sustentáculos de ágata *rs* en donde se apoya el astil cuando descansa. En la parte inferior de la pirámide

hay una manigueta t que girando en un arco de círculo de 90° hace subir y bajar los planos de ágata que sostienen los cuchillos del eje: cuando suben, la balanza está lista para obrar, cuando bajan quedan en hueco los cuchillos, disposición que permite que ni se gasten ellos, ni gasten el ágata con el peso de la balanza: con un hilo á plomo z x que tiene el pie se conoce si está ó no la pirámide en posición vertical y puede lograrse el ponerla por medio de tornillos y, y colocados en la base de dicha pirámide: cargada esta balanza con 1 kilogramo en cada platillo es sensible á poco mas de una milígrama.

74. Pero por muy perfecta que sea una balanza, es imposible que hayan salido matemáticamente iguales en longitud y en peso los brazos de palanca; de consiguiente se necesitaba un método para que este error en nada influyese en las pesadas; y esto se ha conseguido con el ideado por Borda, el cual consiste en colocar en uno de los platillos el cuerpo cuyo peso queremos averiguar, y echar en el otro arena ú otro cuerpo hasta establecer el equilibrio: hecho esto se quita el cuerpo, teniendo sumo cuidado en que ni varien los puntos en que los cuchillos del eje están apoyados en los planos de ágata, ni los de suspensión de los platillos; por último se colocan despues pesas en el platillo vacío, hasta que se ponga en equilibrio con el otro, y así se obtiene el peso del cuerpo. Por esta razón se llama este *método de dobles pesadas*.

La carga que sostiene el eje en la balanza es igual á la suma de los pesos puestos en los platillos, mas el peso de estos, el de las cadenas y el del ástil, segun se vió en la palanca.

75. Por medio de la balanza se comprueba la proposición de que la potencia puede aplicarse á cualquier punto de su dirección: pues si en una balanza ab (fig. 48) se cuelga de uno de los platillos una cuerda con varias lazadas y se equilibra la balanza; despues quedarán equilibrados dos pesos iguales, de los cuales uno esté en el platillo c y el otro en cualquiera de las asas de la cuerda df .

76. La romana es una palanca de primer género cuyos brazos son desiguales: cd (fig. 49) es la palanca, o el punto de suspensión: la resistencia R , ó el cuerpo cuyo peso se quiere averiguar, está aplicada al punto m , y el otro peso, llamado el pilon, con el cual se equilibra el que se busca, corre por el brazo cd el que está dividido en partes iguales: estas denotan el peso del cuerpo. Nada diremos acerca del modo como debe hacerse esta graduación, solo sí que la romana tiene dos ventajas sobre la ba-

lanza; la una es de no tener necesidad sino de una pesa para hallar el equilibrio, y la otra es de que la carga sobre el punto de suspension sea siempre menor que en la balanza: si quiero pesar por ejemplo 4 arrobas con la balanza, como tengo que poner otras 4 en la otra estremidad del brazo de la palanca, la carga será de 8 arrobas; si estas mismas 4 arrobas las quiero pesár en una romana, cuyo pilon tenga un cuarto de arroba de peso, la carga será solo de $4\frac{1}{4}$ arrobas. Las romanas suelen tener dos puntos distintos de suspension el uno mas próximo que el otro al sitio donde se aplica la resistencia; y es claro que mientras menor sea el brazo de palanca en que obre esta, con menos fuerza podrémos equilibrar la romana, ó quedándose el mismo pilon podrá servir para pesar mayor número de arrobas que antes.

77. *La balanza de báscula*, cuyo modelo está representado en la (fig. 50), sirve para pesar cuerpos sumamente grandes, como carruages &c. Consta de una caja *ab* horizontal, en donde hay dos piezas de metal, una *rkto* de figura de una *y*, y otra *skm* encorvada, las cuales cerca de los puntos *c*, *p*, *h* y *b* tienen unas puntas de acero, que van á apoyarse en unos círculos pequeños de ágata que se hallan en el fondo de la caja. A alguna distancia de estos puntos hay en sentido opuesto, esto es, saliendo de las piezas de metal y dirigiéndose hácia arriba, otras cuatro puntas de acero. (Por la disposicion de la figura no puede verse bien mas que la *r*.) Sobre estas últimas puntas se apoya un tablero, en donde se coloca el cuerpo cuyo peso se quiere averiguar. La pieza *skm* se apoya en *k* sobre la *rkto*, y la estremidad *o* de la *ko* se une con una varilla vertical *od*, que vá á parar á la estremidad *d* de una balanza *df* de brazos desiguales, cuyo punto fijo es *g*, y su fiel *gh*. De *f* cuelga un platillo, á donde se ponen las pesas para establecer el equilibrio. Esta máquina debe considerarse como compuesta de palancas de tercer género y de primero; y se halla en ella tan favorecida la potencia que basta una pesa pequeña para equilibrar el peso de un cuerpo muy considerable.

LECCION VIII.



Sigue la maquinaria.

78. Segunda máquina simple. *Plano inclinado*. Llámase así todo plano que ni es horizontal ni vertical, por ejemplo una cuesta cualquiera: si suponemos que á este plano lo corte otro horizontal, y que se tire otro plano perpendicular á la comun seccion de aquellos dos primeros, la interseccion de este tercer plano con el plano inclinado toma el nombre de longitud del plano; tal es la *ab* (fig. 51); la *ac*, perpendicular bajada desde el punto *a* á la horizontal *cb*, se llama altura; y la *cb* base: En los cursos de mecánica se enseña cual es la ley de equilibrio en esta máquina, entre dos fuerzas que una puede considerarse como potencia y otra como resistencia, cualquiera que sea la direccion que aquellas tengan; mas limitando la generalidad, nos conerretaremos á hallar el equilibrio en el caso en que la resistencia sea el peso de un cuerpo que esté apoyado en la longitud del plano inclinado, y que es de consiguiente una fuerza vertical; y en que la potencia obre ó bien paralelamente á la longitud de dicho plano, ó paralelamente á la base.

79. *Primer caso: cuando la potencia obra paralelamente á la longitud*: Sea *m* la posicion del cuerpo; (fig. 51) y represente su peso la linea vertical *mg*: descompongo esta fuerza en otras

dos, una ms perpendicular á la longitud, y que como está obrando contra dicho plano, el cual se supone fijo, quedará destruida por la resistencia que le presenta dicho plano: la otra componente mt de la fuerza mg , y que es paralela á la longitud, será la única que nos quede: luego si ponemos una fuerza en la misma direccion y en sentido contrario de la mt , como es la mP , esta fuerza y el peso del cuerpo m estarán en equilibrio: Réstanos ahora averiguar la relacion que hay entre ellas, ó lo que es lo mismo entre el peso del cuerpo y la mt . Para eso digo que los triángulos abc y mtg son semejantes, por ser ambos rectángulos y tener ademas iguales los ángulos en a y en m por correspondientes, y de consiguiente tendremos $mt : mg :: ac : ab$; pero mt es igual á mp ó á la potencia; mg es la resistencia; luego la ley de equilibrio del plano inclinado en este caso es *la potencia es á la resistencia como la altura del plano inclinado es á su longitud*; ó en otras palabras

$$P = R \frac{a}{l}; \text{ llamando á la altura } a \text{ y } l \text{ á la longitud.}$$

80. Para comprobar esta ley tenemos en el gabinete el siguiente aparato: ab (fig. 52) es una barra prismática de acero que representa el plano inclinado; á esta barra se le dán diversas inclinaciones por medio del semicírculo de hierro cb que está en forma de rosca y ademas hay una tuerca d que sirve para levantar ó bajar el plano: el cuerpo R que puede deslizarse por dicho plano es la resistencia, y la potencia pende del hilo fgh , que unido en f al cuerpo R , es primero paralelo á la longitud del plano en la estension gf , y que pasando en seguida por la polea fija g , suspende las pesas. Por separado hay un semicírculo de madera mnr , cuyo diámetro está dividido en 16 partes iguales. En dicho semicírculo se vén varias cuerdas, una de 6 partes, otra de 8, otra de 10 &c. tiradas desde la estremidad m del diámetro: de allí sale tambien un hilo á plomo mp . Terminada la descripcion del aparato diremos algo de su uso: si se quiere saber en qué relacion estará la potencia y la resistencia en una inclinacion dada del plano inclinado, no hay mas que aplicar la mn á dicho plano y dejar caer el hilo á plomo, para ver con cual de las cuerdas coincide. Hecho esto, la potencia estará con la resistencia como la longitud de esta cuerda á la del diámetro; pues es fácil ver que en este caso, el diámetro es un plano inclinado y la cuerda la altura de dicho plano, por la propiedad de que ha de ser perpendicular á la otra cuerda que forma con ella los lados del ángulo inscripto en

el círculo, y que insiste en las estremidades del diámetro. En el caso de la figura la potencia es á la resistencia como 6 á 16: es decir con 6 onzas se equilibran 16.

81. *Segundo caso: cuando la potencia es paralela á la base:* sea ab (fig. 53) la longitud del plano inclinado, ac la altura y bc la base: sea tambien mg la línea que represente el peso del cuerpo m que está apoyado sobre el plano; esta fuerza vertical la descompongo en otras dos, una ms perpendicular á la longitud y que queda destruida por la resistencia del plano, y otra md paralela á la base: luego si aplicamos una fuerza mf igual á md en la misma direccion y en sentido contrario que mf , el cuerpo m se quedará en equilibrio. Veamos la relacion que hay entre mf ó su igual md y la mg : los triángulos mdg y abc son semejantes por tener sus lados respectivamente perpendiculares: luego tendremos

mos $md : mg :: ac : bc$; ó $P : R :: a : b$; $P = R \frac{a}{b}$: ó en otras pala-

bras *la potencia es á la resistencia como la altura del plano inclinado es á su base.*

82. Hemos visto que el valor de la potencia en el primer caso es $P = R \frac{a}{l}$ y en el segundo $P = R \frac{a}{b}$ y como un quebrado es

tanto menor cuanto menor es el numerador, se infiere que disminuyendo a ó la altura del plano inclinado va siendo P cada vez menor, permaneciendo constante la R ; luego con menos potencia se puede hacer equilibrio á la misma resistencia, ó en otros términos que el plano inclinado es tanto mas ventajoso á la potencia cuanto menor es la altura.

83. Los dos valores de P ; $P = R \frac{a}{l}$, $P = R \frac{a}{b}$ en los cuales

l siempre es mayor que b , por ser l hipotenusa y b cateto de un triángulo rectángulo manifiestan tambien (como un quebrado es tanto mayor cuanto menor es el denominador) que el primer valor de P ha de ser siempre menor que el segundo, ó lo que es lo mismo que la potencia obra siempre con mas ventaja cuando su direccion es paralela á la longitud, que cuando es paralela á la base.

84. Cuando queremos permanecer en equilibrio en un plano inclinado en el acto de subir por él, dirigimos el cuerpo

hacia delante; y este movimiento es tanto mas perceptible, cuanto mayor es la inclinacion del plano con respecto al horizonte: la causa de esto es clara; pues si nuestro cuerpo fuese perpendicular á la longitud del plano, la vertical bajada del centro de gravedad caería fuera del plano de sustentacion, y nos caeríamos de espaldas: asi como para no caer hacia delante, á causa del mismo fenómeno, inclinamos el cuerpo atras en el acto de bajar una cuesta cualquiera.

85. Tercera máquina simple. *Las cuerdas*: estas máquinas que por ser cosas muy conocidas no describirémos, se consideran en mecánica como si careciesen de peso y fuesen completamente flexibles; pero como en la naturaleza no existen semejantes cuerdas, es necesario atender despues á estas dos condiciones y modificar los resultados obtenidos bajo tales supuestos. Cuando una cuerda está tensa por un peso ó una potencia cualquiera, es necesario para el equilibrio que todos los puntos de ella experimenten la misma tension; y fundándonos en esta sola propiedad podemos hallar las leyes de equilibrio de la polea.

86. *Polea*. Llámase asi una máquina que consta de un cilindro aplanado A (fig. 54), con una escavacion en su superficie lateral BC, atravesado por un eje el cual descansa en dos aberturas, que presenta la chapa *ed*. Por la muesca BC pasa una cuerda en cuyas estremidades se aplican la potencia y resistencia. La direccion de estas fuerzas puede ser cualquiera; pero nosotros supondremos que son siempre paralelas entre sí y verticales ó producidas por pesos. Hay dos especies de poleas una *fija* y otra *movible*; en la primera el eje no tiene movimiento de traslacion y en la segunda sí: la (fig. 54) es un ejemplo de polea de la primera especie; la (fig. 55) de la segunda.

87. Si suponemos dos pesos iguales P y R en la (fig. 54) pendientes de las dos estremidades de la cuerda que pasa por la polea fija, el sistema permanecerá en equilibrio; pues es claro que la fuerza P dará á todos los puntos de la cuerda una tension que para la parte BR irá en el sentido de la flecha y la fuerza R dando á la misma cuerda otra tension igual y en sentido contrario, habrá equilibrio en el sistema. De consiguiente la ley de equilibrio en la polea fija es que *la potencia es igual á la resistencia*. No se crea sin embargo que no es útil esta máquina por no favorecer á la potencia, pues sirve para variar la direccion de ella; y cuando se aplica á los efectos producidos por la accion muscular, esta variacion es de la mayor importancia. Si para sa-

car agua de un pozo no empleamos polea alguna, subiéndola á pulso como vulgarmente se dice, no entrarian en accion mas que los músculos elevadores de los brazos; en lugar de que si empleamos una polea fija ó un carrillo, serán los abatidores los que deberán entrar en accion y el peso de todo el cuerpo puede servirles de auxiliar.

88. La ley de equilibrio de la polea movable y de los aparatos formados de muchas de ellas, de que hablaremos despues, puede hallarse con facilidad por medio del siguiente principio: si suponemos que haya una resistencia R aplicada á la polea de la (fig. 55) y que dos personas estén en las estremidades de la cuerda CSP como la resistencia R se reparte entre las dos, cada una sostendrá la mitad de R . Si suponemos dos cuerdas que pasen por la polea y que en las cuatro estremidades de ellas obren cuatro personas, cada una sostendrá la cuarta parte de R , y asi sucesivamente. Si en vez de una de estas personas colocamos un punto fijo, lo mismo sucederá y de consiguiente en el aparato á que aludimos, siendo C un punto fijo, la potencia P será igual á $\frac{1}{2} R$, ó *la potencia igual á la mitad de la resistencia*: tal es la ley de equilibrio de la polea movable. En la polea fija el peso de esta queda destruido por la resistencia del punto fijo, y no debe tenerse en consideracion: no asi en la movable, pues su peso debe agregarse á la resistencia que se trata de vencer.

89. En el cuerpo humano hay varias partes que tienen el uso de poleas: asi el anillo cartilaginoso del músculo grande oblicuo del ojo, viene á ser una polea fija que cambia la direccion de este músculo; la cabeza del humero sobre la cual pasa la larga porcion del biceps braquial sirve para igual uso &c.

90. Llámase moton ó polipasto un aparato que consta de varias poleas: los hay de dos clases: la primera tiene dos, tres ó mas poleas movibles unidas solamente entre sí por medio de cuerdas como E, F, G , (fig. 56): la segunda comprende varios géneros: en uno de ellos (fig. 57) se ven dos armaduras A y B que cada una contiene cierto número de poleas; el representado por la figura tiene tres. La armadura B está enganchada en un punto fijo C . La A por el contrario es movable y pasan cuerdas de una á otra por medio de las poleas, como está indicado en dicha figura. En vez de estar, como acabamos de decir, en línea vertical los centros de las poleas, pueden en cada chapa formar una línea horizontal, como en la (fig. 58), ó ser concéntricas en cada chapa las circunferencias de las poleas, como en la (fig. 59) ó como en las figuras

60 y 61) haber varias poleas iguales y atravesadas por el mismo eje en ambas chapas.

91. La ley de equilibrio en todas estas máquinas es muy fácil de hallar: en las de primera clase (fig. 56) en que la polea E suspende la resistencia R, si no hubiese mas que dicha polea sería necesario para establecer el equilibrio aplicar en *m* una fuerza igual á $\frac{1}{2} R$: esta fuerza $\frac{1}{2} R$ puede considerarse como resistencia en la polea movable F, y de consiguiente para el equilibrio habrá que aplicar otra fuerza igual á la mitad de $\frac{1}{2} R$, ó igual $\frac{1}{4} R$, en el punto *n*: haciendo el mismo racionio con respecto á la polea G, y considerando que H es una polea fija, que no aumenta ni disminuye la potencia, inferirémos que en este aparato cuando hay tres poleas movibles, $P = \frac{1}{8} R$; si hubiese 4 poleas movibles $P = \frac{1}{16} R$; y en general si hubiese *n* poleas movibles $P = \frac{1}{2^n} R$.

92. Aplicando pues el principio que dejamos sentado al tratar de la polea movable, á los polipastos de la segunda clase, hallarémos que la potencia es igual á la resistencia multiplicada por un quebrado, cuyo numerador es la unidad y su denominador el número de cuerdas que sostienen á la armadura movable: asi en las figuras (57 y 58), $P = \frac{1}{6} R$; en la (fig. 59), $P = \frac{1}{4} R$; y en las (60 y 61), $P = \frac{1}{20} R$.

93. En la práctica no es indiferente el hacer uso de unos ú otros aparatos, aun cuando la ley de equilibrio sea la misma para todos. Hay unos que se destrozarian con mucha facilidad por la gran velocidad que tendrian algunas de las poleas relativamente á las demas; pero dejaremos ya de tratar acerca de este asunto para no separarnos demasiado del objeto de este curso.

LECCION IX.

Sigue la maquinaria.

94. *Torno.* Llámase así una máquina que puede referirse á la palanca, compuesta de un eje horizontal ab (fig. 62) que descansa en dos columnas am , bn ; á una de las extremidades de dicho eje está unida una rueda, en cuya circunferencia se aplica la potencia: al rededor del eje se arrolla una cuerda, que está fija en él por una de sus extremidades, y de la otra pende la resistencia ó el peso que se quiere levantar: Dando vueltas la rueda se arrolla mas la cuerda en el eje y sube el peso. Para averiguar la ley de equilibrio en esta máquina, considerémosla en la posición de la (fig. 63), en la cual aed es la rueda y c su centro; bmn es la base del cilindro que está unida á la rueda: la potencia está aplicada en a y la resistencia en b ; de suerte que cada una de las dos fuerzas obra en una de las extremidades de la línea ab , siendo ambas perpendiculares á dicha línea cuando se trata de pesos, de donde se infiere que puede considerarse como una palanca de primer género cuyo punto fijo está en C y de consiguiente la ley de equilibrio será $P : R :: cb : ca$; ó lo que es lo mismo *potencia es á resistencia como el radio del cilindro es al radio de la rueda.* De aqui resulta que para favorecer á la potencia hay dos medios; ó disminuir el radio del cilindro ó aumentar el radio de la rueda.

Con el modelo de torno de la (fig. 64) se puede en primer lugar comprobar la ley de equilibrio, y manifestar la última propiedad, relativa á ser favorecida la potencia por disminucion del radio del cilindro ó aumento del de la rueda. Este modelo tiene dos ejes de distinto radio ab y bd : el radio del 2.º es doble del 1.º; la rueda fg tiene distintas muescas circulares de diverso radio, cada una de las cuales debe considerarse como rueda cuando la cuerda rs pase por dicha escavacion. Tal como está la figura, la potencia está aplicada á la escavacion circular cuyo radio es 16, y la resistencia al eje ab cuyo radio es uno; así es que con una onza por ejemplo se equilibran 16.

95. Aun cuando en teoría es indiferente aumentar el radio de la rueda ó disminuir el del cilindro, no sucede así en la práctica; pues es claro que cuando se quiere elevar cuerpos de gran peso, si se disminuyese mucho el radio del eje, se rompería. El modelo de torno de la (fig. 64) puede servir también para manifestar la ley de equilibrio en el torno llamado de Eckhardt.

96. La rueda de canteras, la grua, el cabrestante y la cabria cuyos modelos están representados en las (fig. 65, 66, 67 y 68), son tornos cuyo cilindro es en unos vertical y en otros en lugar de rueda existen palancas que hacen sus veces.

97. *Tornillo.* Esta es una máquina que se refiere al plano inclinado. Si suponemos que el cilindro A (fig. 69) se cubra con un papel por su superficie lateral y despues se estienda dicho papel CD en un plano, habrémos desarrollado dicha superficie cilíndrica; si el lado CF de dicho papel, que es igual á la altura del cilindro, se divide en partes iguales, y por los puntos de division a, b, c, d, g , se tiran rectas paralelas á la FD, se habrán formado otros tantos rectángulos. Y si tirando las diagonales aR, bh, cl , &c de estos rectángulos, les sobreponemos unos prismas triangulares apoyados en sus bases respectivas, y tratamos de vestir otra vez el cilindro con el mismo papel, las diagonales salientes formarán una línea curva que se llama helice ó espiral; y con ella una parte de la máquina llamada tornillo. Las distancias ab, bc , &c, que son todas iguales entre sí, se llaman paso del tornillo. Si suponemos ahora que esta pieza entre en otra blanda, por ejemplo, de barro, y que al cabo de cierto tiempo se saque de allí destorcido, se quedará formado en el barro una pieza en hueco, análoga enteramente al tornillo; á una cosa semejante, hecha en general de la misma materia que el tornillo, se le llama *tuerca*. Un modelo de esta máquina está representado en la (fig. 70): ab es la

tuerca y *cd* el paso del tornillo. En esta máquina ó se aplica la potencia á la tuerca para hacerla andar por el tornillo, ó viceversa. Supongamos el primer caso, pues ambos son lo mismo para hallar la ley de equilibrio: la tuerca al deslizarse por el tornillo anda por la longitud de un plano inclinado, que únicamente se diferencia del que ya hemos considerado (n.º 78) en que no está en línea recta: la potencia que obra sobre la tuerca tiene una dirección paralela á la base. De consiguiente la ley de equilibrio será (n.º 81) potencia es á resistencia, como la altura del plano inclinado es á la base; pero aquí á la altura del plano inclinado *ab* (fig. 69) se ha llamado paso del tornillo, y la base de dicho plano es la circunferencia que describe la potencia, suponiéndola aplicada inmediatamente al sitio en que la tuerca toca al tornillo; luego la ley de equilibrio en esta máquina será *potencia es á resistencia, como el paso del tornillo es á la circunferencia que describe la potencia*. Si dicha potencia obrase en un punto distinto del que hemos supuesto, como sucede generalmente, pues casi siempre se aplican palancas á dicha tuerca, la ley de equilibrio no variará; pero la demostración de esta verdad corresponde al tiempo en que se trate de las máquinas compuestas.

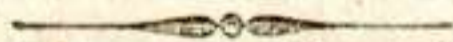
98. *Cuña* es una máquina que tiene relación con el plano inclinado; pero cuya ley de equilibrio es de poca importancia, porque las abstracciones que es necesario hacer para hallarla, la separan mucho de lo que la observación nos enseña. Llámase *cuña* un cuerpo cuya figura es un prisma triangular, que por uno de los bordes ó aristas entra en los cuerpos y separa sus moléculas; un hacha un cuchillo son *cuñas*, y el filo es la arista que entra en los cuerpos que queremos hendir. Si hacemos un corte en la *cuña* con un plano perpendicular á la arista que consideramos, resultará un triángulo: si fuere isosceles como en la (fig. 71) la *cuña* se llama *doble*: si rectángulo como en la (fig. 72), *simple*: la *ab* se denomina *altura* de la *cuña* y la *ac* *base*. Se supone que la fuerza obra sobre la base de la *cuña* en dirección perpendicular á ella, ó lo que es lo mismo, paralela á la altura: mas como la *bc* se va entonces introduciendo en el cuerpo, podremos suponer que la resistencia está sobre un plano inclinado y que la potencia tiene una dirección paralela á lo que se ha llamado *base* de dicho plano; luego tendremos $P : R :: \text{altura del plano} : \text{base del plano}$; ó lo que es lo mismo *potencia es á resistencia como la base de la cuña es á su altura*.

99. De esta ley se infiere que mientras menor es la base,

mas favorecida está la potencia ; y el afilar los instrumentos cortantes viene á reducirse á disminuir la base de ellos.

100. Hay un aparato con el cual se demuestran las propiedades de la cuña que consiste (fig. 73) en una mesa horizontal a de la que se levantan cuatro columnas verticales b, c, d, e , que en la parte superior sostienen dos barras horizontales fg, hl , sobre las cuales se apoyan otras dos mn, rs que distan algo entre sí y terminan cada una por la parte superior en un borde algo agudo. Sobre dicho borde están apoyados dos cilindros de cobre t, p á los que se unen hilos que pasando respectivamente por unas poleas z, z' y las correspondientes del otro lado, que por la disposición de la figura no pueden verse bien, terminan uniéndose á los pesos x, x', x'', x''' . El hilo que está unido al cilindro p , por ejemplo, vá por delante del cilindro t , pasa despues por la polea z y termina en el peso x y así de los demas. Dos láminas metálicas A, B , unidas en C con una charnela y formando un ángulo diedro, que aumenta ó disminuye por medio del arco $D E$, constituye la cuña; el peso P colgado de C es la potencia y la resistencia son los pesos x, x', x'', x''' que procuran unir entre si los cilindros. Con este aparato es muy fácil observar que á proporción que disminuye el ángulo diedro, se necesita un peso menor para separar los cilindros p, t .

101. Para que sea mayor el efecto de esta máquina, en vez de apretar la base se dan golpes con la cuña, puesta en la estremidad de una palanca, como en el hacha, y cuando la cuña no tiene movimiento, se martillea fuertemente su base. El martinete cuyo modelo está representado en la (fig. 74) produce esta fuerza, y sirve para clavar estacas &c.



LECCION X.



Sigue la maquinaria.

102. *Principio general para hallar la ley de equilibrio en las máquinas compuestas.* Muchas son las máquinas que se emplean en las artes; pero todas pueden reducirse á combinaciones de las ya esplicadas y es fácil hallar en cualquier caso la ley de equilibrio, descomponiendo la máquina compuesta en sus elementos. Para poder esplicarnos con mas facilidad, supongamos que se trata de hallar la ley de equilibrio en una máquina formada de tres palancas, denominada palanca compuesta, tal como está representada en la fig. 75: consta de la palanca ab cuyo punto fijo está en c y sus brazos de palanca uno $ac=1$, otro $cb=5$; la segunda palanca df tiene el punto fijo en e y de sus dos brazos de palanca el uno $de=1$ y el otro $ef=4$; la tercera palanca gh tiene el punto fijo en h , un brazo de palanca $gh=1$, otro $hk=6$. En la estremidad k está aplicada la potencia, y en la otra estremidad a la resistencia. Ahora bien en la primera palanca gh , $P:R::1:6$; en la segunda $P:R::1:4$; en la tercera $P:R::1:5$; la ley general de que hablamos que sirve para las máquinas compuestas es que *la potencia es á la resistencia en razón compuesta de todas las razones parciales halladas*, esto es que *la potencia es á la resistencia como el producto de los antecedentes es al producto de los consecuentes*; y

en el caso actual como 1 es á 120; luego con una onza colocada en k se equilibrarán 120 onzas puestas en a . Debe tenerse presente al formar una máquina compuesta que todas sus partes favorezcan ó á la potencia, ó á la resistencia: si la máquina compuesta de tres palancas de que acabamos de hacer mencion, tuviese la df por ejemplo en otra posición, que el punto f correspondiese á b y el d á g ; claro es que esa no favorecería á la potencia como lo hacen las otras dos y sería perjudicial

103. *Ruedas dentadas.* Llámense así unas máquinas compuestas del modo siguiente. Una rueda A (fig 76) movable al rededor de su eje, cuya circunferencia presenta una porcion de dientes iguales entre sí, está unida á otra rueda B mas pequeña (movible sobre el mismo eje que la primera) llamada *piñon*: su circunferencia está tambien dentada; pero á estos dientes se les dá el nombre de *alas*. Estas engranan con los dientes de otra rueda C, que tiene tambien su piñon D guarnecido de alas, y así sucesivamente. Debe notarse que la primera rueda, en que se aplica la potencia, suele no tener dientes y que el último piñon, donde se pone la resistencia, carece de alas. Para hallar la ley de equilibrio en las ruedas dentadas, nos valdrémos del principio que acabamos de indicar relativo á las máquinas compuestas, y consideraremos una rueda dentada con su piñon, como un torno; el piñon es el cilindro del torno, y la rueda dentada, la rueda de esta máquina: de consiguiente $P:R::$ radio del cilindro: radio de rueda; pero los radios son como las circunferencias; y de consiguiente $P:R::$ circunferencia del cilindro es circunferencia de la rueda; ó como circunferencia del piñon es á la circunferencia de la rueda dentada; pero como el tamaño de las alas es igual al de los dientes, puesto que engranan con ellos, es claro que pueden servir como de unidad para medir las circunferencias; y de consiguiente la ley de equilibrio para una rueda dentada será, $P:R::$ el número de alas del piñon: al número de dientes de la rueda. Aplicando ahora el principio de las máquinas compuestas, para cada rueda dentada y su piñon, se tendrá una proporción semejante; y formando luego la razón compuesta resultará la siguiente ley de equilibrio: *la potencia es á la resistencia como el producto de las alas de los piñones es al producto de los dientes de las ruedas.* De otro uso que tienen las ruedas dentadas trataremos en la dinámica.

104. *La rosca sin fin* consta de un tornillo AB (fig. 77) y de una rueda dentada cuyos dientes engranan en el intervalo que dejan los filetes del tornillo: este (que en la figura está descansan-

do en dos sostenes C,D) se mueve por medio de un manubrio á donde se aplica la potencia. La rueda dentada tiene un piñon sin alas de donde pende la resistencia. Para hallar la ley de equilibrio en esta máquina observaremos que, en virtud del tornillo $P:R::$ paso del tornillo: circunferencia que describe la potencia, y en virtud de la rueda dentada $P:R::$ radio del piñon: es radio de la rueda. Luego en la rosca sin fin la ley de equilibrio es $P:R::$ el producto del paso del tornillo por el radio del piñon: al producto del radio de la rueda por la circunferencia que describe la potencia.

105. *Cric ó gato* es una máquina compuesta de una varilla dentada *ab* (fig. 78), que tiene en la parte superior una especie de horquilla donde se pone la resistencia: una rueda dentada *c* movable al rededor de un eje, cuyos dientes engranan con los de esta varilla, es movida por un manubrio *cd*, en cuya estremidad se aplica la potencia: En el punto *g* del amazon del cric hay una pieza *f* llamada *trinquete*, que engrana en los dientes de otra rueda unida á la *c* que es movable hácia arriba, no oponiéndose al movimiento de la vara en dicha direccion; pero impidiéndolo en sentido contrario: El objeto de esta pieza es no perder lo adelantado ya en la elevacion de la resistencia, cuando se suspende la accion de la potencia: la ley de equilibrio en esta máquina es la *Potencia es á la Resistencia como el radio de la rueda es á la longitud del manubrio*, suponiéndolo recto.

106. Para hacer ver lo que puede ganar la potencia por la combinacion de muchas de las máquinas esplicadas combinadas entre si, existe en el gabinete una máquina compuesta (fig. 79) formada de una palanca *ab*, de ruedas dentadas y rosca sin fin *c*; por medio de la cual un peso *R* de 20 libras se equilibra con otro de 30 granos; á la estremidad de la palanca de esta máquina se puede atar un cabello *bd*; y tirando de él se levanta el peso de 20 libras sin que el cabello se rompa; prueba de que el esfuerzo es menor que el máximo del peso que puede sostener el cabello sin romperse.

107. A todas las máquinas es aplicable el principio de que lo que se gana en fuerza se pierde en tiempo, y lo podemos comprobar en todas ellas. En la polea movable, por ejemplo, es cierto que se gana doble fuerza, pero tambien para que suba el peso es preciso que se enrolle en la polea una cantidad de cuerda doble en longitud que la altura á que sube la resistencia: en el torno mientras la potencia tiene que recorrer la circunferencia de la rue-

da, la resistencia sube un espacio espresado por la circunferencia del cilindro; ó los movimientos respectivos estan en razon inversa de la intensidad de la potencia y resistencia. Hay que advertir ademas que las leyes de equilibrio establecidas experimentan modificaciones ocasionadas por el peso de las partes movibles de la máquina, por la rigidez de las cuerdas ó cadenas que entran en su composicion, y finalmente por el efecto de otra fuerza que consideraremos ahora, denominada rozamiento.

108. *Del rozamiento.* Llámase asi la fuerza con que dos cuerpos de los cuales uno está apoyado en otro, se adhieren entre sí. Al parecer depende de aquella especie de introduccion, que experimentan las eminencias que existen entre los poros del uno de los cuerpos en las cavidades correspondientes del otro. El rozamiento es de dos especies; en la primera se desliza un cuerpo sobre otro, presentando uno de ellos siempre las mismas partes, por ejemplo, un libro que se arrastra por una mesa; en la segunda distintas partes de un cuerpo tocan sucesivamente á distintas de otro, como una rueda que gira al rededor de un eje y corre por el suelo. Existen en el gabinete para comprobar las leyes del rozamiento de los cuerpos varios aparatos llamados *tribómetros*. El de Muschembroech (fig. 80) consta de dos barrotes de madera *ab* y *cd* paralelos entre sí, con dos semilunas *e*, *f*, guarnecidas de metal en donde descansan las dos estremidades del eje de un cilindro *gh* que tiene pasada una cuerda á su alrededor, terminando esta en dos pesas, *l*, *k*: una faja *mn* se enrosca en el cilindro, y teniendo fija en él uno de sus cabos, presenta en el otro un platillo *p*, donde se colocan pesas. Haciendo uso de este aparato se notará que es necesario poner en el platillo mayor ó menor número de ellas, para vencer el rozamiento, segun la materia de que esté formado el eje, la longitud de su diámetro, que el cuerpo esté ó no untado con grasa &c.

109. Para medir el rozamiento de los cuerpos contra un plano se siguen en el dia dos métodos distintos. En el uno (fig. 81) se coloca el cuerpo *a* sobre un plano horizontal, atando á dicho cuerpo una cuerda *cd* que pase por una polea *f* unida al plano, y se ponen pesas en la otra estremidad *p* de la cuerda hasta que se mueva el cuerpo; el otro método consiste en servirse de dos planos, uno horizontal *a m c d* fijo (fig. 82) y otro *a b c d* movable al rededor de un eje *ac*: los arcos de círculo graduados *qs*, *rt*, miden la inclinacion de este plano sobre el primero. Estando el segundo plano en posicion horizontal, se coloca en-

cima el cuerpo y se levanta suavemente el plano hasta que empiece aquel á deslizarse, anotando el ángulo en que se verifica el desliz. Para la aplicación de las leyes del rozamiento á las ruedas de los carruages hay en el gabinete un carro de cuatro ruedas (fig. 83), con el cual pueden hacerse diferentes experimentos. 1.º Con ruedas de llanta ancha y de llanta estrecha; y se vé que el rozamiento es igual en ambos casos: 2.º Con ruedas de gran diámetro ó de pequeño; el rozamiento es mayor en estas últimas: el carro tiene las dos ruedas delanteras chicas y las traseras grandes; pero pueden cambiarse las delanteras y sustituirse por ruedas del mismo diámetro que las de atrás, observándose que en este caso hay mucho menos rozamiento. 3.º Las ruedas pueden girar sobre sus ejes respectivos ó estar fija la rueda al eje y moverse este en aberturas á propósito: en el carro del gabinete el rozamiento es el mismo en ambos casos. 4.º Se presta el aparato á que se sujeten una ó dos ruedas, convirtiéndose de este modo el rozamiento de segunda especie en de primera, y se comprueba que este es muchísimo mayor. 5.º Cargando el carro, se verá aumentar el rozamiento proporcionalmente á la carga. 6.º Relativamente al plano en que anda el carro, observamos lo siguiente: puede estar muy pulido, como el del gabinete que es de caoba lisa, ó se puede echar mayor ó menor cantidad de arena, ó humedecer esta &c. Es claro que el rozamiento resultará mayor echando arena en el plano, y se observa que disminuye mojándola.

110. Las leyes del rozamiento que Coulomb dedujo principalmente de experiencias hechas con un aparato análogo al de la (fig. 81) son las siguientes. 1.ª La resistencia para el movimiento no llega á su máximo en el instante del contacto, sino al cabo de cierto tiempo y luego permanece constante. La resistencia llega en pocos minutos á lo sumo siempre que cualquier clase de madera sin untura alguna se deslice por otra madera; pero si es metal el que se desliza por otro metal, llegará á su máximo la resistencia en un instante. Cuando son sustancias heterogéneas sin unto alguno las que se deslizan entre sí, crece muy lentamente la resistencia, y no parece que llega á su límite sino al cabo de 4 ó 5 dias. 2.ª Cuando los cuerpos están en movimiento, el rozamiento es sensiblemente independiente de la velocidad; sin embargo para las superficies heterogéneas el rozamiento crece sensiblemente en progresion aritmética, cuando la velocidad crece en progresion geométrica. 3.ª La resistencia que se experimenta al poner un cuerpo en movimiento despues de bastante tiempo de reposo, es

mucho mayor que el rozamiento que se advierte estando ya el cuerpo en movimiento; escepto si son metales que rozan con metales. 4.^a El rozamiento es menor cuanto mas pulidas las superficies. 5.^a Es siempre proporcional á la presion y á la estension de las superficies que estan en contacto. 6.^a Es mayor entre cuerpos de la misma naturaleza que entre cuerpos de naturaleza distinta. 7.^a Siempre que se untan los cuerpos con ciertas substancias, por ejemplo con aceite, jabon, grasas &c. se disminuye el rozamiento; y este es el uso de la sinovia en las articulaciones de los huesos.



LECCION XI.



Nociones de Dinámica.

111. Ya hemos dicho (n.º 37) que la dinámica es aquella parte de la mecánica que trata del movimiento de los cuerpos sólidos; y en el número 36 definimos el movimiento en general. Ahora diremos que para formar idea de la mayor ó menor rapidez con que anda un cuerpo, no basta conocer el espacio, sino tambien el tiempo en que lo ha andado. Aunque un cuerpo haya recorrido dos leguas, por ejemplo, si ha tardado cuatro horas, su movimiento habrá sido menos rápido que el de otro cuerpo que haya andado 500 varas en 4 minutos. Sirve pues de unidad para medir el movimiento lo que se llama *velocidad*, ó el espacio que anda un cuerpo en un tiempo determinado. En el ejemplo propuesto de las 500 varas andadas en 4 minutos, la velocidad (tomando el minuto por unidad de tiempo) es 125 varas. El movimiento se divide en *uniforme* y *variado*. El 1.º es el que tiene un cuerpo cuando recorre espacios iguales en tiempos iguales, ó en otras palabras, cuya velocidad es siempre la misma. Si no es uniforme el movimiento se llama en general *variado*, y se subdivide en *acelerado* y *retardado*, segun que los espacios que corre el cuerpo en tiempos iguales sucesivos vayan aumentándose ó disminuyéndose.

112. Fácil es averiguar el espacio que recorrerá un cuerpo en un tiempo dado moviéndose con movimiento uniforme, siempre que conozcamos la velocidad de que está animado: por ejemplo, sea esta velocidad 30 varas por minuto, y haya andado el cuerpo 8 minutos; claro es que el espacio corrido será de 240 varas; número que se obtiene multiplicando la velocidad por el tiempo, ó mejor dicho, por las unidades que le representan. Si en general señalamos la velocidad con la letra v y el espacio andado y el tiempo, respectivamente con las letras e y t resultará $e=vt$; esta fórmula es lo que se llama la ley del movimiento uniforme. Las nociones mas elementales de álgebra hacen ver que

$v = \frac{e}{t}$ esto es, que si conocemos el espacio que un cuerpo ha

andado con movimiento uniforme y el tiempo que ha tardado en recorrerlo, é ignoramos cual ha sido la velocidad, la podemos hallar fácilmente partiendo el espacio por el tiempo. Tambien se

deduce con la misma facilidad de aquella fórmula que $t = \frac{e}{v}$ ó en

otros términos, que dado el espacio andado por un cuerpo con movimiento uniforme y la velocidad con que se hallaba animado, para conocer el tiempo que ha estado moviéndose, no hay mas que partir el espacio por la velocidad: asi en el caso propuesto de haber andado el cuerpo 240 varas y ser de 30 varas por minuto la velocidad, el tiempo que ha durado el movimiento se halla partiendo 240 por 30 cuyo cociente es 8, número de minutos.

113. Si dos cuerpos andan con movimiento uniforme pero con velocidades distintas, y por tiempos diversos recorrerán en general espacios distintos. Llamo v la velocidad del primero, t el tiempo y e el espacio; v' , t' , y e' cantidades análogas para el 2.º cuerpo: tendremos en virtud de lo espuesto $e=vt$; $e'=v't'$: y comparando entre sí estas dos ecuaciones $e:e'::vt:v't'$; ó lo que es lo mismo, los espacios estan entre sí como los productos de las velocidades por sus tiempos respectivos. Si los espacios recorridos por los dos moviles son iguales ó $e=e'$; $vt=v't'$, ó $v:v'::t':t$; esto es las velocidades estan en razon inversa de los tiempos. Pero si las velocidades son iguales siendo distintos los espacios y los tiempos, tendremos $e:e'::t:t'$ ó los espacios corridos proporcionales á los tiempos; finalmente si los tiempos son iguales ó $t=t'$ resultará $e:e'::v:v'$ es decir, los espacios estarán en la misma razon que las velocidades.

114. En todo lo dicho hasta aqui respecto al movimiento de un cuerpo hemos hecho abstraccion de su masa (n.º 52) por haber supuesto, ó que las masas de los cuerpos cuyo movimiento comparábamos eran iguales, ó que eran puntos materiales sin masa: sino sucediese asi la fuerza dada al cuerpo y que le imprime el movimiento, se repartiria con igualdad por todos sus puntos; causa porque el mismo impulso no ocasiona el mismo movimiento ó produce la misma velocidad en dos cuerpos que tienen distinta masa, antes bien aquel que la tiene mayor se moverá con menos velocidad que el otro. De consiguiente, cuando se trata de un cuerpo hay que atender para el movimiento á su masa; denominándose *cantidad de movimiento* el producto de la masa por la velocidad. Denotando por m la masa y por v la velocidad, dicha cantidad de movimiento será mv .

115. Hemos dicho que habia dos especies de movimiento; uniforme y variado. El primero no se observa en la naturaleza, pues aunque dando un impulso á un cuerpo segun la ley de inercia debia seguir andando con dicho movimiento, la atraccion de la tierra, el rozamiento y otras causas lo modifican. De estos agentes unos contribuyen á acelerar el movimiento como la atraccion de la tierra en los cuerpos que caen por su peso, y otros por el contrario lo retardan. El agente ó fuerza que produce lo primero se llama *fuerza aceleratriz*, la que produce lo segundo *fuerza retardatriz*. Si estas fuerzas son constantes; esto es, que no solo no varian de intensidad sino que esten obrando continuamente en el móvil, el aumento ó disminucion de los espacios que recorre dicho móvil tiene cierta uniformidad. Por esto se llama esta especie de movimiento, subdivision del variado, *movimiento uniformemente variado*, el que se subdivide tambien en *uniformemente acelerado* y *uniformemente retardado*, segun vayan aumentando ó disminuyéndose los espacios corridos. Siendo esto asi, y representando v la velocidad en este movimiento uniformemente variado; g la fuerza aceleratriz ó retardatriz constante; e el espacio corrido y t el tiempo empleado en recorrerlo, la mecánica racional demuestra que

$$v = gt \qquad e = \frac{1}{2}gt^2$$

Esto es, que la velocidad es igual á la fuerza aceleratriz multiplicada por el tiempo; y que el espacio corrido es igual á la mitad del producto que resulta de multiplicar la fuerza aceleratriz por el cuadrado del tiempo.

116. Los espacios corridos por un mismo móvil son en-

tre sí como los cuadrados de los tiempos, en el movimiento uniformemente variado. Para demostrar esta proposición supongamos que e, e' sean los espacios corridos por el móvil; t, t' los tiempos; la fuerza aceleratriz g será la misma, puesto que se trata del mismo cuerpo y con iguales condiciones para ambos movimientos; luego en virtud de la segunda fórmula tendremos

$$e = \frac{1}{2}gt^2 \qquad e' = \frac{1}{2}gt'^2$$

y comparando entre sí estas dos ecuaciones

$$e:e'::\frac{1}{2}gt^2:\frac{1}{2}gt'^2$$

ó lo que es lo mismo

$$e:e'::t^2:t'^2$$

De consiguiente, si suponemos que estuvo un cuerpo moviéndose tres minutos con un movimiento uniformemente acelerado, y que habiéndose parado por alguna causa, volvió otra vez á moverse con la misma especie de movimiento, pero con la sola diferencia de haber andado esta segunda vez seis minutos; el espacio corrido en el primer movimiento, estará con el recorrido en el segundo, como 9 que es el cuadrado de 3, es á 36 cuadrado de 6.

117. Los espacios corridos con movimiento uniformemente acelerado en cada unidad de tiempo son entre sí como los números impares 1, 3, 5, 7, &c. Para probarlo, supongamos que el móvil saliendo del punto A (fig. 84) recorra la línea AB, que está dividida en partes iguales, y que en el primer minuto ande una de estas divisiones; claro es que si suponemos que esté el móvil en A al principio del movimiento, al cabo de un minuto habrá llegado á C: si en vez de haber durado un minuto el movimiento, fuese dos su duración (como los espacios corridos, por lo que se vió en el número anterior, son como los cuadrados de los tiempos) el móvil andaría 4, ó llegaría desde A hasta D: si empezando siempre á moverse desde A, durará el movimiento 3, 4, 5, &c. minutos, el móvil habría llegado á las divisiones 9, 16, 25, &c. ó á los puntos E, F, G, &c. Ahora bien, puesto que AD es lo que ha andado el cuerpo en los dos minutos primero y segundo, y AC lo que ha corrido en el primer minuto, CD será lo que ha corrido en el segundo minuto; y del mismo

modo se demostraria que DE, EF, FG, &c. es lo andado por el móvil en el tercero, cuarto, quinto, &c. minutos. Pero $CD=AD-AC=4-1=3$; $DE=AE-AD=9-4=5$; $EF=AF-AE=16-9=7$, &c.

118. Si un cuerpo, que está en movimiento uniformemente acelerado, perdiese de repente la fuerza aceleratriz que lo anima, seguiria moviéndose con movimiento uniforme; y la velocidad de este último movimiento se denomina *velocidad final*. Con esta velocidad anda el cuerpo con movimiento uniforme, y en un tiempo igual al anterior, un espacio doble del que habia andado con movimiento uniformemente acelerado. Esto es, si un cuerpo sale de A, por ejemplo, (fig. 85) con movimiento uniformemente acelerado, que al cabo de tres minutos llegue á B, y suponemos que en B cesa la fuerza aceleratriz, el cuerpo seguirá moviéndose hácia C, con movimiento uniforme, en virtud de la velocidad adquirida, y al cabo de otros tres minutos llegará á D, siendo $BD=2 AB$: la velocidad con que es recorrida la BD es la velocidad final.

119. Para demostrar algebraicamente esta proposicion, observémos que la velocidad al cabo del tiempo t , en el movimiento uniformemente acelerado es $v=gt$; y el espacio andado en el mismo tiempo $e=\frac{1}{2}gt^2$. Si suponemos ahora que se anula la fuerza aceleratriz, el movimiento quedará convertido en uniforme, y con velocidad gt ; y segun su respectiva fórmula, el espacio $e=vt$, se convertirá en $e=gt.t$ ó $e=gt^2$; pero el espacio andado con movimiento uniformemente acelerado era $e=\frac{1}{2}gt^2$; luego el primero es doble del segundo.

120. *Aplicacion á la gravedad.* Ya hemos visto en el n.º 54 que la atraccion de la tierra, relativamente á los cuerpos que de ordinario observamos, se puede considerar como constante, por ser sensiblemente iguales las distancias de todos sus puntos al centro del globo: y que estas distancias no varian tampoco sensiblemente, aun cuando considerémos las distintas posiciones de un cuerpo que cae y se aproxima á la superficie de la tierra. De este principio se deducen las siguientes consecuencias. Primera, que siendo constante la fuerza aceleratriz que anima al móvil en el descenso de los cuerpos pesados, y estando continuamente obrando dicha fuerza, el movimiento debe ser uniformemente acelerado: y segunda que obrando dicha fuerza con igualdad sobre todas las moléculas de que se componen los cuerpos, todos ellos por diversa naturaleza que tengan, deben caer en el mismo tiempo de alturas iguales.

121. La experiencia parece que contradice lo que últimamente acabamos de indicar; pues si se dejan caer desde cierta altura cuerpos de diversa materia, como bolas de corcho, madera, plomo, &c. las de plomo llegarán á tierra antes que las de madera, y estas antes que las de corcho &c. Pero esto depende de la resistencia del aire; pues bajo el recipiente de la máquina neumática el oro y la pluma mas ligera tardan el mismo tiempo en caer. La experiencia se hace de este modo: se introducen cuerpos pequeños y de diversa materia como papel, plomo, &c. en un tubo cilíndrico *ab* (fig. 86), de dos varas de longitud, cerrado herméticamente por la parte superior *a*, y que tiene una llave *b* en la otra estremidad, con una rosca para adaptarse á la platina de la máquina neumática. Se invierte el tubo y se nota la diferencia que hay en la velocidad del descenso de los cuerpos. Se adapta despues á la máquina neumática y se estraé el aire de lo interior del tubo; luego se cierra la llave, y desenroscando el cilindro de dicha máquina, se invierte de nuevo: se observará entónces que todos los cuerpos caen con igualdad.

122. Los cuerpos líquidos caen en el vacío como los sólidos, y en este principio está fundado un aparato de física que se llama *martillo de agua* (fig. 87). Consta de un tubo de vidrio *cb* cerrado herméticamente por la parte inferior *b* y terminado superiormente en una bola *a*: se le introduce agua hasta *d* estando la bola abierta por su parte superior *c*, despues se pone el aparato al fuego para que hirviendo el liquido salga todo el aire de la bola y de lo restante del tubo, y hecho esto se cierra la bola en la lámpara de esmaltadores. Usase este instrumento, invirtiéndolo para que el liquido entre en la bola, y volviéndolo despues de repente á la posicion que tiene la figura. Entónces todo el líquido pasa de golpe al tubo y choca con gran fuerza en su fondo, produciendo un ruido como de un martillazo, de lo cual ha tomado el nombre el instrumento.

123. Habiendo ya dicho que el movimiento de los graves es uniformemente acelerado, parece que para comprobar las leyes de este movimiento esplicadas ya, no habria mas que dejar caer los cuerpos desde cierta altura. Pero dos causas se oponen á que puedan hacerse asi los experimentos. Una es la gran velocidad que adquieren estos cuerpos por la atraccion de la tierra (*), de lo

(*) En el primer segundo recorren un espacio de 4, ^m 9044.

cual resulta que para observar la caída de un cuerpo durante algunos segundos es indispensable arrojarlos de una altura tan grande, que no bastarian para hacer los experimentos las torres mas elevadas. La segunda causa es la resistencia del aire, que siendo proporcional al cuadrado de la velocidad con que anda el cuerpo, modifica singularmente el movimiento, sobre todo cuando se trata de cuerpos ligeros, como el corcho, plumas, &c.

124. Galileo que fué el que descubrió la ley del descenso de los graves, ideó para obviar estos inconvenientes, un aparato que se llama *plano inclinado de Galileo*. Consta simplemente de una cuerda de 10 varas de longitud *ab* (fig. 88), tirante entre dos puntos fijos *a* y *b*: un carro ó garrucha, rueda por dicha cuerda; pero siendo ahora mucho menor la velocidad que la que hubiese tenido la garrucha cayendo por la vertical, puede medirse lo que ha andado este cuerpo al cabo de uno, dos, tres segundos &c. &c. Se demuestra fácilmente en matemáticas, que con el plano inclinado se disminuye la intensidad de la fuerza aceleratriz, reduciéndola á la mitad, cuarta parte &c., segun que varíe la inclinacion del plano; pero por disminuir de tamaño la fuerza no se altera la naturaleza del movimiento y se comprueba que en doble tiempo el cuerpo recorre un espacio cuádruplo, que en triple el espacio es 9 veces mayor &c.

125. Hay otro aparato mas cómodo llamado *máquina de Atwood* por haberla inventado un fisico ingles que tenia este nombre. La del gabinete consta de una caja de madera *abcd* (fig. 89) semejante á los relojes que llaman de péndola, de siete pies ingleses de alto, dividida en dos cuerpos por una tabla *mn* que tiene dos aberturas *r, s*: en la parte inferior de esta caja hay tres tornillos, con los cuales se puede fácilmente colocar en posicion vertical. En uno de sus costados se halla una meseta *f* con una abertura en su parte media donde se coloca un péndulo que bate segundos, con su contador. Estas piezas están representadas en la (fig. 90); *ab* es el péndulo de segundos, cuyo punto fijo está en *a*: dicho péndulo esta unido por medio de la varilla *ac* con el ancla *de*, que engrana en la rueda dentada *gh*, en cuyo centro hay un cilindro *mn*, dividido en dos partes por medio del saliente *rs*: dos cordones están liados en sentido inverso; uno en la parte *msr* y el otro en la *rsn*; cada cordón tiene atada una de sus estremidades á su respectivo cilindro, y de la otra cuelgan las pesas *q, t*; sirviendo el uno de los cordones para dar cuerda al péndulo, y la pesa que cuelga del otro para hacer que el péndulo ande: el

eje nz de los cilindros sostiene la aguja zu . La máquina de Atwood presenta además dos reglas divididas en pulgadas y líneas: la regla hg (fig. 89) tiene una meseta l , que corre por ella y se sujeta donde se quiere con un tornillo: con el mismo mecanismo se puede sujetar un aro g , que hace falta para algunas experiencias. Por las dos aberturas r, s pasa una seda que (después de haber dado media vuelta á una polea x) termina por sus estremidades en dos pesas iguales z, z' . Hay también una colección de pesas que se agregan según acomoda á las z, z' , unas circulares k , otras cuadradas t , y otras q de un largo mayor que el diámetro del aro g : El eje de la polea x descansa por ambas partes sobre otras dos poleas, a, b del modo que está representado en la (fig. 91), á fin de disminuir el rozamiento.

Cuando los dos pesos z, z' son iguales, permanecen en equilibrio en cualquiera posición; pues aunque en realidad si hay mucha seda á un lado de la polea, el peso de la seda de aquel lado bastaría, matemáticamente hablando, para destruir el equilibrio, dicha fuerza no es capaz de vencer el rozamiento del eje; que siempre es grande aunque se haya disminuido mucho por el mecanismo indicado. Si le añadimos á z un peso pequeño, se destruirá el equilibrio y obligará á caer á dicho peso; pero la velocidad será mucho menor que si cayese libremente, porque el peso adicional, tiene que repartir su movimiento con las otras dos masas z, z' . Disminuyendo pues el peso adicional proporcionalmente al valor de dichas masas, se podrá hacer que una de ellas baje tan despacio como se quiera, sin variar por eso la naturaleza del movimiento; y como la resistencia del aire es proporcional al cuadrado de la velocidad, puede considerarse como insignificante dicha resistencia. Vemos, pues, que con esta máquina se logran vencer las dos dificultades que se presentaban para observar la ley del descenso de los graves, esto es, la gran velocidad que adquieren y el rozamiento del aire. Para hacer los experimentos se procede del modo siguiente.

Después de haber puesto la pesa adicional en z y de tirar del hilo hz' , para que suba la pesa z , hasta que su borde inferior corresponda al cero de la escala, hágase andar el péndulo; y cuando empiece una oscilación suéltese el hilo hz' . Al momento se verá que empieza á descender la z y teniendo cuidado de observar la división de la escala por donde pa-

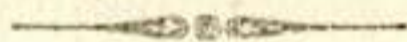
sa el borde inferior de dicha pesa, cuando marcó el contador el primer segundo, póngase la meseta l , sin el aro, de suerte que su borde horizontal corresponda á la division observada, y vuélvase á hacer el experimento. Ahora el ruido que forma la pesa al chocar con la meseta, nos manifiesta con facilidad si nos hemos equivocado en la colocacion de aquella; se baja ó se sube algo si fuese necesario hasta que estemos convencidos que coincide el fin del primer segundo, con el ruido producido por el choque. Supongamos para esplicarnos que esto sea en la division correspondiente á 0 pies 3 pulgadas. Ahora bien, si coloco la meseta l en la division correspondiente á 1 pie, ó 12 pulgadas, si vuelvo á poner la pesa z , con su borde inferior correspondiendo al 0 y la abandono al empezar una oscilacion del péndulo, observaré que la pesa choca con la meseta en el instante mismo en que termina el 2.º segundo: asi como coincidiria con el fin del 3.º si se hubiese puesto la meseta l en 2 pies y 3 pulgadas, ó 27 pulgadas. Vemos pues que los espacios corridos, que son 3, 12, 27, están entre sí como los cuadrados de los tiempos 1, 2, 3, empleados en recorrerlos; que es cabalmente la ley del movimiento uniformemente acelerado.

126. Tambien puede comprobarse con la máquina de Atwood cuanto hemos dicho respecto á la velocidad final. Para ello es preciso poner como peso adicional uno de figura de rectángulo, de que ya hemos hecho mencion, y del mismo peso que el adicional de la experiencia anterior. Ahora hay que hacer uso del anillo g colocándolo del modo siguiente. Supongamos que se quiere averiguar cual es la velocidad final al cabo de un segundo: póngase el anillo en la division 0 pies 3 pulgadas, y la meseta l , 6 pulgadas mas abajo, ó en la division 9, y principiense el experimento como antes. Al fin del primer segundo llegará al anillo el peso adicional, y como no puede atravesar por él, se quedará allí, cesando de consiguiente la fuerza aceleratriz. Al fin del 2.º segundo se oye el choque de la pesa z con la meseta, luego ha andado un espacio doble en virtud de la velocidad final. Poniendo de nuevo el anillo en la division 1 pie y la meseta en la que señala 3 pies, se observa que como dijimos antes, la pesa adicional se queda en el anillo al fin del 2.º segundo, y que despues de otros dos segundos se oye el ruido del choque en la meseta.

127. Podria tambien probarse con esta máquina que los espacios corridos en cada segundo son como los números impares, 1, 3, 5, &c., mas como esta ley se deduce inmediatamente, segun vimos en el número 117, de que los espacios corridos son como los cuadrados de los tiempos, no me detengo mas en este asunto.



LECCION XII.



Siguen las nociones de dinámica.

128. Hasta ahora hemos supuesto que solamente una fuerza obraba sobre el móvil, y de consiguiente debía moverse en línea recta; pero cuando las fuerzas son varias, puede el móvil recorrer los lados de un polígono, y aun describir una línea curva. En efecto si suponemos que sobre el punto A (fig. 92), obran las dos fuerzas AB y AC, el móvil recorrerá según se dijo (n.º 39) la diagonal AD; y si habiendo llegado el móvil á D, obran sobre él otras dos fuerzas DE, DF, correrá hasta G: por último si en dicho punto G obran otras dos GH, GK, el móvil llegará á S y de consiguiente habrá recorrido la línea quebrada ADGS. Si se supone que estas variaciones de las fuerzas, ó los tiempos en que suceden, sean sumamente próximos unos á otros, la línea dicha se convertirá en curva; y así debe considerarse formado el movimiento que se llama *curvilíneo*: Ejemplo de este es el que tiene un grave ó cuerpo pesado cualquiera cuando se le dá un impulso cuya dirección no es vertical. En efecto el impulso es una fuerza constante; pero la gravedad vá obrando á cada momento sobre el cuerpo y le obliga á describir una curva, que se demuestra en mecánica ser una parábola, á lo menos si no se atiende á la resistencia del aire.

129. Para probar esto experimentalmente hay en el gabinete un aparato compuesto de una meseta *ab* (fig. 93), que se coloca horizontal por medio de tres tornillos *cd*. Del medio de esta meseta se levanta verticalmente una tabla gruesa, con un corte semi circular *ef*, en el cual hay formado un canal, que termina horizontalmente por la parte *f*, y presenta en *h* una chapa, con una abertura por donde se deja caer una bola de marfil, casi del mismo diámetro que dicha abertura; un hilo á plomo *kl* sirve para saber cuando la meseta está en posición horizontal, pues en ese caso corresponde á un punto marcado en la meseta: Una tabla *fmn*, colocada al fin de la escavacion y algo posterior al plano de ella, presenta cuatro anillos *r, s, t, u*, que con el fin *f* de la escavacion están formando un arco de parábola: tal es la línea de puntos señalada en la figura. Si se echa la bola por la abertura *e* de la chapa *h*, recorrerá la escavacion *ef*, y al llegar á *f* se hallará animada de una fuerza horizontal; pero como al salir del canal empieza á obrar la gravedad, el conjunto de estas dos fuerzas obliga al cuerpo á seguir la parábola mencionada, y atravesará la bola por el medio de cada uno de los anillos.

130. Si colocamos un cuerpo en la estremidad de un hilo y asiendo este por el otro extremo, hacemos que el cuerpo dé vueltas con rapidez, como cuando se quiere arrojar una piedra con una honda; se notará que el hilo se pone tirante y tanto mas cuanto mayor es la velocidad con que se mueve el cuerpo. A la fuerza que pone tirante el hilo se llama *fuerza centrífuga*, dándole esta denominacion porque si estando así moviéndose circularmente el cuerpo, se cortase de pronto el hilo, se separaria el cuerpo del centro y se escaparia por la tangente del círculo que estaba describiendo. En todo movimiento curvilíneo hay la misma especie de fuerza; pero no entraremos en pormenores respecto á esto.

131. Si suponemos que en vez de la tension del hilo se aplica al cuerpo una fuerza igual á esta tension, y dirigida en sentido contrario, esto es, del cuerpo hácia el centro, dicha fuerza que se llama *centrípeta* sustituida en lugar del hilo, moveria como antes al cuerpo.

132. La fuerza centrífuga es proporcional á la masa del cuerpo, al cuadrado de la velocidad que lleva y está en razon inversa de su distancia al centro; ó en otras palabras; si dos cuerpos desigualmente pesados, atados con hilos de la misma longitud empiezan á dar vueltas con iguales velocidades, adquirirá mas fuer-

za centrífuga el cuerpo de mayor masa. De dos cuerpos del mismo peso, atados con hilos de la misma longitud y que den vueltas al rededor de la estremidad del hilo, aquel que lleve mayor velocidad tendrá mayor fuerza centrífuga; pero si la velocidad del primero es como uno y la del segundo como dos, las fuerzas centrífugas adquiridas estarán como 1 á 4. Finalmente, si dos cuerpos de igual masa y de la misma velocidad estan atados á la estremidad de hilos desiguales, adquirirá mas fuerza centrífuga el cuerpo

cuyo hilo es menor. La fórmula es $f = \frac{mv^2}{r}$; llamando f á la fuer-

za centrífuga, m á la masa, v á la velocidad y r al radio. De aqui se sigue que si se aumenta la velocidad del móvil, puede llegar el caso de que se rompa el hilo que lo sujetaba.

133. Varios aparatos se emplean en fisica para probar los efectos de la fuerza centrífuga: uno de ellos (fig. 94) consta de una tabla movable, con un movimiento de rotacion al rededor de su centro c por medio de un aparato cualquiera. (*) De la cara superior de esta tabla se levantan dos pilares pequeños gb , atravesados por la varilla fg , donde estan ensartadas dos bolas h, k : estas se colocan al empezar la experiencia algo distantes del sitio de la varilla correspondiente al punto c ; y en cuanto se establece el movimiento de rotacion dichas bolas van á chocar contra los pilares f y g , porque la parte de bola mas cercana al punto c , adquiere una fuerza centrífuga mayor que la parte opuesta, y de consiguiente debe huir del centro.

134. En una meseta análoga ab (fig. 95) se levantan dos tablas ad, bm de las que salen cuatro tubos cerrados por ambas estremidades, inclinados hácia el centro c , y que contienen líquidos y cuerpos sólidos: en el momento que empieza el movimiento de rotacion, los cuerpos de mayor masa proporcionalmente á su volúmen son los que se dirigen hácia las estremidades d, s, m, n ; y los de menor masa hácia el centro: asi en el tubo que tiene agua y un pedazo de corcho, este sobrenada al principiar la experiencia, mas despues con el movimiento de rotacion el corcho baja y se vá hasta el punto c y el agua sube.

(*) No se describe el que existe en el gabinete por ser sumamente complicado y no ser necesaria semejante complicacion: en el dia dichos aparatos son sencillísimos.

135. Suponiendo que la superficie de la tierra haya sido líquida primitivamente y que después se haya solidado, se explica muy bien en virtud del movimiento de rotación al rededor del eje, porque se halla ahora aplanada por los polos y ensanchada hacia el ecuador; pues siendo la fuerza centrífuga de los puntos de este, mayor que la de los polos, claro es que debe haber tomado esta figura. Para comprobarlo con un experimento hay en el gabinete el aparato representado en la figura 96 que consta de dos aros circulares *bc* y *df*, unidos entre sí en los puntos *a* y *e*, donde hay aberturas por donde pasa la varilla *ga*, que puede girar sobre sí misma, haciendo que tengan el mismo movimiento dichos aros. A la varilla está unida la rueda dentada *m*, que engrana con otra *n*, que se mueve por medio de un manubrio: de este modo se consigue que los aros entren en un movimiento de rotación al rededor del eje *ea*, notándose que se aplanan en la dirección de dicho eje y que se ensanchan en la de *bc*.

136. En esta doctrina se funda el aparato llamado *bomba de Hesse* (figura 97): el modelo del gabinete consta de cuatro tubos de latón *ab*, *cd*, *fi*, *gh*, encorvados como manifiesta la figura, abiertos por ambas estremidades y unidos entre sí por medio del travesaño *rt*. Por el punto *m*, pasa una varilla *no*, con su manubrio *np*, que estando apoyada en *o*, permite que se dé al aparato un movimiento de rotación. Toda esta máquina está contenida en una vasija *M N*, adonde se echa agua hasta que entre en la parte inferior de los tubos. Dando vueltas á la manija *p*, empieza á subir el agua por ellos, en virtud de la fuerza centrífuga, y cae en un reborde ó cavidad que presenta interiormente la vasija: allí se recoje y luego sale por el orificio *s*.

La fuerza centrífuga y la capilaridad hacen subir el agua en otra máquina llamada bomba de Vera ó faja hidráulica, de la que hablaremos al tratar de los tubos capilares.

137. Cuando un cuerpo baja por una línea cualquiera, adquiere una velocidad con la cual subirá por otra línea, á la misma altura. Esta proposición se demuestra en mecánica; pero nosotros contentaremos con indicar el experimento con que se comprueba. Tómese un hilo y átesele una bola á una de sus estremidades; si se sujeta la otra estremidad, ya hemos dicho (n.º 53) que el hilo se colocará en una posición vertical. Pero si se separa de esta posición, haciéndolo desviar 25.º por ejemplo, ó que el hilo forme un ángulo de estos grados con la vertical, soltando el cuerpo se verá que llega hasta el punto en que estaba antes del

movimiento y que no permanece allí quieto, sino que vuelve á subir hasta formar con la vertical, y del otro lado, un ángulo de $25.^{\circ}$ ó muy poco menos. Debiendo tenerse entendido, que si no llega hasta los $25.^{\circ}$ es porque la resistencia que le opone el aire y el rozamiento en el punto fijo, destruyen algo el movimiento.

138. *Péndulo*. Un aparato semejante al que se acaba de describir es lo que se llama un péndulo, el cual se divide en simple y compuesto. Por *péndulo simple* se entiende un hilo ó varilla inextensible y sin peso, que tuviese en su estremidad un punto material; y *péndulo compuesto* es un cuerpo pesado puesto en la estremidad de una varilla tambien pesada, ó un cuerpo que oscila al rededor de un punto ó de un eje fijo. Claro es que en la naturaleza no existe el péndulo simple; pero averiguadas que sean las condiciones de su movimiento, se puede hallar un péndulo simple que oscile como otro compuesto cualquiera que nos den.

Sea m (figura 98) el punto material pesado, mc la varilla sin peso y c el punto fijo. Separando el cuerpo de esa posicion y colocándolo en la cr , cuando se suelte caerá hasta m , y seguirá moviéndose hasta la posicion cs , irá de allí á m , luego á r &c: al ángulo mcr se llama *ángulo de separacion*, al movimiento de r á s ó de s á r *oscilacion*; *amplitud* es el número de grados contenidos en el arco rs ; y el tiempo que tarda el punto en ir de r á s , se llama *duracion de una oscilacion*.

139. Las leyes del péndulo son tres 1.^o *Las oscilaciones muy pequeñas son isochronas*. 2.^a *La duracion de cada oscilacion es independiente del peso y de la naturaleza del cuerpo*. 3.^a *La duracion de las oscilaciones son como las raices cuadradas de las longitudes de los péndulos*. Espliquemos estas leyes y comprobémoslas con experimentos.

140. La 1.^a ley significa que separando muy poco el péndulo de su posicion vertical ó de equilibrio, ó lo que es lo mismo si la amplitud es muy pequeña, y dejándolo caer empezará á oscilar; y aun cuando la amplitud irá siendo cada vez menor, hasta llegar á pararse, sin embargo la duracion de cada una de estas oscilaciones será siempre la misma; que es lo que quiere decir la palabra griega *isochronismo*. Para comprobar esta ley es necesario contar muchas oscilaciones, por ejemplo 100 cuando la amplitud es de 4 á 5 grados, otras 100 cuando ha disminuido ya á 2 ó 3 grados y otras 100 cuando está en un grado, y se observará que el tiempo empleado en dar cada uno de estos grupos de 100 oscilaciones es siempre el mismo.

141. Es fácil convencerse que puede esto ser así; porque si suponemos dos péndulos, con dos distintos ángulos de separación, como cd , $c'd'$, (figura 99), si representamos por $dg = d'g'$, la intensidad de la gravedad para el punto $d = d'$, y descomponemos esta fuerza en otras dos tales como las dm , dr y $d'm'$, $d'r'$, una que siga la dirección de la cd ó $c'd'$ y la otra perpendicular á estas rectas; es claro que las dm , $d'm'$ quedan destruidas por el punto fijo, y solo quedan las dr , $d'r'$, que son las fuerzas que producen las oscilaciones de sus respectivos péndulos; pero es fácil ver que la dr es menor que $d'r'$, y que irá siendo tanto menor, cuanto menor sea el ángulo de separación: así aunque es cierto que la amplitud ó el arco que tiene que recorrer el cuerpo, es menor cuando la separación también lo es, como disminuye á proporción la fuerza que lo mueve, quedan iguales las duraciones de las oscilaciones.

142. Si no se altera la longitud del péndulo, la duración de las oscilaciones permanecerá la misma, aunque el cuerpo que estaba en su estremidad se sustituya por otro mas pesado. Para comprobar esta segunda ley del péndulo sirve un aparato (figura 100) compuesto de una meseta horizontal a , sobre la que hay una columna vertical bc , que tiene en la parte superior un travesaño horizontal de , de cuyos puntos d , e , salen dos hilos ó alambres de igual longitud, terminados en las bolitas h , k , una de ellas de corcho y la otra de plomo. Si separamos ambos péndulos de la posición de equilibrio el mismo número de grados, empezarán ambos á oscilar, siendo igual para entrambos la duración de las oscilaciones; sin otra diferencia sino que la amplitud en el péndulo formado por la bola de corcho, irá disminuyendo con rapidez y llegará á pararse el péndulo, cuando todavía la amplitud del otro sea de algunos grados. Mas esto depende solo de la resistencia del aire; y se prueba porque si en vez de aire ponemos agua, en cuyo medio oscile uno de los péndulos, introduciéndolo en un cajón que la contenga, aun cuando el cuerpo que forme ambos péndulos sea de plomo por ejemplo, se observará que cesa mucho mas pronto el movimiento en el que se mueve en agua, que en el que oscila en el aire.

143. Para comprobar la 3.^a ley del péndulo se emplea el aparato representado en la figura 101, compuesto simplemente de dos columnas verticales con un travesaño horizontal ab ; los cuerpos d , f , g iguales en peso y de la misma sustancia, se suspenden por medio de los hilos cde , cfe , cge , y están colocados de tal suerte que las distancias od , of , og estén entre si como los números 1, 4, 9: Separando estos péndulos de su posición de equilibrio se nota, que g tarda tres veces mas en hacer una oscilación que d , y f dos veces mas que d , y como en esta razón estan

las raíces cuadradas de los números 1, 4, 9 queda comprobada la ley tercera.

144. La fórmula del péndulo simple en el vacío ó sin atender á la resistencia del aire, es $t = p\sqrt{\frac{l}{g}}$, llamando t al tiempo que dura una osci-

lacion, p á la relacion del diámetro á la circunferencia, l á la longitud del péndulo y g á la intensidad de la gravedad en el punto donde se hace la esperiencia. De esta fórmula es facilísimo deducir la tercer ley, pues si suponemos que en el mismo lugar de la tierra oscile otro péndulo de una longitud L ; llamando T al tiempo de una oscilacion, tendrèmos tam-

bien $T = p\sqrt{\frac{L}{g}}$; conservando p y g las mismas denominaciones que

antes: comparando entre si estas dos ecuaciones resultará

$t : T :: p\sqrt{\frac{l}{g}} : p\sqrt{\frac{L}{g}}$ ó lo que es lo mismo $t : T :: \sqrt{l} : \sqrt{L}$.

145. Puede servir tambien la fórmula para hallar la intensidad de la gravedad en un punto, pues en el valor $t = p\sqrt{\frac{l}{g}}$ se puede despejar

$g = p^2\frac{l}{t^2}$; y conociendo cual es la longitud del péndulo que bate segundos,

ó que tarda un segundo en una oscilacion, deberèmos sustituir dicha longitud en vez de l , y poner por t un segundo: asi todo estará conocido en

dicha fórmula, y hallarèmos g . Como en el valor de $t = p\sqrt{\frac{l}{g}}$ entra g ,

claro es que un péndulo que bate segundos en Cadiz, por ejemplo, no los batirá en San Petersburgo si la gravedad no es la misma para ambos puntos. Asi sucede en efecto y por el péndulo se conoce la diferencia.

146. Si no fuera por la resistencia del aire y el rozamiento que siempre tiene el péndulo en el punto por donde está suspendido, este aparato deberia estar animado de un movimiento continuo, puesto que segun dijimos (n.º 137) un cuerpo sube en teoria á la misma altura de donde cayó, y se halla en esta nueva altura en las mismas circunstancias que al empezar el movimiento.

147. Ya hemos dicho (n.º 138) lo que se llama péndulo

compuesto: en todo péndulo de esta clase hay un punto llamado *centro de oscilacion*, el cual oscila como si toda la masa estuviese reconcentrada en él, y su distancia al punto de suspension, que se halla por el cálculo, es igual á la de un péndulo simple isochrono con el compuesto.

148. Se dijo que para que las oscilaciones del péndulo, tal como lo hemos supuesto, fuesen isocronas, era necesario que las amplitudes fuesen muy pequeñas. Si quisiéramos obtener el isochronismo en cualquier amplitud, seria necesario que en vez de recorrer el móvil arcos de círculo, como lo hace cuando está suspendido de un hilo, anduviera por arcos de cicloide. Dirémos cuatro palabras sobre esta curva y sus propiedades relativas á la mecánica.

149. Llámase cicloide una curva formada del modo siguiente. Supongamos que un círculo *A*, tangente en *B* á la recta *BD* (figura 102) rueda sobre dicha recta, el punto *B* irá describiendo la cicloide *BCD*. Tiene esta curva las propiedades de ser *brachistochrona* y *tautochróna*, quiero decir que es la curva que debe describir un cuerpo para ir en el menor tiempo posible de un punto á otro, y que además el tiempo empleado para llegar á *c* es el mismo, cualquiera que sea el punto de la curva de donde sale el móvil.

150. Como la distancia mas corta de un punto á otro es la línea recta, parece que tal deberia ser la direccion seguida por un grave para ir lo mas pronto posible de un punto á otro, que no estuviese en la misma vertical; mas para probar lo contrario, y que debe recorrer un arco de cicloide, que pase por dichos puntos, ecsiste en el gabinete un aparato que consta (figura 103) de una meseta horizontal *ab*, en cuya parte media se levanta verticalmente una tabla *cd*, que tiene en su borde superior una escavacion *fgd*, en forma de cicloide: una regla *de*, escavada tambien, se une en *d* con dicha tabla por medio de un tornillo, que permite á la regla un movimiento de rotacion al rededor del tornillo: la *de*, se sujeta inferiormente donde se desea. Hay en los bordes del arco cicloidal y de la regla, unas especies de mesetas *m*, *n*, que pueden correr la estension de dichas líneas, y que se sujetan en el punto que se quiere: para hacer la esperiencia deben ponerse cada una en su respectiva línea, correspondiendo ambas al punto en que la recta corta á la cicloide. Si se arrojan dos bolas de marfil por *d*, de suerte que una recorra la recta y otra la cicloide, se oirá antes el choque de la bola con la respectiva meseta de la cicloide que el de la otra bola con la de la regla.

151. Para probar la segunda propiedad de la cicloide de que hemos hablado, esto es que es la curva tautochróna, se hace uso del aparato representado en la figura 104, que consta de una meseta horizontal *ab*, en cuya parte media se levanta verticalmente una tabla que tiene en su borde superior una escavacion doble de figura de cicloide *cf* y *dg*. Este aparato nos manifiesta que de cualquier punto de estas escavaciones que dejemos rodar las bolas llegarán siempre á la par á *f* y *g*.

LECCION XIII.

Siguen las nociones de dinámica.

152. *Choque de los cuerpos.* Como las leyes del choque de los cuerpos son diversas segun que ellos sean ó no elásticos, es indispensable que tratemos ahora de la elasticidad aun cuando no sea propiedad general de los cuerpos.

153. *Elasticidad.* Llámase así aquella propiedad por la cual ciertos cuerpos comprimidos vuelven á tomar la figura que tenían antes de la compresion. Donde mas se percibe esta propiedad es en los cuerpos gaseosos, pues en el momento que cesa la causa comprimente recobran todo el volúmen que habian perdido con la compresion, por lo que se denominan *fluidos elásticos*. Varias esperiencias comprueban dicha propiedad de los gases. Una vejiga llena de aire pierde su figura cuando se comprime y la recobra cuando cesa la compresion. En el aparato denominado *estabon neumático*, que consta de un tubo grueso de vidrio hueco *ab* (figura 105), cerrado herméticamente por la parte *b* y en cuya cavidad entra sumamente ajustado un émbolo *c*, si se comprime el aire encerrado en el tubo, introduciendo el émbolo con fuerza, vuelve á subir despues, desde que esta cesa &c. La misma propiedad se observa en los líquidos que se han podido reducir á menor volúmen por la compresion; pero entre los sólidos hay

muchos que no gozan de ella y se llaman *cuerpos blandos*. Con los que la tienen se pueden hacer experimentos que comprueben, que en virtud de la compresion han perdido su figura y que despues la recobran. Para ello tómesese una bola hecha de cualquier cuerpo sólido elástico, de marfil por ejemplo y déjese caer sobre un plano de mármol untado ligeramente de aceite; se observará que en el sitio del choque en vez de haber dejado la impresion de un punto, como debia ser, hay un círculo tanto mayor cuanto mas elástico es el cuerpo.

154. Hemos dicho que no todos los cuerpos eran elásticos, sin embargo cuando pueden reducirse á hilos muy finos adquieren elasticidad; la cual se manifiesta fácilmente torciéndolos, pues luego por sí mismos procuran destorcerse.

155. Ni se crea que la elasticidad de los cuerpos sólidos es indefinida, esto es, que puedan comprimirse con cuanta fuerza se quiera, pues hay un límite pasado el cual ya el cuerpo no vuelve á su posicion primera. Lo mismo sucede cuando en vez de reducirlo á menor volúmen se quiere, por el contrario, como separar las moléculas del cuerpo. Varias circunstancias modifican la elasticidad, como el reducir el cuerpo á láminas por medio del martillo ó hacerlo pasar entre cilindros, &c, ; pero la mas notable es la operacion por la cual el acero adquiere elasticidad y que se llama *temple*. Consiste en calentar, mas ó menos esta sustancia y enfriarla de pronto echándola en agua fria ú otro liquido. No es fácil esplicar la transformacion que experimentan con esto las moléculas del acero; sin embargo se cree que estando dilatado el cuerpo por el calor, y por lo mismo separadas entre sí, cuando se echa el acero en agua fria, se aproximan las exteriores, pero no hasta donde estaban antes, á causa que el centro del cuerpo no ha podido enfriarse todavia; y las moléculas interiores se quedan de consiguiente en un estado forzado de dilatacion. El acero vuelve á perder el temple si despues de enrojecido se deja enfriar lentamente.

156. Supuesto lo que acabamos de decir, continuaremos la esplicacion del choque de los cuerpos; estos como hemos visto pueden ser blandos, ó elásticos; así tratarémos en primer lugar de aquellos, suponiendo que se chocan dos esferas y que el choque se verifica en la direccion de la línea de los centros.

157. *Choque de los cuerpos blandos*. Las leyes del choque de esta especie de cuerpos están fundadas en que despues del choque los cuerpos continuan moviéndose unidos, y de consiguiente

con la misma velocidad; cosa que nos demuestra la experiencia.

Si dos cuerpos blandos de iguales masas se dirigen uno hácia otro con velocidades iguales, pero contrarias, permanecerán quietos despues del choque.

Si suponiendo las masas iguales, uno de ellos estuviese quieto, despues del choque continuarán unidos, moviéndose ambos en la direccion que traia el cuerpo chocante y con la mitad de su velocidad.

158. Estas y otras muchas leyes se pueden deducir facilísimamente de la fórmula que vamos á hallar. Si llamamos m la masa de un cuerpo y v su velocidad y m' y v' la masa y la velocidad de otro, las cantidades de movimiento respectivas serán mv , $m'v'$; pero si llamamos V la velocidad comun que tienen los cuerpos despues del choque, como la masa ahora es $m+m'$, la cantidad de movimiento será $(m+m')V$; y puesto que estas dos cantidades de movimiento han de ser iguales; tendríamos la ecuacion $(m+m')V=mv+m'v'$ de donde,

$$V = \frac{mv + m'v'}{m + m'}$$

si los dos cuerpos van uno hácia otro, claro es que las velocidades tendrán distintos signos y de consiguiente la formula se convertirá en

$$V = \frac{mv - m'v'}{m + m'}$$

cuando uno de los cuerpos no está en movimiento, por ejemplo m' , su velocidad será igual cero y

$$V = \frac{mv}{m + m'}$$

159. Hay un aparato para comprobar todo lo relativo al choque de los cuerpos, compuesto de una meseta a , (figura 106) que se coloca por medio de tornillos en posicion horizontal; perpendicular á esta meseta se levanta un árbol que en su parte superior presenta cuatro reglas colocadas en figura de un cuadrado $defg$: en las reglas fg y de hay varios ganchos $m, m, \& n, n, \&$, y en los costados del árbol clavijas, en número igual á la mitad del de los ganchos. Unida á la parte inferior del árbol hay una tabla semicircular graduada rs , correspondiendo el cero de la graduacion al punto de union, y creciendo por ambas partes. De los ganchos colocados en las reglas fg salen hilos, que llegando hasta el nivel de la tabla semicircular, pasan á los ganchos respectivos de la regla de ,

y de allí á las clavijas del árbol. En estos hilos se enganchan bolas, hechas de barro húmedo ó de la sustancia blanda que se quiera. Si elejimos dos hilos, colocados de tal suerte, que el punto en que se toquen las bolas corresponda al cero de la division circular, y que estas bolas sean iguales, observaremos que separando estas y colocándolas una en el número diez de la derecha, y otra en el mismo número de la izquierda; y abandonándolas á la par (en cuyo caso cuando han llegado al cero tienen ambas la misma velocidad) despues del choque permanecen quietas; y sucediendo esto cualesquiera que sean los números que se elijan, queda comprobada la primera ley establecida.

160. Si dejamos una de las bolas quieta en el cero y elevando la otra hasta el 15 por ejemplo, la dejamos caer, irán juntas despues del choque hasta el $7\frac{1}{2}$, con lo que se comprueba la segunda ley. Pueden ponerse bolas cuyas masas sean desiguales entre sí, y observar con este aparato lo que resulta despues del choque, para comprobar la fórmula general; pero me parece inútil insistir mas en este punto.

161. *Choque de los cuerpos elásticos.* Las leyes del choque de los cuerpos elásticos estan fundadas en el hecho siguiente: cuando dos cuerpos elásticos, como por ejemplo dos bolas de marfil, se chocan, al principio se verifica todo como si fuesen cuerpos blandos; esto es que si las bolas fuesen iguales en masa y tuviesen velocidades iguales y contrarias, el primer efecto sería el de permanecer en quietud despues del choque: pero obrando entonces la elasticidad, por haberse comprimido, vuelven á tomar la figura que tenian y adquieren una velocidad en sentido contrario tal, que si las bolas fuesen perfectamente elásticas volverian al mismo sitio de donde salieron.

162. La elasticidad perfecta no existe en la naturaleza. Asi hemos visto que cuando se arroja la bola de marfil sobre el plano de mármol en la esperiencia ya mencionada (n.º 153) no llega nunca la bola al sitio de donde salió, cualquiera que sea la naturaleza de ella. La esperiencia pues no está exactamente conforme con la teoria ni con el cálculo, por suponer este la elasticidad perfecta.

163. Si los cuerpos completamente elásticos son iguales en masa, pero les suponemos velocidades desiguales y contrarias, despues del choque cambian sus velocidades, esto es, que un cuerpo pierde la velocidad que traia y adquiere la del otro.

164. Si las masas de los cuerpos elásticos son iguales, y

uno de ellos está quieto; despues del choque, el que se movia antes permanecerá en quietud, y el que estaba quieto se moverá en el mismo sentido que andaba el otro y con la misma velocidad.

165. Otras muchas leyes podrian indicarse relativas á los cuerpo elásticos; pero todas ellas estan comprendidas en las siguientes fórmulas:

$$v' = \frac{V' (M' - M'') \pm 2 M'' V''}{M' + M''}; \quad v'' = \frac{-V'' (M' - M'') \pm 2 M' V'}{M' + M''}$$

en las cuales M' y V' representan la masa y la velocidad de uno de los cuerpos, y v' la velocidad despues del choque; M'' y V'' la masa y la velocidad del otro cuerpo y v'' la velocidad despues del choque. Con respecto á los dobles signos que encierran estas fórmulas, se tomará el superior cuando los cuerpos vayan en el mismo sentido, y el inferior si caminan en sentido contrario. No entraremos en la demostracion de dichas fórmulas por ser algo complicada.

166. Con el mismo aparato explicado para el choque de los cuerpos blandos se pueden hacer las esperiencias para los elásticos, y basta para ello el sustituir bolas de marfil á las de barro. Cuando las bolas son iguales si las velocidades son tambien iguales, pero contrarias, lo que se obtiene elevándolas á la misma altura y dejándolas caer á la par, se vé que despues del choque verificado en el punto cero de la escala, retroceden las bolas subiendo casi á la misma altura de donde salieron. En la misma suposicion de igualdad de masas, si elevamos una bola hasta los 15 grados y la otra hasta los 10, y dejamos caer un poco antes la primera que la segunda, á fin de que se verifique en el cero el choque, veremos despues de este que la primera bola sube hasta los 10 y la segunda hasta los 15. Suponiendo que una de las bolas esté quieta en el cero, si elevamos la segunda hasta la altura de 15 grados y la abandonamos luego, asi que se verifique el choque esta última se estará quieta y la que antes estaba en quietud subirá hasta cerca de los 15 grados.

167. *Choque de los cuerpos elásticos contra un plano.* Si la direccion en que se mueve el cuerpo antes del choque es perpendicular al plano, vuelve despues del choque por el mismo sitio y en sentido contrario hasta cerca del punto de donde salió: si la direccion es oblicua respecto al plano, sigue el cuerpo despues del choque una direccion que se halla del modo siguiente. Sea ab (fig. 107) el plano, cd la direccion del cuerpo antes del choque, si elevamos en el punto d una normal al plano, como la df , y formamos un ángulo $fdg = cdf$, que está en el mismo plano que el

anterior, el cuerpo despues del choque seguirá la direccion dg y llegará al punto g , que está situado de suerte que gd es igual próximamente en longitud á cd . El ángulo cdf , formado por la direccion del cuerpo antes del choque con la normal, se llama *ángulo de incidencia*, y el fdg , formado por la misma normal con la direccion que lleva el móvil despues del choque, se denomina *ángulo de reflexion*. Las leyes del choque oblicuo de los cuerpos son pues:

1.^a *El ángulo de incidencia y el de reflexion estan en un mismo plano.*

2.^a *El ángulo de incidencia es igual al de reflexion.*

168. Se comprueban estas leyes con el siguiente aparato que posee el gabinete: ab es una mesa, que se coloca en posicion horizontal por medio de tres tornillos, y que se conoce que está en dicha posicion con el hilo á plomo cd ; fgh es un plano de mármol bruñado, movable al rededor de gh , que puede colocarse en varias posiciones; el sosten mk (que está unido á la cara inferior del plano y que puede ponerse mas ó menos inclinado, segun que se apoye por la parte inferior k en alguna de las escavaciones o, o , que hay en la mesa) sirve para sujetar dicho plano de marmol: De la parte l de dicha mesa se levanta verticalmente una columna ln , con una abertura t , terminada en una barra horizontal ns , que en el punto s tiene un cilindro hueco: por detras del plano de mármol hay una tabla AB : si se coloca dicho plano de suerte que los ángulos sxy , yxt sean iguales y estén en un mismo plano, una bola de marfil que se deje caer desde s , despues de haber chocado con el plano, saldrá por t .

169. *Comunicacion del movimiento.* Colgando muchas bolas de marfil pendientes de hilos en el aparato (fig. 106) y alargando ó acortando estos, hasta que todas las bolas estén en línea recta, se observará que levantando una de ellas, correspondiente á una estremidad y dejándola caer sobre la inmediata, queda en quietud la arrojada y todas las demas, excepto la última, la cual se levanta y llega casi hasta los mismos grados de que habia bajado la primera. El movimiento que traia esta se comunicó de consiguiente á la segunda, la cual lo trasmitió á la siguiente y asi de las demas hasta llegar á la última, la que se mueve no teniendo á quien trasmitírselo. Lo mismo se observa en todo cuerpo que choca con otro; pero si cayese sobre una masa sumamente considerable, como una montaña por ejemplo, aunque á toda la tierra se trasmite, es tan poco que no lo perciben los sentidos. La

comunicacion del movimiento no es instantánea; y así se explica por qué una bala de fusil, cuando lleva mucha velocidad, puede atravesar un vidrio sin hacer en él mas abertura que la necesaria para dar paso á la bala; y por el contrario si la velocidad es poco considerable, hace pedazos todo el vidrio. En el primer caso por la mucha velocidad no ha podido comunicarse el movimiento á todo el vidrio: en el segundo al contrario. Cuando una bala de cañon dá oblicuamente y con poca velocidad, contra uno de nuestros miembros puede no dividir siquiera los tegumentos, y sin embargo producir una contusion muy fuerte, haber derrame considerable de sangre interiormente, y aun fracturar los huesos. La conmocion que suele acompañar á estas heridas de armas de fuego se presenta sobre todo cuando la bala tiene poca velocidad, por la comunicacion del movimiento de que hemos hablado. Si una bala atraviesa algun miembro, forma dos aberturas, una de entrada y otra de salida, y esta es mayor que la primera; á lo que contribuye entre otras causas la que acabamos de indicar.

170. Al hablar de las ruedas dentadas en el (núm.º 103) digimos que servian para aumentar ó disminuir la velocidad de los movimientos; en efecto si suponemos (fig, 109) tres ruedas dentadas A, B, C, las dos últimas con piñones R, S, que A tenga veinte dientes, B veinte y cinco y los piñones R y S cinco alas cada uno; claro es que cuando la rueda A haya dado una vuelta, el piñon R y la rueda B habrán dado cuatro; pero á cada vuelta de la rueda B, por engranar con el piñon S, corresponden cinco de dicho piñon; luego para cada vuelta de la rueda A habrá dado veinte la C. De lo que se infiere que si en el centro de cada una de las ruedas A y C ponemos una aguja *a, b*, la segunda andará con una velocidad veinte veces mayor que la primera. En esto está fundado el mecanismo de los relojes en cuya explicacion no es del caso entrar en este curso.

LECCION XIV.



Aplicaciones de la dinámica á los movimientos del hombre.

171. Los movimientos del hombre pueden dividirse en dos clases, unos *voluntarios*, porque están bajo el imperio de la voluntad, otros *involuntarios*, porque la voluntad no tiene parte en ellos. Los primeros se ejecutan generalmente en el cuerpo humano por medio de palancas, formadas de huesos, siendo la potencia la contractilidad muscular. Cuando un músculo entra en contracción, sus fibras se acortan, se arrugan y se engruesan, resultando una disminución en la longitud total del músculo y de ahí la causa del movimiento. Sería fuera del caso entrar en pormenores acerca del modo como se verifica dicha contracción, pues siendo una acción vital, corresponde su estudio exclusivamente á la fisiología. Tratarémos pues únicamente del efecto que produce: para ello baste saber que en el instante mismo en que queremos movernos, se empiezan á contraer las fibras de los músculos correspondientes, por medio de los nervios.

172. Ya digimos (núm.º 70) que las palancas mas comunes del cuerpo humano son las de tercer género, y que la dirección de la potencia era además en general sumamente oblicua al brazo de palanca, estando tambien aplicada muy cerca del punto fijo ó de la articulacion; to to lo cual disminuye mucho la acción

de la potencia, pero aumenta en proporcion la estension y la rapidez de los movimientos.

173. *De los movimientos voluntarios en particular. Del acto de andar.* El acto de andar se compone de una sucesion de movimientos con los cuales se dan los pasos. Para comprender el mecanismo de uno de ellos, supongamos al hombre en posicion vertical, con los pies próximos uno á otro y que se quiera echar primero el pie izquierdo, como generalmente sucede. Empieza cargando el cuerpo sobre el pie derecho, á fin de que la vertical bajada del centro de gravedad caiga sobre dicho pie, y á la par de este movimiento dobla el muslo izquierdo sobre la pelvis y la pierna sobre el muslo. Obran estas partes como palancas de tercer género, pues para el muslo el punto de apoyo está en la cavidad cotiloidea, la resistencia es el peso de todo el miembro inferior, y la potencia son los músculos psoas é iliaco, que se atan muy cerca de la articulacion. La pelvis y el tronco deben estar y estan fijos para este movimiento, pues en esas partes es donde se apoyan los músculos para contraerse. La pierna tambien representa en este acto una palanca de tercer género, cuyo punto fijo está en la articulacion femoro-tibial, la potencia son los músculos recto interno, biceps, semi-tendinoso y semi-membranoso y la resistencia es el peso de la pierna y del pie. Como se ha doblado el muslo sobre la pelvis, y la flexion de la pierna sobre el muslo es mucho menor, se infiere que el pie izquierdo debe ahora estar situado en un plano anterior al derecho. En este estado se apoya el pie izquierdo en el suelo, estendiendo la pierna sobre el muslo é inclinando el cuerpo sobre la estremidad inferior izquierda. El pie derecho que se habia quedado atras, se va levantando del suelo del talon hácia la punta, por la accion de los músculos estensores del pie; la parte superior de la tibia se dirige hácia delante; se doblan el muslo y la pierna por la contraccion de los músculos flexores, con lo cual se acaba de levantar el pie del suelo y aumentando la flexion de los psoas é iliaco, á la par que se estiende la pierna sobre el muslo, llega el pie derecho á ponerse en un plano anterior al del izquierdo. Falta solo apoyar el pie derecho en el suelo, dirigiendo hácia él el cuerpo, á fin de que la vertical correspondiente al centro de gravedad, caiga en aquella base de sustentacion; hacer con el pie izquierdo los movimientos ya esplicados tratando del derecho; y asi sucesivamente.

174. Estos movimientos experimentan mil modificaciones segun la rapidez, la longitud del paso y el modo particular de an-

dar de cada individuo, en cuyos pormenores no es del caso entrar ahora. Baste decir, que cuando el paso es muy largo, la pelvis gira sobre el femur del miembro que se quedó inmóvil, y de esta suerte experimenta el tronco una serie de movimientos de rotacion.

175. El centro de gravedad del cuerpo describe en el acto de andar una línea curva, de las que los geómetras llaman de doble curvatura, esto es que no puede trazarse en un plano; siendo fácil convencerse de que efectivamente no describe una línea recta, observando la sombra de un hombre que va andando; porque se verá que la parte superior de la cabeza va formando una línea curva; luego también la formará el centro de gravedad del cuerpo.

176. Para andar hácia atrás, suponiendo que el cuerpo esté vertical y los pies juntos, se empieza también dirigiendo el peso del cuerpo á uno de ellos, por ejemplo al derecho, y así que nuestro centro de gravedad corresponde á dicho pie, doblamos la pierna izquierda sobre el muslo: hecho esto dirigimos el muslo hácia atrás, doblando algo el pie, y hacemos luego que la punta toque al suelo; despues nos inclinamos hácia dicho pie, hasta que el peso del cuerpo se apoye sobre esta base de sustentacion; la punta del pie derecho está ahora tocando al suelo; pero el talon está levantado y todo lo restante del miembro inferior forma una línea recta, aunque el muslo está en estension sobre la pelvis: aumentando esta estension y doblando la pierna se levanta del suelo la punta del pie derecho, y haciendo que el femur gire sobre su articulacion inferior, se dirige hácia atrás hasta que la punta toque al suelo, siguiendo los demas movimientos como digimos para la estremidad izquierda. La progresion es mas lenta hácia atrás que hácia adelante, porque el paso es necesariamente mas corto y además se egecuta siempre con timidez, por no poder dirigirnos la vista.

177. El modo de andar de lado es muy fácil de comprender; empezando por cargar el cuerpo sobre el pie derecho por ejemplo, se dirige el miembro izquierdo en la abduccion, se apoya el pie, y despues se carga sobre él el peso del cuerpo; con este solo movimiento queda el miembro derecho en abduccion y se aproxima luego á su compañero.

178. Como para andar se necesitan las mismas condiciones de equilibrio que para estar en pie, se infiere que la progresion será tanto mas segura cuanto mayor sea la base de sustenta-

cion y menos elevado esté el centro de gravedad de nuestro cuerpo. En esto consiste que sea mas fácil el caerse cuando se anda de puntillas, que cuando se apoya todo el pie en el suelo. Lo mismo se puede decir del andar en zancos, con una pierna de palo ó sobre una cuerda. En el último caso es tan difícil mantenerse en equilibrio, que hay necesidad de mover continuamente los brazos, para que no salga la vertical bajada del centro de gravedad del sitio correspondiente; y se emplean balancines con el mismo objeto.

179. Tambien son de importancia las condiciones del terreno en que se anda, porque si es muy liso hay alguna dificultad en andar por no encontrar el pie desigualdades en que pueda afianzarse. Sucede lo mismo cuando el terreno es muy blando. Si el suelo es movable, como en un barco, hay mas riesgo de que la vertical bajada del centro de gravedad caiga fuera de la base de sustentacion, y para evitarlo se separan las piernas como hacen los marineros. Si es muy estrecho el sitio por donde debemos andar, hay mucha probabilidad de que el centro de gravedad caiga á la derecha ó á la izquierda de la base de sustentacion, porque dicho centro oscila de un lado á otro en este sentido transversal, cuando al andar dirigimos el peso del cuerpo hácia uno ú otro miembro inferior. Para impedir la caída, ó andamos de lado, en cuyo caso las oscilaciones del centro de gravedad se verifican en el sentido en que el terreno tiene grandes dimensiones, ó damos pasos muy cortos. Finalmente el terreno influye en el andar, segun que sea un plano horizontal, ó una cuesta que haya que subir ó bajar. Para subir una cuesta es necesario doblar mas el miembro que vá á dirigirse hácia delante: tambien es mas penosa la rotacion del pié que se ha quedado atras sobre sus respectivos dedos; y hay mayor dificultad en hacer pasar continuamente el peso del tronco desde el miembro inferior que se quedó atras, hasta el que está dirigido hácia delante, porque hay que moverlo contra la accion de la gravedad. Esta es una de las causas por que inclinamos el cuerpo hácia delante al subir una cuesta, la otra concerniente á la posicion de estar en pié la esplicamos ya en el (núm.º 84.) El bajar una cuesta no presenta ninguno de los inconvenientes indicados para subirla, pero hay que inclinar el cuerpo hácia atras, lo que al fin molesta.

180. *Del salto.* En la teoria del salto están discordes Borelli, Barthez y los demas autores que han tratado exprofeso de la mecánica animal: he aqui como se espresa Pelletan que nos parece el que ha esplicado mejor este asunto.

Para establecer bien la teoría del salto, en las circunstancias diversas en que puede ejecutarse, hay que distinguir dos especies; llamaremos á la primera *salto vertical*, y á la segunda *salto tangencial*.

181. *Del salto vertical.* Este movimiento, por el cual el cuerpo del hombre se lanza de abajo arriba con bastante velocidad para vencer los efectos de la gravedad, de modo que se separen del suelo las partes inferiores de nuestro cuerpo, resulta siempre de la estension de muchas palancas que estaban dobladas, formando ángulos mas ó menos agudos, y que al fin de la accion estan situadas todas de suerte que forman una línea recta. Este salto puede ser completo ó incompleto. Para lo primero es necesario que las palancas formen exactamente una línea recta. Explicaremos ahora el salto vertical completo.

182. Cada una de las articulaciones que entran en accion para el salto se halla rodeada de un aparato muscular, cuyo principal objeto es la estension de los miembros. Unas veces se atan los músculos á las partes situadas superiormente y parecen destinados á mover las que se hallan colocadas por debajo, otras veces á la inversa; pero de todos modos siendo necesariamente recíprocos los efectos de la potencia en las dos palancas que puede mover, podemos prescindir de las disposiciones particulares del aparato muscular, y considerar á los músculos estensores como fuerzas cuyo objeto es aumentar los ángulos de flexion de las palancas entre sí.

183. Los miembros del hombre que contribuyen al salto están bien representados por las líneas AB, BC y CD (fig. 110), denotando la recta DE la direccion del tronco. Para podernos explicar con mas claridad, llamaremos *ángulo de ereccion* al que forma cada una de dichas palancas con la vertical tirada de abajo hácia arriba desde los puntos A, B, C, D; de modo que en la figura indicada tendremos cuatro ángulos de ereccion *a, b, c, d*.

184. Considerando geoméricamente la mutacion que sobrevendrá cuando todos los ángulos de ereccion se reduzcan á cero, esto es, cuando todas las palancas estén en la misma línea vertical, hallaremos que el punto B habrá subido una cantidad igual al seno verso del ángulo *a*, que el punto C habrá subido una cantidad igual al valor del seno verso de *a*, mas el seno verso de *b*, &c. De suerte que si queremos hallar la espresion algebraica del espacio que habrá recorrido el punto E, hallaremos, designando cada palanca que sirve de radio á los ángulos de ereccion por las

letras A, B, C, D, y por e el espacio que se busca, $e = A \text{ sen. vers. } a + B \text{ sen. vers. } b + C \text{ sen. vers. } c + D \text{ sen. vers. } d$ (1)

185. Resulta de esta fórmula, 1.º que para cada palanca, considerada sucesivamente de abajo arriba, el espacio recorrido en línea vertical y por consiguiente la erección, está en razón directa del número de palancas existentes por debajo de ella; 2.º que este espacio está en razón de la longitud de cada una de estas palancas; 3.º que es proporcional á los senos versos de los ángulos de erección. Las dos consecuencias primeras no exigen esplicacion alguna; no así la tercera que merece tratarse detenidamente.

186. En primer lugar creciendo y decreciendo los senos versos, según que crezcan ó decrezcan los ángulos, claro es que mientras mayores sean los ángulos de erección, mayor será el camino recorrido por el punto E. Pero por otra parte los senos versos no crecen y decrecen en la misma razón que los ángulos; por ejemplo, en el caso en cuestión, suponiendo que la palanca AB pase de la situación horizontal á la vertical, el seno verso de este ángulo de 90º será la longitud misma de la palanca, mientras que para una erección de 60º el seno verso será solo la mitad del radio; de suerte que los senos versos que espresan las elevaciones, disminuyen mucho más rápidamente que los ángulos. De aquí se infiere que la suma total de la ascension del punto E, estará en una razón mucho más rápida que la proporcionalidad de los ángulos; y que por ejemplo, para una flexion doble de las palancas entre sí, el espacio recorrido podrá ser más que triple; y que para flexiones muy ligeras de las palancas, el camino andado será estremadamente pequeño.

187. Como última consecuencia de este valor de e en función de los senos versos, diremos que al cerrarse sucesivamente los ángulos de flexion desde 90.º á cero, los espacios corridos por el punto E, para el mismo número de grados de disminucion de estos ángulos, van disminuyendo según la razón misma del decremento de los senos versos.

188. Después de haber establecido la parte geométrica del problema, conviene abandonar las consideraciones puramente lineales, y examinar, en la suposicion de que sean las palancas pesadas, qué especie de movimiento adquirirán estas palancas du-

(1) Pelletan no pone este último término; aunque en verdad su valor es siempre sumamente pequeño.

rante la estension, y cual conservarán despues de la estension completa.

189. En cuanto á la primera palanca AB dirémos, que el punto A debe considerarse como fijo, por estar comprimido contra el suelo por la fuerza de estension que obra en B, por estar sujeto por el rozamiento y cargado con el peso de todo el cuerpo: que de consiguiente todos los puntos de la palanca AB, cualesquiera que sean los impulsos que reciban, han de moverse en arcos de círculo, que por consiguiente cada uno de estos puntos en el movimiento de hallarse en situacion vertical, estará animado con velocidades tangenciales y serán todas horizontales; de suerte que si un obstáculo cualquiera destruyese estas velocidades horizontales, no podia haber en esta palanca pesada ninguna velocidad ascensional. Es tambien evidente que las velocidades tangenciales no pueden concurrir útilmente con ninguna potencia para producir una resultante vertical.

190. Considerando ahora la segunda palanca BC, estamos conformes con Barthez en que en la ereccion simultánea de las dos palancas AB y BC, esta última ejecuta un movimiento de rotacion alrededor de un centro variable, de tal modo que cuando ha llegado á la posicion vertical, su estremidad B se halla animada de cierta velocidad tangencial en un sentido, mientras que su estremidad C tendrá otra velocidad tangencial en sentido contrario. Decimos que estas dos velocidades serian horizontales si el centro de los movimientos hubiese estado fijo; y que de consiguiente no tendria resultante vertical: pero debemos observar, que durante dicho movimiento de rotacion, la estremidad B de esta palanca ha subido un espacio, cuyo valor es $\text{sen. vers. } a$; por cuya causa la masa ponderable de la palanca BC se ha elevado esta cantidad, y conservaria una velocidad ascensional, espresada por este valor, en el caso que un obstáculo cualquiera destruyese las velocidades tangenciales de que estan animados estos diferentes puntos, en el momento en que la palanca es vertical.

191. Raciocinios análogos se hacen respecto á la palanca CD. Pero en la estructura de los miembros inferiores del hombre, las estensiones de las palancas angulares que producen el salto, no pueden pasar de la línea recta por oponerse á ello obstáculos insuperables; de modo que en la estension completa, todas las velocidades tangenciales, que resultan de los movimientos de rotacion, se destruyen necesariamente: de donde debemos inferir que cada masa ponderable que contribuye á producir el salto en el momento

de la estension completa, está animada de una velocidad ascendente que es proporcional á la suma de los senos versos de los ángulos de erecion subyacentes. En el momento de la estension completa, y á pesar de la desigualdad de los espacios corridos, como las diferentes palancas están íntimamente unidas entre sí, es preciso que el sistema tome una velocidad comun, cuyo valor dependerá del número y relacion de las velocidades parciales, y de la relacion que entre si tengan las masas que componen las palancas en que nos ocuparemos ahora mismo.

192. En la accion de saltar el hombre las masas ponderables de las diferentes palancas que están dobladas, van creciendo rápidamente de abajo arriba. La primer palanca es el pie cuya masa es muy pequeña, la segunda la pierna y la tercera el muslo cuyas masas van aumentando; la cuarta es el tronco que sostiene la cabeza y al cual están unidas las extremidades superiores. Esta última reunion de partes representa poco mas ó menos los dos tercios del peso total del cuerpo.

193. Reuniendo estas circunstancias á lo que hemos dicho relativamente á la velocidad, se vé que el pie tiene una velocidad nula y una masa muy pequeña, que la pierna tiene poca velocidad, á causa de lo corto de la primera palanca y de que su masa tampoco es muy considerable; que el muslo cuya masa es mayor que la de la pierna, está ya animado con una velocidad tanto mayor cuanto mayor es la estension de la pierna. En fin es evidente que el tronco y sus apéndices, que es la masa preponderante, tiene la mayor velocidad. Todas estas condiciones son favorables para que en el repartimiento que va á hacerse entre estas masas, se produzca una velocidad comun ascensional; porque en efecto la velocidad del pie es cero, pero su peso es solo una centésima parte del peso del cuerpo, y por consiguiente la necesidad de que participe de la velocidad comun, disminuirá á esta en un centésimo. El tronco y los muslos teniendo casi la misma velocidad, la gran masa de los últimos disminuirá muy poco la velocidad del tronco &c.

194. Se puede hacer el cálculo aproximado de las velocidades y pesos relativos de las diferentes partes del cuerpo de este modo:

Peso del tronco con sus apéndices . . .	100.
Id . . . de los muslos	30.
Id . . . de las piernas	15.
Id . . . de los pies	5.

velocidad del tronco	100.
Id . . . de los muslos	60.
Id . . . de las piernas	30.
Id . . . de los pies	0.

Aplicando la fórmula conocida en matemáticas

$$u = \frac{mv + m'v' + m''v'' + \&}{m + m' + m'' + \&};$$

esto es multiplicando cada masa por su velocidad propia y dividiendo la suma de estos productos por la suma de las masas, se hallará que la velocidad comun de todo el cuerpo es próximamente 81.

195. Poca seria la importancia de estas consideraciones sobre las masas y las velocidades relativas comunicadas á las diferentes partes del cuerpo, para cambiarse luego en una velocidad comun, siempre menor que la del tronco, si no sirvieran para aclarar una porcion de hechos inesplicables hasta aqui; vamos á entrar con respecto á esto en algunos pormenores.

196. Los antiguos acostumbraban á tomar en las manos unas pesas llamadas *halteres*, ó á atárselas en los hombros ó en la cabeza, como un medio de saltar á mayor altura; la razon de esto es que si se añaden 10 libras al peso del tronco, la velocidad comun segun la fórmula llegará á ser 83, en vez de 81; y valiéndose del principio de que las alturas á que se eleva un proyectil son proporcionales al cuadrado de las velocidades de proyeccion, se hallará que la altura del salto se ha aumentado en 0,05; pero si por el contrario se pusiesen las 10 libras en los pies, la velocidad media se reduciría á 76 y la altura del salto se disminuiría en 0,17.

197. Se observa tambien que en el instante en que un hombre ejecuta el salto vertical, separa y eleva rápidamente ambos brazos para bajarlos despues inmediatamente. Este fenómeno bastante complicado es digno de atencion, porque su verdadera teoria es aplicable á todos los casos en que los miembros superiores se mueven con presteza, para ayudar á la locomocion general.

En el momento que precede inmediatamente al salto y cuando los pies tienen aun su punto de apoyo en el suelo, pueden elevarse los brazos rápidamente por los músculos respectivos, sin

que se disminuya en nada la velocidad que ha de adquirir el sistema; pero cuando el cuerpo se ha lanzado, las masas ponderables de los brazos se hallan animadas, primero con la velocidad del tronco y segundo con su velocidad propia de ascension respectivamente al tronco. Sirven de consiguiente para aumentar la velocidad comun, siempre que se fijan de repente al tronco, lo que es producido por la contraccion respectiva de los músculos abatidores; porque si no fuese asi continuarian levantándose los brazos, con mayor velocidad que el tronco, sin que contribuyeran á aumentar la velocidad media.

198. Los *halteres* colocados en la estremidad de palancas largas asidas con las manos, constituian masas accesorias, animadas al principio con una gran velocidad ascensional particular, que aumentaba proporcionalmente la velocidad comun en el momento de fijar los brazos. Para sacar mayor ventaja de los *halteres* será preciso tirarlos cuando se haya dado el impulso, puesto que dejarán de formar parte de la masa del cuerpo, precisamente en el instante en que este peso va á ser causa retardatriz de la velocidad ascensional; y esto es lo que practicaban comunmente los antiguos.

199. Examinando la figura de que nos hemos servido para hallar los elementos del salto vertical, se puede ver que el ángulo de ereccion de la palanca DE es muy pequeño, y que su seno verso es casi nulo. Sucede en efecto que el cuerpo está muy poco inclinado hácia delante en la accion de saltar, y aun se puede negar la utilidad de esta flexion, que apenas aumenta la velocidad ascensional. Sin embargo es absolutamente indispensable para el salto por la razon siguiente.

Hemos dicho que la accion de los estensores era reciproca para las dos palancas que están formando ángulo, y que contribuian á abrir este. De consiguiente si estuviese vertical el tronco en el momento de abrirse el ángulo, que tiene su vértice en la articulacion coxo-femoral, se dirigiria hácia atras y perderia la direccion vertical que le es necesaria. Si estaba anteriormente inclinado, por el contrario se pone vertical por la abertura del ángulo coxo-femoral. Pero no hay necesidad de que esta inclinacion sea muy grande, porque como las velocidades son reciprocas con las masas, el tronco se mueve poco cuando el fémur se mueve mucho.

200. La elasticidad del suelo no es ventajosa para el salto cuando no se dá mas que uno, y aun disminuye la altura de la ascension; pero si tiene un influjo muy favorable cuando se dan

muchos seguidos. En efecto en el momento de la estension de las palancas, la reaccion sobre el suelo es necesariamente igual á la accion sobre la masa ponderable del cuerpo. Esta accion dura hasta que se separa el cuerpo del suelo, y por consiguiente su vuelta á la figura primitiva ó su efecto elástico, llegará siempre demasiado tarde para contribuir al salto; por el contrario el camino recorrido por el suelo elástico contribuirá á disminuir el movimiento ascensional. Pero lo aumenta cuando los saltos son repetidos: porque el cuerpo del hombre ocasiona al caer la flexion del suelo elástico, y al pasar este á su posicion primitiva y luego á la opuesta, puede hacerse otra estension de los miembros y añadir esta velocidad á la que la masa del cuerpo adquiere por sus propias fuerzas. Como vemos en los bailarines de maroma que ayudados con las oscilaciones repetidas de la cuerda, consiguen dar saltos muy altos, sin hacer para ello grandes esfuerzos.

201. *Del salto tangencial.* Si suponemos que todos los miembros inferiores estén en suma flexion, como en la (figure 111), que la direccion del tronco siga la línea DE, y que se aumente de pronto algun tanto la estension de cada ángulo de flexion, veremos que el punto B adquirirá una velocidad tangencial espresada por el arco Bb, que difiere muy poco de su tangente; que ca será la velocidad que adquirirá el punto C y finalmente que el punto D irá á d, con la suma de las tres velocidades tangenciales. Las direcciones de estas velocidades no serán verticales en el caso supuesto, pero se aproximarán bastante á esta direccion, para producir una resultante de alguna intensidad en dicho sentido.

202. La situacion indicada en dicha figura es muy favorable al salto, porque las velocidades son precisamente las que toman las palancas describiendo los arcos, en vez de estar representadas por los senos versos, como sucede en el salto vertical. Pero lo que limita mucho este modo de saltar es que los espacios corridos por las estremidades de las palancas, no pueden llegar á cierta amplitud sin que las velocidades tangenciales se aproximen á la direccion horizontal; en cuya posicion la velocidad tangencial seria vertical. Se concibe en efecto que en todo el tiempo que el punto D tarde en recorrer el arco Dd, recibirá el impulso de una fuerza aceleratriz, de modo que la velocidad en el punto d podrá considerarse como casi proporcional al cuadrado de la amplitud del ángulo.

203. *Del acto de correr.* El mecanismo del acto de correr se compone de los que ya hemos explicado en el de andar y en el

salto. Se diferencia esencialmente el correr del andar, en que en este último nunca deja de estar apoyado el peso del cuerpo en alguno de los miembros, y en el correr hay tiempos en que todo el cuerpo está en el aire, como en el salto.

204. Los movimientos que constituyen el acto de correr son los siguientes: en primer lugar una ligera flexion de los miembros inferiores y aun del tronco; luego se levanta una de las piernas y se dirige hácia delante, como cuando se va á echar un paso, solo que este es mas largo y que los movimientos se ejecutan con mas rapidez. Antes que este miembro descanse en el suelo, se estienden prontamente todas las palancas que constituyen el otro miembro y que estaban antes dobladas, por el mecanismo indicado en el salto; de este modo se dirige el cuerpo hácia delante y se hace corresponder el centro de gravedad del cuerpo, al miembro que estaba por delante, cuyo pie se apoya ahora en el suelo. En cuanto está apoyado, vuelve á dirigirse hácia delante saltando, y echando el peso del cuerpo sobre el otro miembro, que todavia esta en el aire, pero que va á apoyarse en el suelo para recibir el peso del cuerpo.

205. *Movimientos de sustentacion, prepulsion, traccion, constriccion y diduccion.* *Sustentacion.* El objeto que queremos sostener debe colocarse de suerte que su centro de gravedad corresponda á la base de sustentacion; por eso inclinamos nuestro cuerpo hácia delante, cuando el objeto se coloca en la espalda, y hácia atrás si lo sostenemos con los brazos delante del pecho. El aparato que usan los cargadores y que llaman *mullida*, cuyo punto de apoyo principal es la frente, sirve para fijar con fuerza la cabeza al tronco, á lo que tambien contribuye el peso de la carga. Los hombres asi cargados dan pasos pequeños, para pasar pronto el peso del cuerpo y de la carga de un pie á otro.

206. *Prepulsion* es el acto por el cual impelemos un objeto hácia delante; para ello se apoyan los piés ó el dorso en el suelo ó en un cuerpo resistente, y los miembros superiores en el objeto que se desea impulsar. Todas las partes están primero dobladas, asemejándose los miembros inferiores y el tronco á un resorte que está comprimido; pero de repente se estienden, y asi recibe el impulso el objeto, al cual pueden aplicarse ó las manos ó el hombro.

207. La *traccion* es precisamente lo contrario. Para que tenga lugar está el cuerpo estendido, como si fuera un resorte abierto; una de sus estremidades, esto es los pies, se apoyan fuer-

temente en el suelo y la otra extremidad, es decir las manos, agarran lo que se quiere mover. De repente se doblan con fuerza los miembros, y como los pies están fijos, traen consigo las manos la masa que se quería mover. Así en este movimiento, como en el anterior, que es su inverso, hay riesgo de caerse si el cuerpo cede demasiado pronto; para impedirlo se dirige una de las piernas en el sentido en que es inminente la caída, hacia adelante en la propulsión y hacia atrás en la tracción: lo que es aun mas necesario si se ha inclinado el cuerpo hacia donde se quiere hacer mover la masa, como generalmente se hace para añadir el peso de nuestro cuerpo á la fuerza muscular con que obramos.

Constricción es cuando teniendo un cuerpo entre el tronco y los miembros, doblamos las articulaciones y lo apretamos mas ó menos.

La diducción ó el acto de separar dos cosas, se efectúa haciendo penetrar la extremidad de los miembros superiores aproximados, dentro del objeto en un intervalo de las partes que lo forman, y luego apartando con fuerza dichos miembros, se separan al mismo tiempo las dos partes en que se apoyan.

LECCION XV.

Nociones de hidrostática.

Ya dijimos (n.º 37) que la hidrostática era la parte de la mecánica que se ocupaba del equilibrio de los fluidos: trataremos primero de los líquidos y después de los gases.

206. *Equilibrio de los líquidos.* Los líquidos, como veremos en adelante, son algo compresibles; pero como por una parte lo son sumamente poco, y por otra complicaría mucho el considerarlos así, se suponen incompresibles para hallar las leyes de equilibrio. También se les considera privados de viscosidad y de consiguiente como si las moléculas tuviesen absoluta libertad de moverse en todas direcciones.

207. Las propiedades de los líquidos dependen 1.º de la gravedad, que obra sobre toda la masa de ellos, como si fueran cuerpos sólidos: 2.º de la atracción molecular, que procura aproximar sus partículas: 3.º de la acción del calor, que tiende á separarlas: mas como la atracción molecular y el calor obran en sentido inverso, estas dos fuerzas pueden considerarse como una sola, igual á la diferencia de ellas.

208. Toda la hidrostática está fundada en el principio que se llama *de igualdad de presión* que es el siguiente. Si suponemos que en la vasija *abcd* (figura 112) estuviese contenido hasta

ab un líquido sin peso, y que en la parte superior del líquido por ejemplo, se pusiese un émbolo, que ajustándose perfectamente á la vasija, permitiese ponerle encima una pesa cualquiera, sin que se introdujese el líquido por entre el émbolo y las paredes del vaso; la presión producida por el peso, se transmitiría sin perder nada de su fuerza hasta el fondo del líquido. Si el fondo tiene la misma área que el nivel y suponemos que la pesa y el peso del émbolo equivalen á ocho arrobas, la mitad del fondo experimentará una presión de cuatro arrobas; la cuarta parte del fondo, una de dos arrobas &c. Si en vez del fondo consideramos la pared *bd*, sucederá lo mismo; esto es que una extensión igual á *ab* tendrá la presión de ocho arrobas, una extensión igual á la mitad, experimentará una presión de cuatro arrobas &c. Otro tanto puede decirse de la porción del líquido que está inmediatamente por debajo del émbolo. En una palabra la presión es igual en cada punto del líquido y proporcional á la extensión de superficie que se considera.

209. El peso del líquido modifica algo este principio, pues es claro que las partes cercanas al fondo, que sostienen todas las columnas de líquido, estarán más comprimidas que las próximas al nivel, y mucho más que las del nivel mismo.

210. El principio de igualdad de presión en los líquidos pesados, puede entenderse de esta suerte. Si concebimos un vaso *abcdfg* (figura 113) lleno de agua hasta *ab*, este líquido se saldría por las varias aberturas *c, d, f, g*, que tiene el vaso, á no cerrarlas con émbolos, que hagan oficio de tapones, los que deberan estar sostenidos por varias fuerzas de diversa magnitud y que obren en el sentido señalado en la figura por las flechas. Si suponemos que el área de estas aberturas sea igual en todas y equivalente á la octava parte de *ab*, y colocamos ocho arrobas encima del nivel, valiéndonos de un émbolo como en la figura anterior, habrá necesidad para el equilibrio de una fuerza equivalente á una arroba en cada abertura.

211. *Presión de arriba abajo.* Esta presión no depende de la cantidad de líquido, sino del tamaño de su superficie inferior y de la distancia de dicha superficie al nivel. Esto es, que si tenemos tres vasijas A, B, C, (figura 114) de distinta figura y capacidad, pero cuyos fondos *ab, cd, fg* sean iguales, y que las llenemos de un líquido cualquiera, de suerte que las distancias *hk, lm, nr* del fondo al nivel sean iguales, las presiones sobre dichos fondos también lo serán, aun cuando en A haya mucha más cantidad de líquido que en B, y en esta más que en C. Como esta

proposicion parece contraria á lo que la razon nos dicta á primera vista, suele llamarse *paradoja de hidrostática*. Para probarlo con esperiencias tiene el gabinete un aparato compuesto de un cajon A B (fig. 115), que en su parte media presenta un cilindro hueco *s*, soldado á la caja por la parte inferior, y que tiene una rosca en la superior, donde se enroscan las tres vasijas de cristal M, N, R, que presentan aros metálicos con roscas para este objeto. Un émbolo *t* con su varilla *m*, entra con rozamiento en el cilindro *s*, de tal suerte que impide el paso del agua entre las partes laterales del émbolo y las paredes interiores del cilindro: la varilla termina en un gancho donde se colocan dos cordones. De las partes laterales de la caja se levantan dos columnas de madera *a, b* que sostienen un travesaño *zx*, del cual salen otras dos columnitas *u, v*, que en la parte superior presentan dos palancas metálicas *de*; una de las estremidades de dichas palancas tiene un semicírculo *pf, qg* con una muesca, por donde pasan los cordones que terminaban la varilla *m*: dichos cordones se atan en unas aberturas que hay en *p* y *q*. Las otras estremidades de las palancas acaban en ganchos á donde se colocan pesas. Hé aqui el modo de hacer el experimento: puesto el émbolo *t* en la parte inferior del cilindro *s* y colocada en dicho cilindro una de las vasijas, la M por ejemplo, se llena de agua hasta cierta altura y despues se ponen pesas en los ganchos *h, k*, hasta que se vea que empieza á levantarse el émbolo *t*. Hecho esto si repetimos la esperiencia, colocando ahora cualquiera de las otras dos vasijas, y tenemos cuidado de llenarla con agua exactamente hasta la misma altura, se observará que en todos casos se necesitan las mismas pesas para empezar á levantar el émbolo; luego la presion del agua sobre él es siempre la misma, aun cuando la cavidad de las vasijas es muy distinta.

212. Hay en el gabinete medios para hacer de otra suerte el experimento: *ab* (fig. 116) es una balanza, que en vez de platillo tiene en *b* un vaso con agua hasta *cd*. Se equilibra y despues se introduce dentro del agua un cilindro de madera *r*, que está fijo á un pie *s*, y que de consiguiente por sí no debia aumentar el peso; mas como al introducirse el cilindro ha subido el nivel, se observa que se rinde la balanza del lado del vaso, tanto mas cuanto mayor sea la cantidad que se introduzca. Si fuese el cilindro hueco y con fondo, podria llenarse de balas de plomo ú otra cualquier sustancia y se veria que esto no influa nada en aumentar el peso del agua. Es necesario observar que no quiere decir la paradoja de

hidrostática que si tuviéramos vasijas de igual fondo, pero de diversas capacidades, y que se llenasen de agua hasta la misma altura, todas pesarian lo mismo; pues esto es un error en que suelen incurrir los principiantes.

213. La proposición que acabamos de demostrar tiene muchas aplicaciones importantes; explicaremos primero lo que se llama *fuella hidrostática*. Consta (fig. 117) de dos círculos de madera *a, b*, unidos entre sí por un cuero cilíndrico que se adapta perfectamente á dichos círculos para que el agua no pueda salirse; el peso del círculo *a* arruga el cuero, de modo que casi está tocando el superior con el inferior antes de hacer la esperiencia: en *C* hay una abertura á la que se une un tubo metálico *cd*, de mas de una vara de longitud, que termina en un embudo. Echando agua por dicho tubo, se levanta el círculo *a* aunque tenga encima pesas muy grandes, porque hay una presión de abajo arriba, de que hablaremos pronto, equivalente segun la paradoja de hidrostática, no al peso del líquido empleado, sino al de una columna de dicho líquido cuya base fuera el círculo *a* y su altura la *cd*.

214. La teoría de la *prensa hidráulica* está fundada en lo mismo que el *fuella*; pues si suponemos que el cuerpo que se quiere aprensar se coloca entre el círculo *a* de la figura 117, que ahora no debe tener pesas, y un plano resistente puesto encima, al echar el agua comprimirá el círculo *a* al cuerpo contra el plano, y dicha presión será tanto mas considerable cuanto mas alto sea el tubo. En el dia se ha modificado esta máquina y se emplea una bomba para efectuar la compresión.

215. *El aparato de Ferguson* (fig. 118) consta de un cajon que contiene una vegiga *c* unida á un tubo *de*; una tabla movable *mn* se apoya contra la vegiga y encima se colocan pesas, las cuales se levantan cuando se echa agua por el tubo en lo interior de la vegiga.

216. *Presión de abajo arriba*. Se denomina en física dicha presión *empuje del fluido* y se demuestra experimentalmente su existencia tomando una vasija de vidrio *abd* (fig. 119) abierta por ambas estremidades y que tiene muy liso el borde de la inferior, en donde se adapta un círculo de metal *c*, que en el medio de la cara superior tiene un gancho á que se ata un cordón, que entrando en la vasija sale por la estremidad *d*. Tirando del cordón, el círculo *c* cerrará por abajo completamente la vasija, sirviéndole de fondo. Si se introduce así en un vaso que contenga cualquier líquido se observará que puede aflojarse el cordón sin

caerse el fondo movable, porque lo sostiene el empuje del líquido. El mismo aparato suele servir tambien para medir esta fuerza, pues si empezamos á echar líquido en lo interior de la vasija, observaremos que se desprende el fondo cuando el nivel interior se aproxima mucho al exterior; y si no fuera pesado el fondo no se caería hasta que dichos niveles fueran iguales; luego la presión de abajo arriba tiene por medida una columna de líquido cuya base es el fondo movable, y su altura la distancia que hay entre dicho fondo y el nivel.

217. *Presión lateral.* Para probar la presión lateral de los líquidos tómese un frasco A (fig. 120) lleno de agua, que tenga un orificio d , con un tapon fácil de quitar y cuélguese el frasco de un punto fijo f por medio de un hilo. Cuando esté en equilibrio se quedará en una posición vertical; mas si quitamos el tapon d , se verá que todo el aparato toma la posición $f A'$. La razón es porque una molécula de agua m por ejemplo, situada en lo interior del frasco y próxima á la abertura d , tiene dos presiones iguales y contrarias, señaladas en la figura con las letras r y s . Cuando se destapa el orificio, la r hace salir á la molécula, y queda la otra fuerza s , la cual va á obrar contra el punto z del frasco y le obliga á tomar la posición A' indicada. Dicha posición está exagerada para que se perciba mejor cual es el movimiento del frasco.

218. En la presión lateral se funda el aparato conocido en física con el nombre de *torniquete hidráulico*. Una vasija de vidrio A (figura 121) abierta por su parte superior y pendiente de un hilo bc , presenta inferiormente un tubo de , que comunica con su cavidad y está terminado en dos porciones ef , dg , encorvadas en sentido contrario y abiertas en f y g ; si tapando dichas aberturas se llena de agua la vasija, se observará que empieza á dar vueltas con movimientos de rotación en sentido contrario al chorro del líquido. Considerando dos moléculas m , n próximas á las aberturas respectivas, y aplicando el mismo raciocinio que en el párrafo anterior, veremos que las dos presiones ó fuerzas dirigidas en el sentido de las flechas, que van á obrar en lo interior de las paredes r y s , deben ocasionar dicho movimiento de rotación, por ser dos fuerzas paralelas, iguales y contrarias (n.º 47).

219. Estas diversas presiones pueden tambien demostrarse introduciendo en los líquidos varios tubos, como representa la figura 122; tapando la estremidad inferior de a é introduciéndolo verticalmente, si luego se destapa, subirá el agua dentro del tubo

en virtud del empuje del fluido, hasta el nivel exterior: si hacemos con *b* la misma operacion, cerrando la estremidad *m*, y sumergiendo todo el tubo hasta *r*, observaremos que se llena, despues de destapada la parte *mt*, en virtud de la presion de arriba abajo. La lateral se demuestra tambien facilísimamente mediante el tubo *c*.

220. Estas presiones se observan muy bien introduciendo en un líquido una vejiga llena tambien de un líquido coloreado y cuyo cuello se adapte á un tubo de vidrio, pues en el momento se observa que en virtud de dichas presiones sube el líquido contenido dentro de la vejiga en lo interior del tubo.

221. Cuando los líquidos están en equilibrio cada molécula experimenta por todas partes una infinidad de presiones, de dos en dos iguales entre sí y contrarias; de esto y de transmitirse la presion exterior con igualdad en todas direcciones depende el que un cuerpo frágil pueda estar introducido en un líquido sin romperse, aun cuando se cargue el nivel con gran peso. Se hace la experiencia colocando un huevo dentro de una vejiga que contenga agua, y poniendo esta dentro de dos hemisferios de metal sobre uno de los cuales se coloca una gran pesa; el huevo saldrá ileso en dicho experimento.

222. *Vasos comunicantes.* Llámense así dos vasijas que comunican entre si por medio de un tubo; tales son las *a*, *b*; el tubo es *cd* (figura 123). Dos líquidos de la misma densidad, esto es que tengan el mismo peso siendo iguales sus volúmenes, deben tener sus niveles en los vasos comunicantes en el mismo plano horizontal cuando estén en equilibrio, aunque varíe mucho la capacidad de los vasos. Fácil es hacer la experiencia con el aparato indicado y comprobar lo que acabamos de decir; pero puede demostrarse tambien del modo siguiente. Una molécula *m* colocada en el tubo *cd*, deberá tener presiones iguales y contrarias si está en equilibrio como suponemos; luego tendrá dos, *r* y *s* cuyas direcciones serán las marcadas por las flechas: la primera ó la presion *r* debe ser igual á la base *m* multiplicada por su distancia al nivel *ot*. La presion *s* será igual á la base *m* multiplicada por la distancia al nivel *o't'*; luego $m \cdot ot = m \cdot o't'$ y de consiguiente $ot = o't'$ ó los niveles en el mismo plano horizontal.

223. *Nivel de aire* es un aparato que está fundado en la propiedad que acabamos de esponer de los vasos comunicantes, y que sirve para conocer cuando está un plano en posicion horizontal. Consiste en un tubo ligeramente encorvado *abc* (fig. 124) casi lleno de un líquido con algun color, cerrado herméticamente

por ambas estremidades. En la figura superior se ha forzado de intento la curvatura para que se perciba mejor; en *b*, se ha dejado á propósito una gurguja de aire, la cual varia de posicion segun se mueve el tubo, pero cuyas estremidades *m*, *n* corresponden á otras dos señales hechas en el tubo mismo cuando la lámina *fg* en que descansa el instrumento está en posicion horizontal: dicha lámina está unida á un cilindro metálico que envuelve al tubo dejando solo descubierta la parte comprendida entre las señales.

224. *Propiedades de los sólidos sumergidos en los fluidos. Principio de Arquímedes. Un cuerpo sumergido en un fluido pierde de su peso una cantidad igual al del volúmen del fluido desalojado.* Esta propiedad notable, descubierta por Arquímedes, y por lo cual lleva su nombre, se puede demostrar con la esperiencia y con el racionio. Para lo primero se hace uso de una balanza particular llamada *de hidrostática*, compuesta de una mesa de metal *ab* (fig. 125) con tornillos para situarla horizontalmente, sirviendo para conocer si lo está el hilo á plomo *bc*. En medio de la meseta se levanta una columna metálica, que tiene en la parte superior y en el lado opuesto al representado en la figura una llave, dando vueltas á la cual, sube ó baja la parte *d* que está aplanada, guarnecida de dientes por sus bordes, y que se introduce en lo interior de la columna; el trinquete *r* sirve para impedir que se caiga la pieza *d* cuando está levantada y se introduzca otra vez dentro de la columna. En la parte superior de *d* hay un brazo metálico *m*, *n*, en una de cuyas estremidades descansa uno de los brazos de la balanza cuando no está en equilibrio: la parte correspondiente al astil y á los platillos es semejante á las balanzas comunes de Fortin, con la única diferencia de terminar los platillos en unos ganchos *u*, *z*; de las partes laterales de la columna salen dos ramas *g*, *h*, sobre cuya parte superior descansa la balanza cuando no se hace uso de ella; para lo cual hay que apoyar en la parte inferior del trinquete *r*, á fin de desengancharlo de los dientes y destorcer la llave de que hemos hablado. Para probar con este aparato el principio de Arquímedes se pone en el gancho de uno de los platillos un cilindro hueco de cobre *f*, y se cuelga de un gancho que este presenta en su parte inferior, otro macizo *k*, cuyo tamaño es exactamente igual á la capacidad del cilindro hueco. Despues de haber equilibrado la balanza, se introduce el cilindro macizo en un líquido y al momento se observa que se pierde el equilibrio, pesando menos el cuerpo introducido; pero si se llena

de agua el cilindro hueco, se notará que el equilibrio se restablece.

225. Pruébese también matemáticamente porque si suponemos que el cuerpo que se sumerge en el líquido tiene la forma de un cubo geométrico, cuyas caras superior é inferior son horizontales, como ah (figura 126), y que el nivel del líquido sea kr ; las caras $bdgh$ y $acfm$ tendrán presiones horizontales en todos sus puntos, cuyas direcciones serán las de las flechas n, o ; no todas las partes de dichas caras tendrán la misma presión, por estar desigualmente distantes del nivel kr , pero si elegimos una cualquiera de la cara $bdgh$ como i , habrá otra i' simétricamente colocada en $acfm$, y las distancias de estos puntos al nivel $ip, i'p'$ serán iguales; luego también lo serán las intensidades de las presiones, puesto que estas se miden por el peso de una columna de líquido cuya base es la superficie que se considera y la altura la distancia al nivel; y que aquí los factores del producto son iguales para ambos casos. Estas dos fuerzas iguales, que siguen la misma dirección y que están en sentido contrario se destruyen, y lo mismo puede decirse con respecto á todos los puntos de las caras $abgf$ y $cdhm$.

Considerémos ahora las $abcd$ y $fgmh$. Todos los puntos de la primera tienen la misma presión, porque todos se hallan á la misma distancia del nivel, y lo mismo sucede con los de la segunda. La presión sobre la primera es vertical y dirigida en el sentido de la flecha q ; la de la segunda es también vertical, pero en sentido contrario como la flecha s . En cuanto á las intensidades, la de la primera es igual al peso de una columna de líquido cuya base fuese $abcd$ y su altura bt ; y la de la segunda al de otra columna de base $fgmh$ y de altura gt . Como estas fuerzas desiguales tienen la misma dirección y sentido contrario, la resultante será igual á la diferencia de ellas y obrará en el sentido de la mayor, ó de la flecha s , esto es, hácia arriba. Dicha diferencia es igual á $fgmh \cdot gt - abcd \cdot bt$; y como $abcd = fgmh$, por ser caras de un cubo geométrico, se convertirá esta expresión en $abcd (gt - bt)$, ó en esta $abcd \cdot bg$. Pero $abcd$ es la base y bg la altura del cubo, luego la resultante está representada por un volumen de líquido igual al del cuerpo; y como obra hácia arriba, en dirección contraria á la gravedad, perderá el cuerpo de su peso cuando se sumerge dentro de un fluido una parte igual al peso del volumen del fluido desalojado, que era lo que se quería demostrar.

226. *Cuerpos flotantes.* Si en vez de estar sumergido el cuerpo, flotase en el líquido como la madera en agua, siempre una porción estará dentro del líquido y desalojará una cantidad exactamente igual al peso del cuerpo en el aire. En una palabra el principio de Arquímedes es aplicable también á este caso. Para demostrarlo nos valdrémos del aparato de la figura 127, compuesto de una bomba de cristal a abierta por arriba y que está unida por la parte inferior á un mango bc : de la parte lateral inferior de dicha bomba sale un conducto delgado rs , que comunica con su cavidad y se encorva por la parte s : una llave t , que sirve para abrir ó cerrar dicha comunicación, es movida por otro mango

fg, que con dos anillos está unido à *bc*: se llena la bomba de un liquido hasta cierta señal *m* marcada en el cristal; y se introduce en el liquido un cuerpo tal como una bola de cera, de corcho &c. de peso conocido. Al momento se verá que sube el nivel; mas si destorcemos la llave, á fin de dejar salir lo que fuese necesario para que vuelva el liquido al mismo nivel que antes, y recogemos el liquido que ha salido, veremos que su peso es exactamente igual al del cuerpo sólido.

227. Pesando el cuerpo del hombre un poco mas que igual volúmen de agua, debe sumergirse en ella, y siendo ademas la cabeza y el tronco las partes que tienen mas peso, aun cuando pudiera flotar en el agua, no podria nunca sostenerse en pie por ser este un equilibrio instantáneo, y el estable seria estando el cuerpo horizontal. Sin embargo logramos vencer todos estos inconvenientes y mantenernos derechos en el agua por el arte de nadar, que consiste esencialmente en dar al cuerpo la mayor superficie posible, y en hallar un punto de apoyo en el agua aunque este liquido no sea muy propio para eso.

El modo de nadar del hombre puede compararse al salto; para ello emplea los cuatro miembros, pero hay una especie de antagonismo en la accion de los superiores é inferiores. Estando estendidos los primeros y unidos delante de la cabeza, se contraen en seguida los segundos y despues se estienden rápidamente como para saltar sobre la tierra. Asi chocan fuertemente y dirigen el agua hácia atras, y cede á este impulso, puesto que se separan las olas; pero no antes que una parte del movimiento haya ido á refluir en el cuerpo y lo dirija hácia adelante. En seguida se aproximan los miembros inferiores y se unen entre sí, al paso que los superiores se separan y se llevan á los lados del cuerpo, describiendo un arco de círculo; con este movimiento vuelve el agua á servir de punto de apoyo, para que el cuerpo continúe moviéndose hácia delante. Asi se suceden los movimientos de los miembros superiores é inferiores, teniendo siempre la cabeza fuera del agua á fin de respirar.

228. *Equilibrio de los gases. Los gases transmiten con igualdad la presion en todos sentidos.* Para probarlo se usa del aparato representado en la figura 128: una vasija de vidrio *a*, cuya boca está hácia abajo, tiene una porcion de tubos encorvados *b, c, d, f*, que comunican con la cavidad de la vasija y que estan colocados en alturas diversas: en dichos tubos se echa agua ó mercurio, teniendo cuidado de que no llegue á la parte encorvada mas cercana

á la vasija. Hecho esto si se introduce en agua la boca del vaso, el aire contenido dentro se comprimirá; pero en todas partes lo estará igualmente, porque vemos que sube una misma cantidad el líquido en cada uno de los tubos.

229. *Los gases comprimen las paredes de las vasijas que los contienen.* En efecto colocando una vejiga medio llena de aire, perfectamente cerrada, dentro de la campana de la máquina neumática, se verá que á proporción que se vá haciendo el vacío, se vá estirando la vejiga que estaba arrugada, hasta quedar completamente llena, lo cual no hubiera podido suceder sino ózagrán de la propiedad indicada. Al principiar la esperiencia cuando la vejiga estaba á medio llenar la presión interior era igual á la exterior; mas disminuyéndose esta, queda preponderante la primera.

230. *La fuerza elástica de un gas en cualquier punto es igual á la presión que experimenta en dicho punto.* La vasija cónica de vidrio *a* representada en la figura 129 sirve para comprobar esta proposición: en su base angosta se ata un pergamino muy delgado, sujetándolo con un hilo á un reborde que presenta. Apesar de tener ahora una gran presión por la parte superior, cual es el peso de todo el aire contenido en una columna, cuya base es el pergamino y su altura algunas leguas, como esplicarèmos mas adelante; sin embargo el aire contenido dentro, en virtud de su fuerza elástica, equilibra á dicha fuerza, y por eso está el pergamino horizontal: mas en el momento en que se hace el vacío, poniendo el aparato sobre la platina de la máquina neumática, se hunde el pergamino; y si fuese muy delgado se rompe con estruendo.

LECCION XVI.

Sigue la hidrostática.

231. *Densidades.* Llámase *densidad* la relacion que hay entre la masa ó peso de un cuerpo y su volúmen: así si tenemos dos cuerpos que, con volúmenes iguales el uno pese doble que el otro, diremos que el primero es doble mas denso que el segundo, ó lo que es lo mismo que á volúmenes iguales las densidades de dos cuerpos son entre sí como sus pesos. Para formarnos idea de la densidad de un cuerpo es indispensable compararlo con la de otro tomando esta última por unidad. En los cuerpos sólidos y líquidos se toma por unidad la del agua destilada á cuatro grados del termómetro centígrado; en los gases el aire atmosférico á cero grados. Cuando tratemos de la teoria del calor veremos el porqué se señalan estos grados, así como indicaremos tambien en sus respectivos lugares las correcciones que deben hacerse á los métodos que vamos á explicar para hallar las densidades relativas de los cuerpos. Estas densidades relativas, que tambien se llaman *gravidades y pesos específicos*, se pueden representar con números, cuya verdadera significacion se deducirá fácilmente de lo que acabamos de indicar: así cuando se dice que la gravedad específica del mercurio es 13, quiere decir que si tuviésemos dos vasijas de igual capacidad, una llena de mercurio y otra de agua destilada,

la cantidad de mercurio pesaria 13 veces mas que la del agua.

232. *Densidades de los cuerpos sólidos.* Hay dos métodos de hallarlas; el primero está fundado en el principio de Arquímedes. Supongamos que el cuerpo cuya densidad quiero averiguar sea un pedazo de marmol: peso primero dicho pedazo en el aire y sea 6 onzas dicho peso; despues, valiéndome de una balanza de hidrostática, hallo cual es su peso en agua destilada á la temperatura de cuatro grados, y suponiendo que pese tres onzas y media, observo que ha perdido el cuerpo de su peso dos onzas y media, ó lo que es lo mismo, este es el peso de un volúmen de agua igual al del cuerpo: Tenémos pues aqui dos volúmenes iguales, uno de marmol y otro de agua, luego sus densidades estarán entre sí como sus pesos y tendrémos que la densidad del agua, es á la densidad del marmol, como el peso del agua ó dos y medio, es al peso del marmol ó seis; y como la densidad del agua se toma por unidad.

$$1: \text{densidad del marmol}:: 2\frac{1}{2}: 6;$$

$$\text{de donde densidad del marmol} = \frac{6}{2\frac{1}{2}} = \frac{12}{5} = 2\frac{2}{5}.$$

Vemos pues que para hallar la densidad de un sólido por este método hay que dividir el peso del cuerpo en el aire, por la pérdida de su peso en el agua.

233. *El segundo método para hallar la densidad de los sólidos* se emplea principalmente para aquellos cuerpos que estan reducidos á polvos ó partes muy diminutas. Supongamos para explicarnos con mas claridad que se trate de averiguar la gravedad específica de la silice ó arena comun: para hacer la esperiencia, peso primero una porcion de esta sustancia y sean tres onzas por ejemplo. Peso tambien un frasco completamente lleno de agua destilada y á cuatro grados, con una lámina de cristal adaptada á la boca que le sirva de tapa, cuyo peso supongo que sea ocho onzas; introduzco ahora la arena dentro del frasco; claro es que saldrá una porcion de agua á causa de la impenetrabilidad: pongo de nuevo sobre la boca la lámina de cristal y hallo cuanto pesa, sean nueve onzas y media este nuevo peso. Ahora bien sino hubiese salido agua alguna, este peso debia haber sido de once onzas, suma de las tres de arena y las ocho del frasco y del agua;

luego la diferencia de once á nueve y media onzas, ó lo que es lo mismo una y media onza, es el peso del agua desalojada, cuyo volumen es igual al de la arena. Tenemos pues dos volúmenes iguales, cuyas densidades estarán entre si como sus pesos; con lo que formaremos la siguiente proporcion, la densidad del agua es á la densidad de la arena, como uno y medio es á tres ó

$1 : d :: 1 \frac{1}{2} : 3$ de donde $d = \frac{3}{1 \frac{1}{2}} = 2$; luego dos es el peso específico de la arena.

234. En general sea P el peso del cuerpo, p el peso del frasco lleno de agua, p' el del frasco con agua y el cuerpo introducido en él; $P+p-p'$ será el peso del agua desalojada al echar el cuerpo dentro del frasco, y tendremos

$$1 : d :: P+p-p' : P.$$

de donde resulta que

$$d = \frac{P}{P+p-p'}$$

235. *Densidades de los líquidos.* Hay tres métodos para hallar las densidades de los líquidos, que describirémos sucesivamente.

Primer método. Pésese un frasco vacío, y una lámina de cristal que le sirva de tapa, llénese de agua destilada á cuatro grados centígrados y vuélvase á pesar con su tapa; restando entre sí estos dos pesos, hallarémos cuanto pesa la cantidad de agua contenida en el frasco: váciase este despues y llenándolo del líquido cuya densidad queremos averiguar hasta que rebose, póngasele encima la lámina de cristal, secando bien las paredes del frasco, que pudieran estar humedecidas con el líquido derramado y que aumentarían el peso; y repitiendo la misma operacion que hicimos para averiguar el peso del agua, tendrémos el del líquido. Comparando ahora este peso con el del agua, como son iguales los volúmenes de los dos líquidos, se hallará fácilmente el peso específico que buscábamos. Por ejemplo se desea hallar la gravedad específica del ácido sulfúrico; sean ocho onzas el peso del frasco lleno de agua destilada y tres onzas el del frasco vacío con la tapa de cristal, cinco onzas será el peso del agua destilada; sean trece onzas el peso del frasco lleno de ácido sulfúrico: restando tres

enzas correspondientes al frasco vacío, quedan diez onzas, que es el peso del ácido sulfúrico contenido en el frasco. Para hallar el peso específico formaremos la proporción siguiente, densidad del agua, que tomo por unidad, es á la densidad del ácido sulfúrico, como cinco es á diez; ó lo que es lo mismo $1: d:: 5: 10:$

10

luego la densidad del ácido sulfúrico es igual á $\frac{10}{5}$ ó á 2.

5

Segundo método. Está fundado en el principio de Arquímedes. Elijase un cuerpo sólido cualquiera, pero de mayor densidad que el agua y el líquido cuyo peso específico queremos averiguar, á fin de que pueda sumergirse en ambos. Cuélguese con una seda ó una crin de uno de los platillos de la balanza de hidrostática, y hállese cuanto pierde de peso sumergido en agua destilada á cuatro grados centígrados, y cuanto en el líquido que estamos considerando. Estas pérdidas son los pesos de dos volúmenes iguales, uno de agua y otro de dicho líquido; luego comparándolos hallaremos el peso específico pedido: por ejemplo si pesado el cuerpo sólido en el aire hallamos que tiene ocho onzas; que introducido en agua se reduce su peso á cinco onzas; y á dos cuando se sumerge en ácido sulfúrico; habrá perdido el cuerpo de su peso tres onzas en el primer caso y seis en el segundo: luego se podrá formar la proporción $1: d:: 3: 6;$ y de consi-

6

guiente la densidad del ácido sulfúrico será igual á $\frac{6}{3} = 2.$

3

Tercer método. Está fundado en el principio de que en vasos comunicantes las alturas de los líquidos están en razón inversa de sus densidades. Para probar este principio hay el aparato de la figura 130, compuesto de una meseta horizontal a , con una tabla vertical cd , que se levanta de su parte media; en dicha tabla está colocado un tubo en forma de u, con sus ramas verticales, y además unas escalas próximas á los tubos, cuyas divisiones cero corresponden á la misma línea horizontal. Se echa mercurio en lo interior del tubo hasta que llene la parte ngs ; y dos líquidos de diversa densidad, como por ejemplo agua y alcohol, cada una en su respectiva rama. Echada el agua por ejemplo en la mn , baja el nivel del mercurio en dicho lado y sube en el opuesto; y cuando se ha echado alcohol por la rs , hasta que baje el nivel del mercurio otra vez al cero, se notará que las dos columnas de agua y de alcohol son desiguales y están en razón inversa de sus densidades;

esto es que si la del agua ocupa ocho divisiones de la escala, la del alcohol ocupará diez.

Ahora por la inversa si no conociéramos la densidad del alcohol, por ejemplo, sabiendo cual es la division de la escala á que ha llegado para equilibrar la otra de agua y poner en una misma linea horizontal los dos niveles del mercurio, podríamos hallar fácilmente dicha densidad, estableciendo la proporcion siguiente; la densidad del agua, que se toma por unidad, es á la densidad del alcohol, como la longitud de la columna de alcohol, es á la longitud de la columna de agua.

236. *Densidades de los gases.* Las densidades ó pesos específicos de los gases se hallan de un modo análogo al primer método de los líquidos (n.º 235), con la diferencia de que la vasija ha de ser mucho mayor, y de que es indispensable secar los gases antes de pesarlos. Para la experiencia nos servimos de un balon grande A (figura 131) que tiene en su cuello una armadura de metal con una llave, terminada por su estremidad libre en una rosca b para adaptarse á la máquina neumática. Se hace primeramente el vacío y torciendo la llave y destornillando el balon de la máquina neumática, se halla cual es el peso de aquél. Para introducir ahora aire atmosférico á cero grados seco, es indispensable que comunique el cuello del balon con un tubo D que contenga cloruro de calcio, el cual tiene la propiedad de quitarle la humedad: si ahora abrimos la llave C, el aire exterior pasará por lo interior del tubo D, se secará al atrevesar el cloruro, y se precipitará en lo interior del balon: separado este del tubo se pesa de nuevo, y restando de este peso el anterior, tendremos el del aire contenido en el balon. Hay que hallar ahora el peso del gas cuya gravedad específica queremos averiguar; para lo cual se hace de nuevo el vacío, se cierra la llave y se coloca como antes con respecto al tubo: este ha debido estar comunicando de antemano con una campana en que esté contenido el gas y sin comunicacion con el aire atmosférico. Al abrir la llave y hacer entrar el gas, atravesando el cloruro, hay que atender tambien á que la presión sea la misma, de lo cual hablaremos en adelante. Introducido el gas con estas precauciones y cerrando la llave, se separa del tubo, se pesa y restando el peso del balon vacío, se averigua el del gas contenido en él. Ahora no queda mas que formar la proporcion siguiente: la densidad del aire atmosférico á cero grados, que tomo por unidad es á la densidad del gas, como el peso del volumen de aire contenido en el balon, es al peso del mismo volumen del gas.

237. Además de las correcciones relativas á la temperatura, á la presión y á no hacer las pesadas en el vacío, de que tenemos que hablar en adelante por no haber explicado todavía las teorías en que se fundan, hay que hacer las siguientes observaciones con respecto á la densidad de los cuerpos. Aquellos que son muy porosos y que se empapan fácilmente en los líquidos tienen dos especies de densidades, una antes de empaparse y otra después: la primera puede hallarse cubriéndolos con una ligera capa de cera, que impida la introducción del líquido entre sus poros. Hay cuerpos que se disuelven en agua, como la sal común por ejemplo, y en vez de hallar entonces la densidad respecto á este líquido, debe compararse con la de otro en que no se disuelva como el aceite, el mercurio &c. Es fácil después por el cálculo transformar el peso específico hallado relativamente á estos fluidos, en lo que ha de ser respecto al agua. Finalmente dadas las gravedades específicas de los cuerpos de que se compone una mezcla y las proporciones en que se hallan es fácil averiguar el peso específico del compuesto.

238. Los métodos explicados son indudablemente los más exactos para hallar las densidades relativas de los cuerpos, pero como muchas veces no es necesaria tanta exactitud y lo que se desea es un medio de hallar prontamente la densidad de un cuerpo, ó de saber si un líquido es más ó menos denso que otro, basta para ello los instrumentos conocidos con el nombre de *areómetros*. Los hay de dos especies unos que se llaman de *volúmen constante*, porque siempre es una misma la porción del instrumento que debe introducirse en líquido, otros se denominan de *volúmen variable* porque no es necesaria esta condición.

239. *Areómetros de volúmen constante.* Explicarémos uno de ellos sumamente ingenioso llamado *gravímetro de Nicholson*. Consta de un cilindro hueco de latón ó de cristal *a* (figura 132), cerrado por ambas bases: del centro *c* de la superior se levanta perpendicularmente una varilla, que tiene en su parte media una señal *m* y que termina superiormente en una copa *d*. Del centro de la base inferior sale un gancho *n*, de donde cuelga un cubo *r*, lastrado á fin de que cuando se introduzca el instrumento en agua, permanezca en equilibrio en posición vertical. Puede hallarse la densidad de un cuerpo sólido con el gravímetro del modo siguiente. Se introduce el aparato en agua destilada á cuatro grados centígrados, si quiere mayor exactitud; una parte de él se sumergirá en el líquido, pero no llegará hasta *m* pues en-

tonces no valdria nada el instrumento. Se pone en la copa una pesa (llamada carga del instrumento) para que descienda hasta dicho punto *m*, hecho este se quita la carga y en su lugar se pone el cuerpo cuyo peso específico se trata de averiguar, y cuyo peso real ha de ser siempre menor que la carga ó á lo sumo igual á ella. Se añaden pesas en la copa hasta tanto que el punto *m* toque al nivel del agua; y claro es que el peso del cuerpo en el aire será igual á la diferencia entre la carga del instrumento y estas pesas. Ahora debe ponerse el cuerpo en el cubo *r* para pesarlo dentro del agua; el peso que se busca será la diferencia entre la carga del instrumento y las pesas que hay que añadir ahora á la copa para que el instrumento se sumerja de nuevo hasta *m*. Obtenido ya el peso del cuerpo en el aire y en el agua, se hallará la pérdida de peso en este liquido y partiendo despues por ella el peso del cuerpo en el aire (n.º 232), tendremos la densidad buscada. Pongamos un ejemplo: sean diez y ocho adarmes la carga del instrumento y supongamos que se desea hallar la densidad de la plata, valiéndose para ello de una moneda de veinte reales; se verá primero que cuando se pesa en la copa bastan dos adarmes de carga para que el instrumento se sumerja hasta la señal, y que de consiguiente diez y seis adarmes es el peso de la moneda en el aire: segundo que cuando se coloca en el cubo se necesitan casi tres y tres quintos de adarme de carga para el mismo efecto: de lo que se deduce que su peso ahora es de diez y ocho adarmes menos tres y tres quintos de adarme, ó de catorce y dos quintos de adarme; ó que ha perdido de su peso uno y tres quintos de adarme y de consiguiente la gravedad específica se hallará dividiendo diez y seis por uno y tres quintos; efectuando la division resulta diez.

240. *Areómetros de volúmen variable.* En general son de cristal y tienen la forma representada en la figura 133, esto es, á un cilindro *a* se une por la parte inferior una bola *b*, en cuyo interior (que no comunica con el cilindro) hay un poco de mercurio ó perdigones para lastrar el instrumento; de la parte superior del cilindro sale un tubo *c*, en cuyo interior hay un papel que contiene la graduacion. Claro es que un instrumento de esta especie introducido en un liquido, se sumerjerá tanto mas cuanto menos denso sea el liquido, pues mientras menor es la densidad es menor el valor de la fuerza que hemos llamado empuje del fluido (n.º 216) y que obra de abajo arriba. La graduacion de estos instrumentos es distinta segun los usos á que se destinan: en el

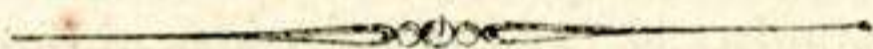
areómetro de alcohol de Baumé el cero indica hasta donde se sumerge el instrumento cuando se introduce en una mezcla de nueve partes de agua y una de sal comun; el grado diez representa hasta donde se sumerge en agua destilada: este intervalo se divide despues en diez partes iguales y se continua la escala (habiendo hallado asi la longitud de un grado) tanto por cima del diez como por debajo del cero. En el *pesa sales* del mismo autor corresponde el cero al agua destilada y el grado quince á una disolucion compuesta de ochenta y cinco partes de agua destilada y quince de sal comun. En el *alcohómetro centesimal de Gay Lussac* corresponde el cero al agua destilada y el ciento al alcohol mas rectificado posible: la graduacion de este instrumento se hace formando nueve mezclas, la primera de nueve partes de agua y una de alcohol la segunda de ocho de agua y dos de alcohol & y señalando el sitio hasta donde se sumerge el instrumento con los números 10, 20, &c: claro es que con él se puede conocer cuantas partes de alcohol puro y cuantas de agua contienen los aguardientes.

Los areómetros son muy usados en química y en farmacia para conocer el grado de concentracion de los ácidos, de los jarabes, tinturas &c.

241. *Volúmetros*. Los hay de dos especies ; unos que sirven para los líquidos de mas densidad que el agua , y otros para los que tengan menos. Ambos tienen la figura de un areómetro ordinario, pero las escalas y el modo de graduarlas varian. En el primer caso, ó cuando el volúmetro ha de servir para líquidos de mayor densidad que el agua, se prepara el instrumento (fig. 134) de suerte que introducido en este líquido se sumerge hasta *a*, punto en donde se señala el 100; luego se prepara un líquido compuesto de agua y sal comun, cuya densidad se averigua por los medios indicados (n.º 235), y se agrega agua ó sal hasta tanto que dicha densidad sea uno y un tercio; introduciendo en él el instrumento claro es que se sumerjirá menos, y se señala con el número 75 el punto *b* adonde está el nivel. Divídase el espacio *ab* en 25 partes iguales y continúese la division por bajo del punto *b*. Para usar este instrumento se introduce en el líquido cuya densidad queremos conocer y se observa el punto de la escala hasta donde se sumerge: formando entonces un quebrado cuyo numerador sea 100 y su denominador el número que está en el sitio del nivel se tendrá la densidad buscada.

En el segundo caso , ó para los líquidos cuya densidad es menor que la del agua, se pone el lastre de suerte que al introdu-

cir el instrumento en agua solo se sumerja hasta el punto *a* (fig. 135) y en ese sitio se señala el 100: se pesa el aparato y se coloca una pesa equivalente à la cuarta parte de este peso en el punto *b*; y de este modo se sumerge en agua, marcando 125 en el punto *c* de la varilla *ab* en donde corresponda al nivel; se divide el intervalo *ac* en 25 partes iguales y se continua la escala hacia la parte superior. El modo de hallar las densidades es exactamente igual al que acabamos de explicar.



LECCION XVII.

Sigue la hidrostática.

242. *Tubos capilares.* Son aquellos cuyo diámetro interior es tan pequeño que se ha comparado con el grueso de un cabello, pero no se necesita que sea tan escesivamente delgado el calibre para que se observen los fenómenos que vamos á describir. Si se introduce uno de estos tubos en agua, alcohol, en fin en cualquier líquido que moje á la materia de que está formado, y que supondremos sea el vidrio, se notará que el nivel en lo interior del tubo está mas alto que el del líquido de la vasija, y que no termina en una superficie plana, sino en una superficie curva, cóncava hácia la parte superior y que se llama *menisco*. Si el tubo de vidrio se sumerge en mercurio, que no moja al vidrio, notaremos fenómenos enteramente distintos, esto es, el nivel del mercurio en lo interior del tubo estará mas bajo que en lo restante del vaso, y la superficie curva que lo termina es convexa hácia la parte superior. Con tubos capilares de distintos diámetros se observará que mientras menores sean los diámetros, mayor será el ascenso ó descenso del líquido, siguiendo exactamente la ley de la razón inversa de los diámetros.

243. No parece á primera vista fácil el averiguar con exactitud el verdadero diámetro de los tubos capilares, y se cometerian errores que im-

pedirian comprobar la ley si fuéramos á hallar la medida directamente; pero hay un medio de lograrlo que vamos á dar á conocer. Se pesa el tubo capilar primero vacío y despues completamente lleno de mercurio, y restando estos pesos se hallará el del mercurio contenido en el tubo. Midiendo la longitud de este, tenemos averiguado cual es el peso de un cilindro de mercurio, cuya altura nos es conocida, pero cuyo diámetro es la incógnita que buscamos; representola por $2r$, por l la longitud del tubo y por p la relacion del diámetro á la circunferencia; $p r^2 l$ es el volúmen de dicho cilindro y llamando d á la densidad del mercurio y P al peso hallado, como $P=vd$ tendremos

$$P=p r^2 l d$$

de donde resulta que

$$2r=2\sqrt{\frac{P}{p l d}}$$

244. Para medir con exactitud la altura á que sube el líquido en los tubos capilares empleó Gay Lussac el aparato siguiente. En un vaso abc (fig. 136) (cuyo pié c se sujeta sólidamente en una meseta d , con tres tornillos para ponerla en posicion horizontal) se echa el líquido cuyo ascenso en el tubo capilar deseamos medir. El borde superior de dicho vaso es exactamente horizontal, y sobre él se coloca una pieza metálica mn , compuesta de dos partes semejantes, que entre las dos forman una abrazadera ó cilindro hueco, para que por él pase el tubo capilar fg , el cual se ha humedecido de antemano con la misma especie de líquido que vamos á emplear. Cuando se introduzca el tubo en el líquido, como está representado en la figura, al momento subirá dentro hasta el punto h . Ahora se trata de averiguar cual es la longitud ho : para eso se vale uno del instrumento kl , llamado catetómetro, compuesto de una regla graduada kl , colocada verticalmente por medio del pié r ; con un hilo á plomo st que sirve para conocer cuando está en dicha posicion. Por la regla se desliza un anteojo uv , en cuyo interior hay un micrómetro, esto es varios hilos sumamente finos colocados á distancias iguales horizontalmente. Se dirige el anteojo á la parte superior del líquido contenido dentro del tubo, y se observa la division á que corresponde en la regla: hecho esto y no pudiéndose observar bien con el anteojo el punto o , por impedirlo el líquido del vaso, se saca el tubo capilar y se introduce en su lugar una varilla metálica cuya punta inferior toque á dicho líquido. Despues de sugetar esta por la parte superior se saca algun

líquido del vaso, á fin de que quede descubierta la punta de que hemos hablado, y dirigiendo ahora á ella el anteojo es fácil conocer la altura *oh* que buscamos.

245. Si en vez de tubos empleamos láminas de vidrio, por ejemplo, y las sumerjimos paralelamente en agua, notarémos que el líquido no subirá mas que la mitad que subiría en un tubo cualquiera, cuyo diámetro fuese igual á la distancia que hay entre las láminas, y que la superficie superior del líquido entre las láminas forma como un medio cilindro cóncavo. Un fenómeno análogo se observará si el líquido es mercurio, con la diferencia que el ascenso se cambia en descenso y la figura del mercurio entre las láminas será un semi-cilindro convexo.

246. El grueso de las paredes de los tubos y láminas en nada influye en los resultados, con tal que se conserven los mismos los diámetros y las distancias de las láminas entre sí. Tampoco dependen los fenómenos capilares de la diversa densidad de los líquidos, pues el alcohol aunque menos denso que el agua, no sube tanto en los tubos capilares como este último líquido, como debia suceder si consistiera en eso.

247. En el vacío se observan los fenómenos capilares lo mismo que en el aire, segun se puede ver fácilmente con el aparato representado en la figura 137, compuesto de una campana *a* que se adapta á la máquina neumática y que en su interior tiene una lámina *b*, que puede subir y bajar por medio de la varilla *c*, la cual contiene varios tubos capilares de diverso calibre; introduciéndolos en un líquido contenido en un vaso, cuando haya aire en lo interior de la campana, nótese hasta donde sube ó baja el líquido, y haciéndose despues el vacío no se hallará diferencia alguna en dichas alturas.

248. Laplace valiéndose de la hipótesis de que los fenómenos de la capilaridad dependen de la atracción del vidrio para con el agua, que obra solo cuando las distancias son imperceptibles, y que deja de tener acción en el momento que dichas distancias son sensibles, ha demostrado todos los fenómenos de la capilaridad. Pero como seria imposible entrar en este curso en el desarrollo de esta teoria, supondrémos como verdad probada la proposición siguiente que se deduce de ella. Si tenemos tres vasijas de igual fondo, en las cuales el líquido llegue á la misma altura, pero cuya superficie superior sea en una horizontal, como en *A*, en otra convexa, como en *B* y en la tercera cóncava, como en *C*, (fig. 138), la presión sobre el fondo será mayor en *B* que en nin-

guna de las otras dos y mayor en A que en C. Con este principio es muy fácil explicar el ascenso y descenso de los líquidos en los tubos capilares. En efecto supongamos uno de ellos *ab* (fig. 139) introducido en el agua de la vasija *efd*, y que el nivel del líquido en el tubo esté en *m*, y sea un menisco cóncavo según enseña la experiencia. Concibamos dos vasos comunicantes *rs*, *ut*, unidos por el *su* horizontal, de los cuales el *rs* salga del menisco *m* y vaya por lo interior del tubo, y *ut* termine en el nivel del líquido de la vasija, que es horizontal. Puesto que todo el líquido está en equilibrio, también lo estarán las moléculas contenidas en estos vasos comunicantes; de consiguiente una de ellas, tal como *z*, deberá tener dos presiones iguales y contrarias, dirigidas en el sentido de las flechas: pero estas presiones, según vimos (n.º 211), se miden por las columnas de líquido *rs*, *tu*, que aquí han de ser desiguales, porque como según el teorema, cuando el líquido se termina en una superficie plana, como en *t*, produce mayor presión que cuando termina en menisco cóncavo, es indispensable que esta columna sea mayor, para equilibrar por su peso la diferencia. Del mismo modo si suponemos que el tubo *ab* (fig. 140) se introduce en mercurio; como la presión de la columna *rs* es mayor que la de la columna *ut*, por estar terminada la primera en menisco convexo, será indispensable que dicha columna sea menor para el equilibrio.

Alguna modificación ha experimentado esta teoría por la consideración de disminuirse la densidad del líquido en la parte correspondiente al menisco, según ha demostrado Poisson, pero como sería imposible el hacerlo comprender sin valerse de cálculos muy difíciles, me abstengo de entrar en pormenores.

249. La atracción que el vidrio tiene con el agua, y en general un cuerpo cualquiera con un líquido que lo moja, se puede demostrar del modo siguiente. Pongase una lámina suspendida de uno de los platillos de la balanza de hidrostática, de suerte que esté en posición horizontal, y averigüese cual es su peso. Si acercamos un vaso que contenga el líquido, y bajamos la balanza hasta que la lámina se apoye sobre el nivel, se notará que pueden ponerse algunas pesas adicionales en el platillo opuesto, sin que se separe la lámina del líquido; que cuando se han puesto las suficientes para lograrlo, sale la lámina mojada del líquido, pero que á pesar de estas gotas, que debían aumentar el peso, hay que quitar ahora pesas para restablecer el equilibrio. Las pesas adicionales eran el valor de la fuerza de atracción que tenía la lámina con

el líquido, y esta era mayor que la que unía á las moléculas del líquido entre sí, puesto que se han separado de sus compañeras y se han venido con la lámina.

250. Si se echa agua en un tubo encorvado de vidrio *abc* (fig. 141), se notará que sube mas el nivel en la rama estrecha que en la gruesa, aunque esta última sea tambien capilar; si en vez de agua vertiéramos mercurio, sucederíalo inverso, terminando siempre las columnas de líquido en los meniscos ya indicados. Cuatro tubos encorvados como el *abc* suelen estar reunidos en una tabla con un pié y sirven para las esperiencias de los tubos capilares.

251. Cuando se coloca una gota de agua en la parte media é interior de un tubo cónico de vidrio *ab* (fig. 142) dicha gota se dirige hácia la estremidad mas estrecha; si en vez de agua fuese mercurio, iría hácia la mas ancha. Lo mismo sucedería si en vez de tubo cónico empleáramos dos láminas de vidrio *ab* y *ad* (fig. 143), que están formando un ángulo diedro cuyo vértice es *a*; hácia este vértice se dirige hasta llegar á él, la gota de agua cuando se coloca en *m* y que toca á ambas láminas; una gota de mercurio se dirigiria hácia *d*; en el gabinete existe el aparato representado en la fig. 144 para hacer esta esperiencia.

252. Todos los fenómenos comprendidos en los dos últimos números se esplican fácilmente por la teoria de Laplace, como asimismo las atracciones que se observan en dos cuerpos que flotan en un líquido, siempre que haya depresion ó elevacion del mismo líquido al rededor de los cuerpos, y las repulsiones en el caso que en uno de los cuerpos se observe la elevacion y en el otro la depresion. Aclararémos con egemplos estas proposiciones. Si se introduce una lámina de vidrio *ab* (fig. 145) en agua, se observará que el líquido se levanta algo por la lámina como en *cd*, *df*; si el líquido fuese mercurio, baja por el contrario en dicho sitio como *cdf* (fig. 146). Lo mismo se observa en casi todos los cuerpos flotantes, cualquiera que sea su figura en la parte correspondiente al sitio en que tocan al nivel del líquido. En dos bolas de corcho humedecidas de antemano hay elevacion; si se han untado preliminarmente con grasa, por el contrario hay depresion; y en ambos casos cuando las curvas formadas por el líquido y que rodean á los cuerpos llegan á tocarse, se ve que se aproximan uno á otro hasta que se juntan. Por el contrario si una bola estuviese dada de grasa y otra humedecida, cuando se toquen las curvas que forma el líquido alrededor de ellas, se notará que ambos cuerpos se repelen mutuamente.

253. *Bomba de Vera*. Esta máquina se compone esencialmente de cuatro poleas a, b, c, d (fig. 160), colocadas de suerte que la a se corresponde con la c , y la b con la d en la misma línea vertical; y de dos cintas ó fajas sin fin, que pasan respectivamente por las excavaciones que presentan en su circunferencia las poleas superiores é inferiores. Dichas cintas ó fajas están señaladas en la figura con las letras f, g . Las dos poleas ab están atravesadas por el mismo eje hk , que tiene en su estremidad k una rueda dentada l , cuyos dientes engranan en otra mayor mn , que se mueve por medio de un manubrio rs : Las dos poleas cd están también unidas por el eje t , y hay, formando cuerpo con ellas, dos cilindros macizos uv que ponen tirantes las cintas ó fajas. ABCD es un depósito de agua, cuyo nivel debe estar algo por cima de los puntos c y d ; FGHM es otra cavidad en donde se va depositando el agua, que sale al fin por el orificio N; $r' s'$ son cilindros huecos, que soldados con el depósito por la estremidad inferior, comunican por la superior con la cavidad de la caja FGHM y dan paso á las cintas ó fajas. Las columnas P, Q, R, S, sirven para sostener este depósito, las poleas superiores y las ruedas dentadas. Dando vueltas con rapidéz al manubrio rs , se mueven con gran velocidad las cintas f y g , y ocasionan en el agua un movimiento análogo al que produce la fuerza centrífuga. Los espacios entre los hilos que forman las fajas hacen también oficio de tubos capilares, y de consiguiente concurren á la ascension del líquido. En virtud de estas dos fuerzas reunidas sube en efecto el agua al depósito superior, y cae por N en el sitio que se desea.

254. En los cuerpos que están formados de un conjunto de hilos ó de fibras, los espacios que dejan entre sí hacen oficio de tubos capilares. Lo mismo decimos de los poros de los cuerpos. Así se explica como sube el aceite por las mechas para alimentar la combustion, y como se humedece repentinamente un gran terron de azúcar cuando su parte inferior es la que únicamente está tocando con el agua. Hay que advertir también, que cuando un tubo capilar, humedecido por un líquido, se introduce en una vasija que contenga aquel mismo líquido y otro que con él no pueda mezclarse, habrá una especie de eleccion en el tubo y solo ascenderá el que lo humedecía. Así si en una vasija que tenga agua y aceite se coloca una mecha empapada en el último líquido, solo este subirá por la mecha: pero si la hubiésemos empapado en agua solo esta subirá.

255. Las plantas tienen una porcion de canales sumamente

finos por donde sube la savia, que deben producir con respecto á este jugo el oficio de tubos capilares, asi como los vasos tenuisimos del cuerpo de los animales deben dar márgen á fenómenos análogos, poco estudiados hasta ahora.

256. *Endosmosis y exosmosis.* Si dos líquidos que pueden mezclarse y cuya accion capilar no es la misma (esto es, que introduciendo en ellos dos tubos capilares de igual diámetro la ascension es igual para ambos) se colocan de suerte que estén separados por una membrana delgada, vegetal ó animal, ó por láminas poco gruesas de arcilla, mármol, &c., se observará que una porcion del primer líquido atraviesa la membrana ó la lámina y va á mezclarse con el segundo, y otra porcion de este va tambien á unirse con el primero. Por egemplo si se llena de espíritu de vino hasta *b* un tubo de vidrio *a* (fig. 147) llamado *endosmómetro*, cuya parte inferior tiene la forma de un embudo, y que esté tapado con un pedazo de vegiga de cerdo, y despues se pone dentro de una vasija llena de agua hasta *mn*, de nivel con *b*, se notará al cabo de algunas horas que una porcion del agua se ha introducido en el tubo, hasta llenarlo si no tiene mucha longitud y que por la inversa otra porcion, aunque menor, de espíritu de vino ha pasado del tubo á la vasija. Al primer fenómeno se llama *endosmosis*, al segundo *exosmosis*. Estos efectos continuan hasta que la membrana, si es vegetal ó animal, se pudra y desde entonces cesan. Se suspenden tambien instantáneamente en el momento que se mezcle con alguno de los líquidos una corta cantidad de ácido sulfúrico ó hidro-sulfúrico, y cesa antes de la putrefaccion de la membrana cuando las disoluciones son ácidas ó alcalinas.

257. Dutrochet que fué el que descubrió estos fenómenos, observó que el exceso de la cantidad de líquido que sale del tubo á la que entra, es proporcional á la estension de la membrana ó de la lámina y á la diferencia que existe entre la accion capilar de los dos fluidos.

258. Quizás por la endosmosis y exosmosis se puedan explicar muchos fenómenos de la economia animal, y desde luego es probable que contribuyan en algo á la absorcion; pero todavia no hay mas que conjeturas sobre esta aplicacion.

LECCION XVIII.



Nociones de] hidrodinámica.

259. La hidrodinámica, según dijimos (núm.º 37), trata del movimiento de los flúidos, y es una parte de la mecánica que está poco adelantada, especialmente en lo relativo á los gases. Toda ella se funda en la hipótesis de que cuando un líquido está encerrado en una vasija, si á esta se le hace una abertura en su fondo, las capas de líquido paralelas al nivel, descenderán paralelamente hasta cerca del orificio. Dicho principio puede comprobarse mezclando con agua unos polvos de color, cuya densidad sea igual á la de este líquido, tales como los de succino; observando los que componen la capa *ab* (fig. 148,) se notará que van tomando sucesivamente las diversas posiciones señaladas con líneas paralelas, hasta *a'b'*, y de allí abajo se forma como una especie de embudo, dirijiéndose las moléculas hácia la abertura.

260. Cuando la vasija está abierta por cima del líquido, por pequeño que sea el orificio por donde deba salir, se efectuará su salida; mas no sucederá así en una vasija cerrada por todas partes, menos por el orificio, y que tenga desde él á la parte superior del líquido una altura menor de treinta y siete piés, cuando se trata del agua. La causa de este fenómeno depende del peso de la atmósfera, razón por la cual no puede entenderse bien hasta

que hablemos de las propiedades del aire; sin embargo es cosa fácil el hacer un experimento que lo compruebe, llenando de líquido un tubo que esté cerrado por una de sus extremidades, tapándole la otra con un papel é invirtiéndolo, pues se verá que el líquido no se derrama. El papel sirve para impedir que se introduzca el aire por entre las moléculas del líquido, en cuyo caso se vaciaría el tubo.

261. La cantidad de agua que sale de un vaso por un orificio en un tiempo determinado se llama *gasto*; y los gastos son mayores ó menores segun el tamaño del orificio y la velocidad con que sale el líquido: de consiguiente á un orificio de doble area debe corresponder doble gasto, y mientras mas apriesa salga el líquido mayor será en un tiempo dado. Influyen en la velocidad la altura del nivel del líquido, la presión sobre dicho nivel y el rozamiento que experimenta al bajar por las paredes del vaso en que está contenido.

262. *Teorema de Torricelli.* Este fisico hizo ver que la velocidad que tiene un fluido al salir por un orificio, es exactamente la misma que la de un cuerpo sólido, que cayese en el vacío desde una altura igual á la distancia que hay entre el nivel y el orificio. Como se demuestra que estas velocidades son como las raíces cuadradas de las alturas, se infiere que en esta misma razon estarán los gastos de dos vasijas que, con iguales orificios y con las mismas condiciones, no se diferencien mas que en la altura de los niveles.

263. Ya hemos visto (núm.º 115) que las ecuaciones del movimiento uniformemente acelerado, ó del descenso de los cuerpos graves, son $v=gt$; $e=\frac{1}{2}gt^2$. Si eliminamos t entre estas dos ecuaciones hallaremos $v=\sqrt{2ge}$, siendo e la altura de donde caen: para otro cuerpo que cayese de e' tendríamos $v'=\sqrt{2ge'}$; y comparando $v:v'::\sqrt{e}:\sqrt{e'}$

264. De aqui se deduce que la velocidad no depende de la naturaleza del líquido y que el mercurio y el eter por ejemplo, aunque cuerpos de tan distinta densidad, tendrán la misma velocidad si las alturas de los niveles son iguales, puesto que en ambos casos debe medirse por la de un grave que cayese de la misma altura.

265. Como la velocidad del líquido al salir por el orificio depende de la altura de aquel, es claro que dicha velocidad irá siendo cada vez menor á proporción que baje el nivel por la salida del líquido. Si se quiere que la velocidad sea constante, es necesario valerse de medios para que el nivel no varíe, es-

to se logra de varios modos que sucesivamente vamos á exponer.

266. El primer modo se llama el del *vaso demasiado lleno*, porque efectivamente consta de una vasija ó cajon A (fig. 149) que siempre está rebosando, y que presenta un orificio *o* para que salga el liquido. Un depósito colocado en *d*, vierte el liquido sobre una meseta *bc*, llena de agujeros, y el agua escedente sale por la abertura *m*, de suerte, que el nivel siempre está á la altura de *m*. La meseta sirve para impedir el choque del líquido que viene del depósito, con el que está contenido en A, pues dicho choque influiría en la velocidad de la salida por el orificio *o*.

267. El segundo modo consiste en el uso de un aparato ingenioso llamado *flotante de Prony*, el cual consta de un cajon de madera *abcd* (fig. 150), con un orificio *o*, por donde sale el liquido, cuyo nivel supondrémos sea *fg*; otro cajon vacío y abierto por la parte superior A, está flotando en el líquido y unido por medio de las varillas *hik*, *lmn* al recipiente C. El nivel en *abcd* no variará, aunque salga líquido, hasta que toque A con el fondo, porque á proporcion que salga el agua se irá sumergiendo A, mas y mas, pues es claro que si sacásemos un cuartillo de agua de *abcd* y lo echásemos en la cavidad de A, no se alteraría el nivel, y esto mismo es el resultado aunque vá el líquido á la vasija C, por estar unida esta con A por medio de las varillas ya esplicadas.

268. En el tercer modo se emplea el *vaso de Mariotte*, que es un frasco *ab* (fig. 151), con una abertura pequeña *o* en su parte lateral inferior, cerrado con un corcho por su boca y enteramente lleno de líquido. Por un taladro que tiene el tapon, pasa un tubo de vidrio *cd*, abierto por ambas estremidades, lleno tambien de liquido, y cuya parte inferior está mas baja que el orificio *o*. Es ademas indispensable que el frasco no tenga una gran altura; esto es, que no pase de treinta y tres pulgadas si fuese mercurio el liquido que contiene, ni de treinta y siete pies si fuese agua &c. Como los frascos ordinarios tienen menos dimensiones que los escepcionales, solo se indica esto para entender mejor la teoría. El orificio *o*, que en general es de metal, tiene un tapon de la misma sustancia para suspender la salida del liquido cuando acomode. Si destapamos el orificio *o*, se observará que no salen mas que algunas gotas, que muy rápidamente baja el nivel del liquido en el tubo *cd*, hasta

n , que está al mismo nivel que el orificio, y que cesa la salida del líquido. La causa de esto es la fuerza elástica del aire de la atmósfera, que obra en o en la dirección de la flecha, y que se opone á la salida del líquido, por no poder pasar el aire al través de él á causa de la estrechez de la abertura o : una molécula como m , colocada al nivel del orificio y en lo interior del frasco no puede salir, porque la fuerza que á ello le obligaría está representada por una columna de líquido, cuya altura es la que de m hay á la parte superior del frasco, y esta fuerza es menor que la del aire exterior: salieron aquellas gotas correspondientes al tubo, porque este comunica por la parte superior con el aire, y de consiguiente las fuerzas que obran en los sentidos de las flechas en c y en o se destruyen, y queda para ocasionar la salida de aquellas gotas todo el peso de la columna de líquido contenido en el tubo desde c hasta n ; las que se encuentran ahora desde h á d , claro es que no podrán salir por hallarse mas bajas que el orificio o . Si ahora subimos el tubo, de suerte que su estremidad inferior se halle mas alta que el orificio o , como en la fig. 152, se observará en primer lugar que sale líquido por el orificio o , y en segundo que una porcion de burbujas de aire se van desprendiendo de la estremidad d del tubo, y atravesando el líquido se dirigen á la parte superior del frasco, á proporcion que sale este por o . Esta salida continua verificándose como si el nivel fuese constante y estuviese colocado en la estremidad d del tubo. La razon es porque las moléculas que están en la capa horizontal fg , de nivel con el orificio o , que son las que salen, tienen siempre ademas de las dos fuerzas iguales y contrarias, señaladas con las flechas, el peso de la columna del líquido comprendido entre d y esta capa; y en virtud de esta fuerza, que como se vé es constante, saldrán todas las moléculas, hasta que el nivel del líquido en lo interior del frasco esté por debajo del punto d .

269. Si calculada la velocidad que debe tener un líquido á la salida de un orificio, y hallada el area de este, buscamos por el cálculo cual debe ser el gasto, (n.º 261), y lo comparamos luego con la experiencia, hallaremos una gran discordancia, como que este último será las cinco octavas partes solamente de aquel. Depende de un fenómeno de que aun no hemos hecho mencion, denominado *contraccion de la vena fluida* y que es el siguiente. Al salir el líquido por un orificio, en virtud de la figura particular en forma de embudo que toma cerca de dicho orificio, se reduce á menor volúmen que este el grueso del chorro. Asi en

la fig. 153 por ejemplo, en vez de presentar un diametro igual á o , tiene el señalado con la letra h . Esta contraccion, que es mayor ó menor segun ciertas circunstancias, se verifica siempre muy cerca de la abertura. Claro es que al area que presenta la vena despues de contraida debe reducirse mentalmente el orificio para hallar los gastos; y haciendo de esta suerte el cálculo queda confirmado por la esperiencia.

270. Cuando el orificio está colocado en la parte inferior de la vasija, la vena es vertical, primeramente despues de haber experimentado la contraccion se parece á un cilindro de cristal del todo transparente, luego se angosta en unas partes y en otras se ensancha, formando lo que se ha llamado nodos y vientres; y en fin, se esparce en el aire en forma de gotas. Si estuviese el orificio en las paredes del vaso, en vez de salir la vena en linea recta, tomará la forma curvilínea; y no es difícil demostrar que esta curva es una parábola.

271. Fenómenos sumamente curiosos y quizás interesantes se observan cuando la vena que sale de una vasija, cuyo líquido tiene bastante elevado su nivel, va á chocar contra un cuerpo sólido. Aun cuando en el cuerpo humano hay choque de la sangre contra las paredes de los vasos, no parecen aplicables aquellos fenómenos indicados, descubiertos por Savart, y por eso no entraremos en mas pormenores.

272. *Aplicaciones de las leyes de hidrostática y de hidrodinámica á la economía animal.* Dejarémos estas aplicaciones para cuando háyamos explicado la teoría de las bombas, pues entonces será mas fácil comprender la circulacion de la sangre y el movimiento de los líquidos en el cuerpo humano.

PROPIEDADES PARTICULARES DE LOS CUERPOS.

273. *Ductilidad.* Llámase así la propiedad que tienen ciertas sustancias de poderse reducir á hilos por medio de la hilera (n.º 22), y á los cuerpos que gozan de ella, que son principalmente los metales, se les denomina *ductiles*: el órden en qué están colocados los metales mas comunes, relativamente á la ductilidad, es el siguiente: platina, plata, hierro, cobre, oro, zinc, estaño y plomo. Cuando los cuerpos pasan por la hilera; sus moléculas se deslizan unas sobre otras con mayor ó menor fa-

ilidad, y se colocan de un modo permanente en nuevas posiciones. Hay metales cuya ductilidad se aumenta calentándolos, como el hierro, y en otros por la inversa se disminuye como en la plata.

274. *Maleabilidad* es la propiedad de que gozan algunas sustancias por la cual pueden reducirse á láminas por medio del martillo ó de cilindros; este es el orden de la maleabilidad de los metales: oro, plata, cobre, estaño, plomo, zinc, platina, hierro.

275. *Tenacidad*. Cuando se hacen tracciones opuestas á un cuerpo, se experimenta una resistencia para que se separen las moléculas de aquél, á cuya fuerza se llama tenacidad. Los metales presentan tambien esta propiedad, algunos en alto grado, y se colocan del modo siguiente con respecto á ella: hierro, cobre, platina, plata, oro, estaño, zinc, plomo. Para hacer estas experiencias no hay mas que tomar alambres formados de dichos metales, y que tengan el mismo diámetro, los cuales estando fijos por una estremidad, se van sucesivamente cargando con pesas por la otra, hasta que se rompan. Se observará entonces fácilmente ademas, que la longitud de los alambres influye poco en la tenacidad, no así su grueso.

276. Las maderas por su estructura particular tienen una tenacidad muy distinta en la direccion de las fibras que en la perpendicular á ellas; y en este último sentido es tan poca que con suma facilidad se rajan.

277. Con respecto á las cuerdas se observa la particularidad de que su tenacidad es menor que la suma de los pesos que pueden sostener cada uno de los hilos que las componen. Así si suponemos que una cuerda esté compuesta de ochenta hilos, y que cada uno de estos pueda sostener antes de romperse un peso de una libra, la cuerda torcida no podrá sostener un peso de ochenta libras: sin embargo de esto es necesario formar las cuerdas valiéndose de la torsion, para que el peso se reparta con igualdad entre todos los hilos; pues sino el que fuese mas largo tendria que sostener todo el peso, y evidentemente se rompería.

278. La gran tenacidad de las aponeúroses y tendones que entran en la organizacion de los animales puede esplicarse por el fenómeno de carecer aquellas partes de torsion y estar compuestos de fibras parecidas á hilos, que cada cual se continua con otra fibra muscular. Los músculos son mas tenaces durante la vida que despues de la muerte; pues si se calcula el esfuerzo que tiene que hacer un músculo para vencer cierto obstáculo, y se

carga el mismo músculo en un cadáver con un peso menor que aquel esfuerzo, se notará que se rompe. Pero debe tenerse presente que durante la vida la contracción muscular, engruesando las fibras, debe por eso solo aumentar la tenacidad; y además que todos los vasos sanguíneos que se hallan en los intersticios de las fibras de los músculos están llenos de sangre durante la vida y vacíos en el cadáver; de consiguiente en el primer caso, como propiedad que hemos visto en los fluidos, se transmitirá con igualdad el esfuerzo por las moléculas de la sangre y no así en el segundo. Sucede aquí exactamente como á las cuerdas mojadas, las cuales por la razón de hallarse un líquido entre los tubos capilares formados por los varios hilos, son mas tenaces que cuando están secas.

279. También corresponde á la tenacidad la facultad que tienen los cuerpos de sostener un gran peso sin reducirse á fragmentos. La esperiencia y el cálculo demuestran dos cosas que son aplicables al cuerpo humano: una es que para que un cuerpo sea resistente lo que mas conviene es que su sección transversal sea un círculo; otra que formando con la misma cantidad de materia dos columnas, una hueca y cilíndrica, y otra maciza, la primera es mas resistente que la segunda. En la economía animal vemos que el fémur es hueco y cilíndrico en su parte media para resistir mejor el peso del tronco.

280. *Dureza* es la resisteneia que opone un cuerpo á ser rayado por otro; y no debe entenderse por esta palabra la propiedad de resistir á los choques &c. Así cuando decimos que el diamante es tan duro que raya todos los cuerpos y solo es rayado por su propio polvo, no se entiende por eso que puesto sobre un yunque y dándole martillazos permanezca sin romperse; muy al contrario este cuerpo precioso es frágil como el vidrio y se reduce á polvo con la mayor facilidad.

La figura que tiene el cuerpo con que se raya influye mucho en esta propiedad. Las puntas obtusas rayan con mas facilidad que las agudas y las de aristas curvilíneas mejor que las rectilíneas.

LECCION XIX.

Del aire.

281. El aire rodea á la tierra por todas partes, formando una masa de algunas leguas, y al conjunto ó á toda ella se le llama *atmósfera*. El aire atmosférico es un gas sin color, cuando hay poca porcion de él, pero azulado en el caso contrario, como es fácil convencerse mirando al cielo; sin sabor ni olor, ó á lo menos el hábito ha hecho que nuestros sentidos no se lo perciban, pesado y compresible.

282. Se prueba directamente el peso del aire con el experimento siguiente. Despues de haber hecho el vacío con la máquina neumática en un balon *a* (figura 154) de bastante capacidad, armado con una llave *b* en su cuello, se cierra la llave, se separa de la máquina neumática y se le adapta una pieza *c* con un gancho que sirve para colgarlo del platillo de una balanza. Hecho esto se pesa, y dejando el peso en equilibrio se destuerze poco á poco la llave: irá entrando á proporcion aire en el balon, y desde luego se rinda la balanza por su lado. Equilibrando ahora de nuevo la balanza, y restado los pesos uno de otro, se hallará el del aire contenido en el balon.

283. Bastaba eso para convencerse de que sobre un cuerpo colocado en la superficie de la tierra debe haber una gran pre-

sion, producida por el peso de la columna de aire comprendida entre dicho cuerpo y el límite superior de la atmósfera: pero se hacen otras esperiencias que lo comprueban directamente.

284. *Globos de Magdebourg* son dos hemisferios huecos, metálicos *ab* (figura 155), que se adaptan perfectamente uno á otro por medio de un cuero fino dado de grasa, á fin de que no pase el aire por entre los hemisferios: el superior *a* tiene una argolla *f* para agarrarlo, y en el inferior *b* un conducto *r* con llave *e* terminado en una rosca *e* que ó bien se coloca en un pie *d*, ó se enrosca en la máquina neumática. Antes de hacer el vacío es sumamente fácil separar los hemisferios; pero despues de hecho no se logra aunque se haga gran fuerza en *f*. La causa de esto es que en el primer caso, aunque está obrando el peso del aire en la superficie exterior del hemisferio *a*, como segun vimos (n.º 230) la fuerza elástica del aire contenido dentro del globo es igual á la presión, y que estas dos fuerzas son contrarias, dejarán el cuerpo en equilibrio; mas en el momento que sustraigamos el aire interior faltará esta fuerza y obrará la primera.

285. Tambien se emplea con el mismo objeto otro aparato que se llama de los *planos de Magdebourg*, que consta de dos círculos de vidrio *a*, *b* (fig. 156) cuyas superficies correspondientes son sumamente lisas y que se dan de aceite ó de grasa, y se hacen resbalar una sobre otra cuando se adaptan, para que no quede aire ninguno comprendido entre ellas. Estos círculos de vidrio están engarzados en aros metálicos, y de la parte media de ellos salen dos ganchos, uno *c* que va á unirse con otro que presenta el armazon *m*, y otro *d*, de donde se cuelga una pesa *f*. Dispuesto así no se pueden separar los dos círculos aunque se tire con gran fuerza, si esta se dirige perpendicularmente á ellos, por oponerse por un lado la atracción y por otro el peso de la atmósfera que está obrando en *a*, en el sentido de la flecha, y la fuerza elástica del aire que actua en *b*, en sentido contrario. Colocando todo el aparato debajo de la campana de la máquina neumática, se destruyen estas fuerzas, queda solo la atracción que es vencida por la pesa *p*, y de consiguiente se separan los círculos, cayéndose el inferior.

286. Los antiguos conocian que el aire era pesado, y sin embargo no se valian de esa propiedad para explicar los fenómenos que evidentemente están fundados en ella. Así cuando veian que un líquido subia en una bomba aspirante (que es un cilindro hueco en donde entra muy ajustadamente un émbolo, que sin

embargo puede deslizarse por él) apelaban para explicarlo á un soñado horror que la naturaleza tenia al vacío que se habia formado en el cilindro; cuando es claro que depende del peso del aire sobre el líquido. En efecto, sea ab (fig. 157) el cilindro ó cuerpo de la bomba, c el émbolo, mn la superficie del líquido. La atmósfera está obrando con todo su peso sobre dicha superficie, y si se sube el émbolo, formándose un vacío entre su parte inferior y la parte del nivel del líquido correspondiente al cilindro, claro es que en dicho punto no hay ese peso, de consiguiente cederá el líquido por aquel sitio, y subirá hasta tocar á la parte inferior del émbolo.

287. Claro es que si el cilindro de la bomba de que hemos hecho mencion fuese muy alto, solo subiria el líquido hasta que el peso de la columna introducida fuese igual al del aire que está gravitando exteriormente sobre el líquido; no siendo posible el hacerlo subir con este instrumento á mayor altura. Esto fué cabalmente lo que sucedió á unos fontaneros de Florencia, que quisieron elevar el agua con una bomba aspirante á una altura mayor de treinta y siete pies españoles, y lo que dió lugar al descubrimiento de la verdadera causa del ascenso.

288. Tambien se infiere que la columna será tanto menor cuanto mas denso sea el líquido, así la de mercurio será trece veces menor que la del agua, por ser próximamente trece la densidad de aquel líquido (1): fácil es hacer el experimento, pero en vez de bomba se emplea un tubo de vidrio de treinta y cinco pulgadas de largo, cerrado herméticamente por una de sus estremidades a (fig. 158), el cual se llena completamente de mercurio, despues se tapa con un dedo, teniendo cuidado de que no se salga mercurio para que no entre aire, y se invierte colocándolo así en la posición vertical cd ; introduciendo la estremidad tapada en una vasija que contiene mercurio, se separa el dedo y se observa que baja el metal desde c hasta m , pasando parte de él á la vasija; pero que permanece estacionario en el punto m , contándose desde allí hasta el nivel del mercurio en la vasija treinta y tres pulgadas españolas, poco mas ó menos. Torricelli fué el que hizo primero esta experiencia fundamental, por lo cual se ha llamado al tubo de mercurio *tubo de Torricelli* ó *barómetro*.

289. Pascal comprobó el experimento de Torricelli, va-

(1) Su verdadera densidad es 13,586.

liéndose de un tubo de hoja de lata de treinta pies de longitud, unido superiormente á otro de vidrio de algunos pies, y cerrado herméticamente por la estremidad libre. Llenó este tubo de vino tinto, cuya densidad es próximamente igual á la del agua, y tapándolo muy bien, lo puso verticalmente, por medio de poleas, con la estremidad tapada hácia abajo. Introdujo esta estremidad en una vasija que contenia tambien vino, y destapando el tubo, bajó en él la columna de líquido hasta la altura de treinta y siete pies españoles. Comparando las longitudes de las columnas de vino y mercurio con sus respectivas densidades, se halla que deben pesar igualmente sobre la misma superficie.

290. En efecto la columna de vino de treinta y siete pies equivale á cuatrocientas cuarenta y cuatro pulgadas, de densidad 1; y treinta y tres pulgadas de mercurio, considerando su densidad como de trece y medio son cuatrocientas cuarenta y cinco pulgadas y media de densidad 1.

291. El peso total del aire de la atmósfera equivale pues al que tendria una capa de mercurio que rodease á la tierra, y cuyo espesor fuese de treinta y tres pulgadas españolas; y el cuerpo humano sostiene por la misma razon un peso que se puede calcular fácilmente, averiguando cual es su superficie en pulgadas cuadradas, multiplicando esta por treinta y tres, y hallando cuanto pesa una porcion de mercurio equivalente á este volúmen; cálculo que nos dá por resultado 32,000 libras próximamente. Imposible parece á primera vista que podamos sostener esta presion y que nuestra organizacion resista tal fuerza; y mucho mas que ejecutemos movimientos y no tengamos conciencia de semejante peso; pero en este caso sucede exactamente como en la esperiencia de la porcion de vejiga colocada horizontalmente (n.º 230); pues el aire que está contenido en lo interior de nuestros órganos, equilibra esta fuerza por su elasticidad.

292. Para construir un buen barómetro no basta el método sencillo espuesto en el n.º 288, sino que es indispensable tener ciertas precauciones que vamos á esponer.

1.^a El tubo no debe ser capilar, pues entonces seria preciso hacer una correccion relativamente á esto; porque no subiria tanto en él el mercurio, como en otro que no lo fuera. 2.^a No debe contener humedad alguna, porque se reduciria á vapor y seria una causa de error, como veremos en adelante. 3.^a El mercurio debe ser recién destilado, por dos razones, una para que esté bien seco y otra para que sea puro y tenga la densidad correspondiente á este cuerpo; pues es claro que de ella depende la ma-

yor ó menor altura de la columna, y no podrian ser comparables dos barómetros si las densidades de los líquidos fuesen distintas.

4.^a Es indispensable además que no haya aire en la parte superior ó en el espacio que ha de quedar vacío, y que se llama *cámara barométrica*. Para conseguirlo se introduce el mercurio hasta la tercera parte del tubo, poco mas ó menos, y se hierve muchas veces con las precauciones necesarias para que el tubo no se rompa; despues se le agrega nueva cantidad de mercurio caliente, porque si se echase frio, su contacto con el vidrio, que está caldeado, lo rompería infaliblemente; se hace luego hervir toda la columna, y se echa de nuevo mercurio caliente &c., hasta llenarlo del todo; teniendo cuidado siempre de no colocar verticalmente el tubo, para que hierva con mas facilidad el mercurio. Hecho esto se invierte en una taza ó vasija que contenga mercurio; y para asegurarse de que no existe aire en la cámara barométrica se inclina un poco el tubo, y si produce un sonido fuerte, análogo al del martillo de agua al chocar con la estremidad cerrada, es señal que está perfecto. Importa poco que el tubo sea ó no exactamente cilíndrico.

293. El barómetro, cuya construcción hemos descrito, se llama de *taza* ó de *cubeta*, sin que le falte mas que la escala dividida en pulgadas y líneas, con el cero en el sitio correspondiente al nivel del mercurio en la taza. Observando con este instrumento se nota que no es igual la columna de mercurio en todos los países, que es menor en los terrenos elevados, como por ejemplo en las cimas de las montañas, que en los valles, lo cual hubiera podido deducirse à priori, porque representando la columna de mercurio ó la columna barométrica, el peso del aire que hay desde el sitio donde está el instrumento hasta la parte superior de la atmósfera, claro es que debe ser menor dicho peso cuando la capa de aire sea menor. Pero lo que no hubiera podido determinarse, si la esperiencia no lo hubiera enseñado, es que la atmósfera está siempre oscilando ó disminuyendo y aumentando de peso; pues en un mismo punto la columna barométrica varia continuamente. Pronto hablaremos con mas estension de este asunto, pues ahora lo que únicamente he querido advertir es, que en estas oscilaciones unas veces sale mercurio del tubo y entra en la taza, y otras al contrario; resultando de aqui que el nivel del mercurio en ella no es constante, y que de consiguiente si la escala está fija habrá una causa de error en el modo de medir la columna por no empezar desde el sitio en que está el cero. Para

obviar este inconveniente hay dos medios: uno es poner movable la escala y arreglarla de suerte que siempre corresponda el cero de ella al nivel del mercurio en la taza; pero no es este el método empleado generalmente por los físicos, sino modificar la taza del modo siguiente. Sea ab (fig. 159) el barómetro, m la altura del mercurio, ro la escala, o el punto cero, y cd el nivel del mercurio en esta posición; en la parte inferior de la cubeta se coloca un cuero movable fg , que sirve de fondo al mercurio contenido en ella; á dicho fondo está unido un tornillo r , que atravesando por una tuerca de un segundo fondo hk , hace subir ó bajar el fg , hasta que el nivel del mercurio corresponda al cero de la escala, lo que se conoce porque entonces toca dicho metal á la punta de una flecha n .

294. Si suponemos que el barómetro últimamente descrito tiene envuelto el tubo en un cilindro metálico, que contiene la escala y que presenta hácia la parte superior dos hendeduras, una por delante y otra por detras; y que por dichas hendeduras corra un nonio; que todo el aparato esté colgado por la parte superior y suspendido de un tripode, y que contenga además un instrumento llamado termómetro, de que hablaremos en adelante, nos habremos formado idea del *barómetro de Fortin*.

295. *El barómetro de sifon* es un tubo encorvado $cabd$, como representa la figura 161, cuyas dos ramas verticales son de desigual longitud, la cm mas larga, tiene mas de treinta y seis pulgadas españolas de altura y está cerrada herméticamente por la estremidad c : la rama corta está abierta y todo el tubo contiene mercurio desde a hasta b : la porción ac es la cámara barométrica, y el aire entra por d y actúa su presión sobre el nivel b del mercurio. La medida de la columna barométrica se halla tirando una recta horizontal que pase por b y que corte á la otra rama en x , y midiendo la longitud ax . Lo mismo se consigue colocando una escala cuya graduación cero esté en el punto o , dividida en pulgadas y líneas, contándose hácia arriba y hácia abajo, observando á qué graduación corresponde la estremidad b y la a del mercurio, y sumando despues estos dos números. Las variaciones que experimenta la columna barométrica son menos perceptibles en esta especie de barómetro que en el anterior, por dividirse estas variaciones entre las dos ramas; esto es que si el barómetro ha subido una pulgada por ejemplo, seis líneas será la variación que se observará en la rama larga y otras seis líneas en la corta; pero tiene la ventaja de que por sí mismo corrige los efectos de la

capilaridad, cuando el tubo del barómetro es capilar; porque si el mercurio debe descender por esta causa en una de las ramas, por la misma razón descenderá también en la opuesta.

296. Gay Lussac y Buntzen han perfeccionado este barómetro y han reducido tanto su grueso que puede encerrarse en un bastón, lo que lo hace muy cómodo para viajar; los otros ya esplicados no puede uno transportarlos de un lugar á otro sin riesgo de que entre aire en la cámara barométrica y eche á perder el instrumento. Hé aquí la descripción del barómetro de Gay Lussac: *abcd* (fig. 162) es un tubo encorvado, cerrado herméticamente por la parte superior *a*, y cilíndrico desde *a* hasta *b*; de *b* á *c* es cónico y va adelgazándose hácia el último punto, terminando en un tubo capilar *cd*, que se encorva y engruesa en la porción *df*, cerrada herméticamente en *f*. Hay en *g* una abertura muy pequeña, que es el principio de un embudo, cuya parte mas ancha está hácia fuera y que se abre en lo interior del tubo, y por allí comunica el barómetro con el aire exterior: el mercurio está contenido en el tubo desde *k* hasta *h*; en lo interior de *ab* hay como una especie de cono hueco *m*, cuya parte delgada está hácia abajo, y sirve para impedir que el aire que pudiera pasar de *d* á *c*, en los movimientos que ahora indicaremos, vaya á la cámara barométrica; pues dicho cono hará que se aloje el aire entre sus paredes exteriores y lo interior del tubo, por ser mas fácil eso que no el que enfile por la abertura sumamente estrecha que existe en la parte inferior del cono. Cuando no se hace uso del instrumento y para transportarlo en un viaje, se invierte colocando hácia arriba la parte *d*; así se llena de mercurio la cámara barométrica y no hay riesgo de que se introduzca el aire; aunque siempre caerá alguna cantidad de mercurio en el fondo *f* del tubo corto, no se saldrá por el orificio *g* del cono, por ser este capilar y huir el mercurio de la porción estrecha de dicho cono (n.º 251).

297. El *barómetro comun* es de la clase que hemos llamado de sifon, con la única diferencia que la rama corta *cd* (fig. 163) es muy ancha, y de consiguiente la cantidad de mercurio que entra en el tubo largo *ca* ó que sale de él, influye poco en el nivel ó en la altura á que debe ponerse el cero de la escala. Por eso estos barómetros tienen la escala fija y se cuentan solo en una rama las alturas; pero son poco exactos por lo que acabamos de decir.

298. El *barómetro de cuadrante ó de Jecker* es mejor y muy usado. Consta de un barómetro de sifon *ab* (fig. 164), encerrado

en una caja; sobre el nivel del mercurio de la rama corta hay un cilindro de vidrio macizo *m*, atado por su parte superior con una seda, que pasa dando vuelta y media por una polea *c*, y tiene en su estremidad otro cilindro *n* igual al anterior; el eje de la polea atraviesa la caja, sobresaliendo un poco, para que se coloque en él una aguja *cdf*, cuya punta *d* recorre la circunferencia *stq*, que está graduada de suerte que los espacios recorridos por la aguja, representan las pulgadas y líneas que corresponden á la columna barométrica.

299. Las alturas ó columnas barométricas observadas necesitan una correccion relativamente á la temperatura, para hacerlas comparables; de lo cual trataremos en adelante.

300. El barómetro sirve solo para conocer el peso del aire; cuando baja es señal de que pesa menos la columna de este fluido que está comprimiendo el punto donde está colocado el barómetro; y viceversa. Los nombres que se hallan en estos instrumentos de buen tiempo, variable, tempestad &c. no indican siempre que el tiempo está como el letrero señala, pues solo se colocan allí por la observacion de que casi siempre llueve cuando el barómetro está bajo, y hace buen tiempo cuando está alto; pero como otras muchas causas ademas pueden hacer variar el peso de la atmósfera, se vé la razon de las escepciones que con frecuencia se notan. Podrá parecer extraño que cuando hay agua en la atmósfera en vez de aumentarse el peso del aire se disminuya, puesto que el barómetro está entonces por lo regular bajo; pero esto depende de que el agua está en forma de vapor y que la densidad de este es menor que la del aire, aun cuando goce de la misma fuerza elástica.

301. El mercurio del barómetro está, como dijimos, continuamente oscilando é indicando los movimientos que se efectuan en la gran masa del aire; de estas oscilaciones unas son regulares y otras irregulares. Las primeras, que se observan á horas determinadas por lo cual se llaman *horarias*, son sumamente perceptibles en algunos puntos de la tierra en que apenas hay las oscilaciones irregulares ó variaciones accidentales, tales son por ejemplo los puntos situados bajo el ecuador. Si en ellos se observa atentamente el barómetro, se verá que desde las nueve de la mañana empieza á bajar hasta las cuatro de la tarde, que despues vuelve á subir hasta las once de la noche y baja de nuevo hasta las cuatro de la madrugada, para volver á subir hasta las nueve, en que empieza de nuevo el turno periódico; pero segun M. Hum-

boldt, que es el que ha observado bien estas variaciones, la diferencia de las columnas barométricas mayor y menor es solo de dos milímetros. En nuestros países hay un periodo análogo para las variaciones horarias; pero las horas se diferencian algo según las estaciones, y es mucho más difícil el observarlas á causa de las variaciones accidentales que sobrevienen con mucha frecuencia.

302. Si á cada minuto de un día, por ejemplo, observamos el barómetro, anotamos la altura, y sumando después las 1440 alturas, partimos la suma por 1440, número de minutos que tiene el día, al cociente se le dá el nombre de *altura media del día*. Bien se vé que si hubiese necesidad de hallar así la altura media, era necesario abandonar las observaciones, pues nadie hay que pudiera tener esa constancia; pero afortunadamente se ha descubierto que el número obtenido de esta suerte es exactamente igual al de la observación hecha á las doce del día, de consiguiente con esa sola basta para averiguarlo. Sin embargo es conveniente observar también el barómetro á las nueve de la mañana, á las tres de la tarde y á las nueve de la noche.

303. Si sumando todas las alturas medias de los días correspondientes á un mes, se parte la suma por el número de días que tiene el mes, se obtendrá la *altura media mensual*; y si se suman las doce alturas medias mensuales y se parte por doce, se hallará la *altura media anual*.

304. Como el barómetro baja cuando lo llevamos á un sitio elevado, como un monte por ejemplo, y sube en el caso contrario, puede servirnos para medir lo alto de una montaña, la diferencia de nivel que hay entre dos puntos lejanos &c.; pues hay fórmulas que indican cual es esta diferencia de nivel para diferencias dadas de la columna barométrica pero no insistiremos más sobre un punto que se aparta mucho del objeto de este curso.

305. *Aplicaciones á la economía animal.* Los efectos que resultan del aumento de presión del aire en la economía animal no son bien conocidos todavía. Pero sin embargo cuando esta presión es muy considerable, como sucede en los sitios que están á gran profundidad del nivel del mar, origina más lentitud en la respiración, á causa de que en menos volumen se inspira mayor cantidad de aire y de consiguiente de oxígeno, y que además el aumento de la presión atmosférica hace que los movimientos inspiratorios sean más lentos. Más fáciles son de apreciar los efectos de la disminución de presión; pues como el aire por su peso es el que retiene á los fluidos en lo interior de los vasos, en el momento en

que se disminuye considerablemente esta presión, como sucede en la cima de las montañas elevadas, se experimentan hemorragias principalmente por los órganos de la respiración, y aun cuando esto no suceda, sobreviene un malestar general, la respiración se pone frecuente y la circulación se acelera. Fácil es dar razón de estos fenómenos, pues siendo muy poco denso el aire necesario para el sosten de la vida, hay que multiplicar los actos respiratorios para obtener los mismos resultados. Esto es lo que sucede al que vá en un globo aerostático. Si todavía disminuyese mas la densidad del aire, se asfixiarían los animales, según diremos al tratar de la máquina neumática.

LECCION XX.

Sigue la teoria del aire.

306. *Ley de Mariotte.* Los gases pueden reducirse á menor espacio comprimiéndolos, y hay cierta relacion entre la intensidad de la compresion y el volúmen que ocupan; á lo que se ha llamado ley de Mariotte. Es la siguiente *el volúmen ocupado por un gas, está en razon inversa de las presiones* ó lo que es lo mismo, el gas ocupará la mitad del espacio que antes ocupaba, si se duplica la fuerza que lo estaba comprimiendo, la tercera parte si la fuerza es triple &c. Para probarlo se emplea el aparato representado en la fig. 165 llamado *tubo de Mariotte*, que consta de un tubo de vidrio encorvado *abc*, de ramas desiguales, pero que ambas se colocan en posicion vertical: la rama larga está abierta por su parte superior *a*, y la corta cerrada herméticamente en *c*: todo el aparato está situado en una tabla con su pié *fd*. Dos escalas, divididas en pulgadas y lineas, están colocadas una al lado de la rama larga y otra al de la corta: se empieza á hacer la esperiencia introduciendo cierta cantidad de mercurio que pueda llenar la porcion encorvada *ghk*, procurando que esten las estremidades del mercurio en un mismo nivel; para lo cual hay que colocar la tabla casi en una posicion horizontal, consiguiéndolo fácilmente despues de algunas tentativas; ya con esto queda la porcion *gc* de aire comple-

tamente separada, y experimentando ahora una presión igual á la de la atmósfera, puesto que la porción g del mercurio, está igualmente comprimida que la k , y que esta tiene evidentemente la atmósfera por encima. Hecho esto se echa mercurio por la rama larga; con lo que se irá disminuyendo el espacio gc ocupado por el aire, y se continúa echando hasta que se haya reducido el aire á la mitad de su volumen rc , lo que se conoce fácilmente por medio de la escala: si ahora tirando una línea horizontal desde r , que corte á la otra rama, se mide la columna de mercurio st , se hallará exactamente igual á la columna barométrica de aquel día: luego el volumen de aire se ha reducido á la mitad cuando la presión es doble; pues ahora hay la presión de la atmósfera, que está obrando en t , y además una columna barométrica que representa exactamente el peso de la atmósfera. Si el tubo fuese bastante largo y resistente para poder echar mucho mercurio, se observaría que el volumen de aire de la rama corta se reducía á la tercera parte del que tenía cuando se empezó la experiencia, si la columna de mercurio, contada desde el sitio correspondiente á donde se halla en la rama corta hasta la parte superior de la rama larga, es igual á dos columnas barométricas, que reunidas con la presión atmosférica forman el peso de tres atmósferas.

307. La ley de Mariotte es cierta para todos los gases, con tal que la presión sea solo de cuatro atmósferas; lo es igualmente para el aire atmosférico aunque sea de 27 atmósferas, como se comprobó por los experimentos de Dulong y Arago, de que tendremos ocasión de hablar al tratar de los vapores.

308. *Aeróstatos.* Así como los cuerpos cuya densidad es menor que la del agua sobrenadan en este líquido y suben á la superficie cuando se abandonan á sí mismos, si se colocan en el fondo de las vasijas, del mismo modo si hallamos un cuerpo cuya gravedad específica sea menor que la del aire, deberá ascender en este fluido. Los aeróstatos ó globos aerostáticos, con los cuales puede elevarse el hombre á una altura considerable en la atmósfera, estan fundados en este principio. Claro es que deberá elegirse para llenarlos el cuerpo de menor densidad, y este es el hidrógeno, pues la suya solo es de seis centésimas de la del aire. La envoltura que forma el globo debe tener las condiciones de ser ligera y de no dejar pasar por sus poros al hidrógeno, y esto se consigue con tafetan al cual se le dá un barniz de goma elástica. Para hallar el peso que puede levantar el globo no hay mas que calcular el de la envoltura con el hidrógeno contenido, y el de una masa de aire igual

al globo; la diferencia entre estas dos cantidades será el peso que se desea; pero nunca debe cargarse con todo él, pues como la densidad de la atmósfera va disminuyendo á proporcion que la altura es mas elevada, al llegar á esa capa de aire ya no ascenderia. Tampoco debe llenarse completamente por una razon análoga, pues disminuyendo la fuerza elástica del aire progresivamente segun se asciende, podria romperse el globo por la fuerza elástica interior. El hombre va situado en estos aparatos dentro de una barquilla de mimbres sumamente ligera, y debe llevar como lastre una porcion de saquillos de arena, con el objeto de disminuir el peso vaciándolos y ascender; cuando por el contrario quiere bajar tiene necesidad de abrir lentamente una válvula que está colocada en la porcion superior del globo, y que da salida á parte del hidrógeno.

309. Los viages aerostáticos mas célebres para las ciencias han sido el de Charles y Robert y el de Biot y Gay Lussac. Estos últimos en el año de 1804 salieron de Paris y subieron juntos hasta la altura de 4,000 méetros. Gay Lussac subió despues solo y llegó hasta 7,000 méetros sobre el nivel del mar, altura mayor que la de las montañas mas elevadas. Allí se siente un frio intensísimo, la sequedad del aire es tanta que los cuerpos que contienen alguna humedad, como las maderas, se abren y se hienden; el cielo aparece sumamente azulado, mezclado con un tinte que tira á negro: el silencio es sepulcral, como que se está á tan gran distancia de los cuerpos que pudieran producir ruido; no hay objeto que ver, la respiracion se pone anhelosa, y segun Mr. Gay Lussac, se experimenta una sensacion de aislamiento que no es fácil describir. Despues de haber navegado por los aires durante seis horas y de haber recorrido un espacio de mas de treinta leguas en linea horizontal, descendió lentamente y tocó en tierra en Ruan.

310. *Máquina neumática.* Describiremos esta máquina, que sirve para estraer el aire de un sitio determinado, esplicando las principales modificaciones que ha experimentado desde su invencion por Otto de Guericke hasta el presente; pues asi se entenderán mejor los usos de las partes de que se compone en la actualidad. Sea *ab* (fig. 166) un cuerpo de bomba, esto es, un cilindro hueco y cuyo calibre interior sea exactamente el mismo en todas partes, que tenga un émbolo *c*, movable por la varilla *cd*; y tan ajustado á las paredes del cilindro que no permita el paso del aire. Sean *f* y *g* dos conductos con sus llaves, que comuniquen con el cuerpo de bomba en cierta posicion de ellas, é impidan el paso del

aire en otras; y supongamos que se enrosque en la estremidad del conducto g el cuello de un balon h , del cual queremos extraer el aire. Para ello cerradas las llaves f y g se eleva el émbolo hasta m , y de consiguiente se formará un vacío en lo interior del cuerpo de bomba; abriendo ahora la llave g , parte del aire contenido en el balon saldrá de él para entrar en ab : cierro la llave g , abro la f y bajo el émbolo; á proporcion que este descende irá teniendo el aire contenido en el cuerpo de bomba mayor fuerza elástica, y llegará pronto el caso de que esta le obligue á salir por f ; mientras, sigue descendiendo el émbolo hasta la parte inferior del cuerpo de bomba, habiendo desalojado todo el aire; entonces se cierra la llave f , y el aparato está como cuando se empezó, con la única diferencia de que parte del aire ha salido del balon: volviendo á ejecutar las mismas operaciones se irán sacando nuevas porciones, disminuyendo á proporcion la densidad del que queda dentro. Una máquina neumática formada de esta suerte tendria muchos inconvenientes. En primer lugar el abrir y cerrar las llaves á cada movimiento del émbolo es una operacion penosísima, en la cual con facilidad puede uno equivocarse, abriendo una llave en vez de otra y perder todo el trabajo empleado. Por eso se sustituyeron desde luego válvulas á las llaves, disponiéndolas como se vé en la figura 167 en m y n : la primera se abre hácia arriba, la segunda hácia afuera. Para comprender bien el mecanismo de ellas, supongamos que estén cerradas y el émbolo c en la parte inferior. Si sube el émbolo, formándose un vacío por bajo de él, la elasticidad del aire contenido en el balon h abrirá la válvula m , y una porcion del aire pasará á la parte inferior del cuerpo de bomba; pero su densidad y fuerza elástica serán menores que la de la atmósfera, por ocupar ahora mayores espacio: la válvula n continuará cerrada, porque la elasticidad del aire exterior, mayor que la del interior, la comprime contra su abertura. Al empezar á bajar el émbolo adquiere mas fuerza elástica el aire del cuerpo de bomba, por irse disminuyendo el espacio que ocupaba, y bien pronto se cierra la válvula m , á cuya operacion contribuye su propio peso. El aire del cuerpo de bomba, que va reduciéndose á menor volumen por el descenso del émbolo, llega á adquirir tal fuerza elástica que abre la llave n y sale por ella todo el aire, volviéndola á cerrar la presión atmosférica, con lo que queda el aparato como al empezar, y en disposicion de sucederse en el mismo orden los movimientos.

311. Otro de los inconvenientes es el de no poder adaptar

á la parte inferior del cuerpo de bomba mas que vasijas cuyo cuello fuese estrecho: para evitarlo se encorvó el tubo de la parte inferior del cuerpo de bomba como en *fgh* (figura 168) y se le hizo terminar en el centro del círculo de cristal, sumamente liso y plano *lr*, que se llama la platina, porque en las primitivas máquinas era de metal. La campana de vidrio, que se coloca encima, está esmerilada por la parte inferior y para que se adapte mejor se le unta con grasa. Estas campanas, dentro de las cuales se colocan los cuerpos que se quieren observar en el vacío, deben tener una figura abovedada por la parte superior y ser bastante resistentes para que no se rompan con el peso de la atmósfera. Despues de hecho el vacío no es posible separar la campana de la platina, á causa de ese mismo peso; y si fuera necesario aguardar á que el aire poco á poco fuese entrando en la campana, se necesitaria esperar muchas horas (siendo la máquina buena) para hacer otra esperiencia. Por eso en la parte *k* del tubo se puso una llave, de la figura representada aparte en mayor escala; y que se coloca en tres distintas posiciones: en una de ellas el orificio *b* mira hácia *h*, y quitando entonces el tapon *c*, que comunica con el exterior, tiene libre entrada el aire en lo interior de la campana y de consiguiente con facilidad se desprende: en la segunda posicion de la llave, el principio *a* de un conducto que la atraviesa toda, es el que corresponde ó mira hácia *h*; en esta posicion el conducto *fgh* queda franco y asi puede la bomba extraer el aire: finalmente en la tercera posicion no corresponde agujero alguno á la porcion *hk* sino una parte maciza; de este modo queda interrumpida toda comunicacion entre la campana y el cuerpo de bomba; y se emplea cuando se quiere mantener una sustancia en el vacío por mucho tiempo, á fin de interceptar en lo posible el acceso del aire.

312. El tercer inconveniente, y muy grave, que tenia la máquina neumática, tal como la hemos descrito, es que á proporcion que se iba haciendo el vacío iba costando mas trabajo ó necesitándose de mas fuerza para levantar el émbolo, á causa de la presión atmosférica que, obrando en la parte superior de él, no estaba equilibrada por la inferior. Esto se remedió poniendo dos cuerpos de bomba *a* y *b* (figura 169) en vez de uno, haciendo que las varillas de los émbolos *cd*, *fg* estuviesen dentadas, y que sus dientes engranaran con una rueda *hk* tambien dentada, movida por un manubrio *rs*; los dos cuerpos de bomba tienen en esta disposicion un conducto particular, que reuniéndose despues en uno, va

á parar en fin á la platina de la máquina. Si suponemos que está casi hecho el vacío en la parte de los cuerpos de bomba situada debajo de los émbolos y que uno de estos esté elevado y el otro bajo, como representa la figura, para elevar el g habrá necesidad de vencer el peso de la atmósfera que gravita sobre él; pero una fuerza igual está actuando en d , que procura hacerlo descender; de consiguiente como al bajar este, arrastra hácia arriba al otro, las dos presiones atmosféricas quedarán equilibradas, y así al empezar á hacer el vacío como al concluir solo tendrémos que vencer el rozamiento de los émbolos con los cuerpos de bomba.

313. La disposicion de las válvulas, tal como las hemos descrito, presentaria muchos inconvenientes. En vez de la válvula m de la figura 167 se ha sustituido un tapon cónico de cuero p, q (fig. 169) que tapa la abertura correspondiente cuando es necesario y la deja descubierta cuando conviene, por estar unido dicho tapon á una varilla metálica que atraviesa los émbolos, como representa la figura, con rozamiento muy grande; la varilla termina por arriba en una especie de boton, con el cual se detiene en la parte superior de los cuerpos de bomba. A la válvula n de la figura 167 se sustituye otra en el cuerpo del mismo émbolo, y que consiste en una chapa metálica cuyo centro tiene un espigon: la chapa sirve para tapar una abertura del émbolo y el espigon está envuelto por una espiral de alambre, sujeta por la parte superior y tocando por la inferior con la chapa, para que la sujete mas contra la abertura. Estas dos válvulas están representadas en escala mayor en la figura 170.

314. A fin de conocer el grado de densidad del aire contenido en la campana de la máquina, hay delante de los cuerpos de bomba y comunicando con el conducto que vá á la platina, otro conducto tapado con una campana pequeña, en cuyo interior está lo que se llama *la probeta*, esto es, un tubo encorvado abc (fig 171) de ramas iguales, abierto por la estremidad c y cerrado por a ; lleno de mercurio desde a hasta b , y que permanece así, comprimiendo la estremidad a , en virtud de la presion de la atmósfera, que entrando por c llega hasta b : este tubo está colocado en una lámina metálica mn , que se atornilla por la parte inferior, que es un cilindro hueco, con el conducto de que hemos hablado. Hay escalas pertenecientes á una y otra rama divididas en pulgadas y líneas ó centímetros y milímetros. El cero de estas escalas está en un mismo nivel y corresponde al sitio en que se hallarian los niveles del mercurio si no estuviese cerrada la estre-

midad a . A medida que se va haciendo el vacío en la máquina, va descendiendo el mercurio en la rama a y subiendo de consiguiente en la c , mas nunca llegan al cero los niveles, por no poderse hacer el vacío perfecto, oponiéndose á ello dos causas, una matemática y otra física.

315. Matemáticamente se demuestra que no puede hacerse el vacío perfecto con la máquina neumática, porque si suponemos que la capacidad del cuerpo de bomba ab de la figura 167 sea la décima parte de la que presenta el balon h , y representamos por 1 esta última capacidad, en un movimiento completo del émbolo se habrá estraído $\frac{1}{10}$ del aire; de consiguiente quedará ahora en el balon $\frac{9}{10}$ del que antes habia; pero apesar de eso ocupará toda su capacidad: en el 2.º movimiento habrá salido $\frac{1}{10}$

de lo que habia ó $\frac{9}{100}$; y de consiguiente quedará $\frac{9}{10} - \frac{9}{100}$ ó lo que es

lo mismo $\frac{90}{100} - \frac{9}{100}$ ó $\frac{81}{100}$ ó bien $\frac{9^2}{10^2}$. Con el tercer movimiento saldrá $\frac{9^2}{10^3}$ y quedará $\frac{9^2}{10^2} - \frac{9^2}{10^3}$ ó $\frac{9^2 \cdot 10}{10^3} - \frac{9^2}{10^3}$ ó bien $\frac{9^2(10-1)}{10^3}$

ó lo que es lo mismo $\frac{9^3}{10^3}$. Fácil es demostrar que siempre se sigue esta

ley, y que de consiguiente al cabo de n movimientos de émbolo quedará una cantidad de aire representada por $\frac{9^n}{10^n}$; y como este quebrado no

puede reducirse á cero, por grande que sea n , se infiere que no es posible hacer el vacío perfecto con la máquina neumática.

316. Aunque fuese posible matemáticamente hablando hacer el vacío con la máquina neumática siempre lo habia de impedir el paso del aire del exterior al interior, que se efectua por entre la campana y la platina, por entre los émbolos y el cuerpo de bomba, por las uniones de estos cuerpos &c: y principalmente porque llega el caso en que la elasticidad del aire contenido en lo interior de la máquina no tiene fuerza suficiente para abrir las válvulas de los émbolos. Babinet ha obviado hasta cierto punto este inconveniente por un mecanismo ingenioso, que no esplico por no detenerme mas, pero con el cual se consigue ir acumulando en uno de los cuerpos de bomba muchas cantidades de este aire que no tiene fuerza para abrir las válvulas, hasta que despues de su reunion, comprimiéndolo el émbolo mismo, adquiere suficiente elasticidad, abre la válvula y sale. Con las máquinas neumáticas perfeccionadas de esta suerte se logra hacer el vacío hasta el punto

que solo le falta á la probeta descender dos milímetros para que sea perfecto.

317. Muchos experimentos se hacen con la máquina neumática, de los cuales se han referido ya algunos, porque servian para probar las teorías que hemos explicado. Vamos á dar cuenta de los principales. Si se pone una luz debajo de una gran campana en la máquina neumática, se notará que en cuanto empieza á trabajar la máquina tiene menos brillo, y que al fin se apaga. Esto consiste en que falta el oxígeno, que es uno de los cuerpos de que se compone el aire, el cual es indispensable para la combustion. El humo que queda despues de apagada la luz baja hácia la platina, en vez de subir, por ser mas pesado que el poco aire contenido dentro de la máquina. Un aparato que viene á ser unos eslabones que chocando contra piedras de chispa ocasionan un sin número de ellas cuando se hace la esperiencia en el aire, deja de producir las en el momento que se hace el vacío. Se prueba que el aire es indispensable para la respiracion de los animales introduciendo un pájaro ó cualquiera otro animal debajo de la campana y haciendo el vacío; pues se notará que á proporcion que se extrae el aire se agita el animal, como buscando aire, y al fin cae y muere. Dos causas contribuyen á su muerte; una la falta de oxígeno que le impide respirar, y otra el que el aire contenido en lo interior de las partes de su cuerpo, no teniendo la fuerza elástica del aire exterior que lo comprima, rompe las partes en que estaba contenido y revienta el animal.

318. Con dicha máquina, y con un aparato denominado baroscopio, se demuestra que no pesa lo mismo un cuerpo en el aire y en el vacío; y que de consiguiente para las operaciones de hallar la densidad de los cuerpos, cuando se quiere tener mucha exactitud, es indispensable corregir las observaciones relativas á los pesos, por solo esta causa. El baroscopio es un peso pequeño colgado de un pié *c* (fig. 172), que tiene dos bolas metálicas, una *b* grande y hueca, otra *a* pequeña y maciza; ambas pesan igualmente en el aire; pero en el momento en que cubierto el aparato con una campana, y colocado en la máquina, se hace el vacío, se nota que se rinde el peso del lado de la bola hueca. La causa es porque esta bola desaloja mayor cantidad de aire que la maciza, y como pesadas en el aire pierden de su peso el de la cantidad de fluido desalojado, cuando se ha hecho el vacío recobran ese peso perdido; y la bola hueca, por tener mas volúmen, debe recobrar mas peso y vence la balanza de su lado.

319. La presión del aire obrando sobre el nivel de los líquidos se opone á que hiervan, así es que con muy poco calor se logra que entren en ebullición en la máquina neumática. El éter hierve en ella á la temperatura ordinaria, y lo mismo le sucede al agua tibia. Para estas esperiencias basta solo colocar en una copa el éter ó el agua tibia y hacer despues el vacío.

320. Los líquidos contienen en general aire disuelto en ellos, y ademas hay una capa de aire entre los líquidos y las paredes de los vasos que los contienen, pues colocados en la máquina se ve salir una gran porción de burbujitas.

321. Muchas esperiencias de máquina neumática dependen de la fuerza elástica del aire que ciertas sustancias contienen, la cual va produciendo fenómenos mas perceptibles á proporcion que disminuye la presión exterior del aire contenido en la campana de dicha máquina. Así por ejemplo, si se pone debajo de la campana un aparato compuesto de una bola de vidrio hueca *ab* (fig. 173) con una abertura en su parte superior por donde pasa un tubo de vidrio *fg*, abierto por ambas estremidades y que por la inferior esté cerca de lo interior de la bola, que se cierre todo acceso al aire entre las paredes del tubo y la bola, por el sitio en que atraviesa á esta, y se llena de agua hasta *cd*, se notará al hacer el vacío, que el aire contenido encima del agua, dentro de la bola, comprime con fuerza al líquido y le obliga á salir formando un chorro por *f*. Del mismo modo, la espuma de cerveza y el ojo de jabon se agrandan considerablemente dentro de la máquina. Si á un huevo se le hace un agujero pequeño, que sirve para introducir por él un alambre y destruir las membranas que envuelven la clara y la yema, y hecho esto se coloca con la abertura hácia bajo en un aparato que se denomina *pinza de huevo* (compuesto de una campana *ab* (fig. 174), con una abertura en la parte superior por donde pasa una varilla *cd*, con rozamiento tan fuerte que impide todo paso del aire entre ella y la abertura, la cual está terminada superiormente en una argolla *e* é inferiormente en dos chapas como unas pinzas, que en su centro tienen una abertura para abrazar el huevo) colocado este en la posición dicha y metiendo las pinzas en un vaso, se observará que á proporcion que se hace el vacío, el aire contenido en el interior del huevo, va espeliendo por la abertura todos los líquidos que en él se hallaban; y si se baja despues la pinza hasta que toque al fondo del vaso, y se hace entrar el aire en la máquina, todo el líquido se introduce de nuevo.

322. Si se rompe un huevo por la estremidad mas estre-

cha, se vacía, y se le quita la mitad del cascaron correspondiente á esta parte, se hallará por dentro en el sitio de la estremidad mas gruesa, una cantidad de aire que eleva una membrana que en su estado natural reviste toda la cáscara. Poniéndolo así en la máquina, este aire va separando la membrana del cascaron, hasta que sale por la porcion rota y se pone convexa hácia afuera, asemejando por su figura al huevo antes de romperse.

323. Las sustancias orgánicas no entran en putrefaccion en el vacío, y en esto está fundada la industria de conservar por muchos años los alimentos condimentados sin que se pierdan, metiéndolos en cajas de hoja de lata ó de plomo, de las cuales se ha estraído el aire antes de cerrarlas.

LECCION XXI.

Sigue la teoria del aire.

324. En vez de estraer el aire de un sitio dado, conviene á veces por el contrario, acumular mayor cantidad ó condensarlo; lo que se consigue con los aparatos siguientes.

1.º *Embolo para condensar el aire.* Consta de un cilindro hueco ó cuerpo de bomba *ab* (fig. 175), que en la parte superior presenta una abertura *c*, situada á una distancia de la estremidad superior del cuerpo de bomba, mayor que la altura del émbolo *d*, á fin de que cuando haya llegado este á la parte mas alta, pueda entrar el aire exterior por la abertura en el cuerpo de bomba. En *f* hay una rosca para adaptarse á la vasija en que va á acumularse el aire, y en *g* una válvula que se abre hácia bajo. Si queremos acumular aire en el balon *A*, que lo supondremos con una tuerca á propósito para el tornillo *f*, empezaremos llevando el émbolo hasta *a*, á fin de que quede descubierta la abertura *c*. Al bajar el émbolo llevará consigo la columna de aire contenida en el cuerpo de bomba, á la cual servirá de tapadera el émbolo mismo, impidiéndose toda comunicacion entre ella y el aire exterior; todo este aire irá entrando en el balon *A*; mas despues al subir el émbolo, formándose un vacío por bajo de él en el cuerpo de bomba, la elasticidad del aire de *A*, que aun es mayor que la de la at-

mósfera, cerrará la válvula y continuará cerrada hasta tanto que haya llegado de nuevo el émbolo á la parte superior, que haya entrado aire por *c* y que bajando el émbolo se comprima bastante la columna de él, contenida ahora en el cuerpo de bomba, para adquirir mayor elasticidad que la del balon. Entonces se abre de nuevo la válvula para que entre esta nueva cantidad de aire y así sucesivamente. A cada movimiento del émbolo se introducirá en el balon el mismo volúmen de aire, y por lo mismo se podrá ir aumentando indefinidamente la densidad y fuerza elástica del contenido en su interior.

325. 2.º *Máquina de compresion.* Es enteramente análoga á la máquina neumática, excepto el que las válvulas se abren en sentido contrario. El sitio donde se acumula el aire, que es *de* (fig. 176), está sujeto con barras muy fuertes metálicas y todo él rodeado de un enrejado de alambres, á fin de que los pedazos de cristal no hieran al operador en caso que reviente. En vez de probeta y en el sitio de ella hay un tubo largo de vidrio abierto por sus dos estremidades, la superior comunica con la atmósfera y la inferior está introducida en una vasija que contiene mercurio, hasta cuyo nivel llega el aire comprimido de lo interior de la máquina. Claro es que obrando sobre el nivel del mercurio lo obligará á subir por el tubo; y por la altura á que llegue se podrá calcular la fuerza elástica del aire contenido en la máquina. En esta y en la neumática para que produzcan mas efecto es indispensable que los émbolos lleguen á tocar, aunque no con fuerza, al fondo del cuerpo de bomba.

326. *Fuente de compresion.* Es una vasija metálica *ab* (fig. 177) muy sólida, para que pueda resistir la fuerza del aire comprimido, y cerrada por todas partes; pues la abertura *m*, por donde pasa el tubo *cd*, está cerrada y soldados sus bordes con las paredes de dicho tubo. Este tiene una llave en *f*, una tuerca en la estremidad *c* en que entra la rosca del émbolo para condensar el aire ya explicado (n.º 324), y está libre y dentro de agua, por la parte inferior *d*: el nivel del líquido llega hasta *gh*. Abierta la llave y haciendo obrar el émbolo, se va introduciendo aire por lo interior del tubo, sale de él y atraviesa el agua y va á colocarse encima de su nivel. Cuando ya se ha acumulado suficiente cantidad, se cierra la llave *f*, se destornilla el émbolo y se enroscan en *c* unos tubos con varias aberturas pequeñas: abriendo de nuevo la llave salta el agua hasta una altura muy considerable, formando chorros por cada abertura del tubo. La causa es bien clara, de-

pende del aire que obra sobre el nivel del agua, con una fuerza elástica mayor que la que tiene exteriormente. Si dicha fuerza fuese de dos atmósferas subiría el líquido á mas de treinta pies.

327. *Fuente de Heron.* Consta de tres vasijas A, B, C (fig. 178), colocadas una encima de otra: la B está soldada por la parte superior con el fondo de la A, y la inferior C está completamente aislada: un tubo *ab* sale del fondo de A, y atraviesa la B sin comunicar con ella, estando soldadas al tubo las aberturas que le dan paso; entra en la vasija C, estando tambien soldada á él por *c* y se abre en *b* muy cerca del fondo. De la parte superior de C, y comunicando con su cavidad, se levanta otro tubo *fg*; entra en la vasija B del modo ya dicho y se abre hácia la parte superior. Finalmente de cerca del fondo de B, sale otro tercer tubo *hk*, que se abre al exterior en *k*, adelgazándose. Para hacer experimentos con está máquina se empieza echando agua en la vasija A, la cual entra por el conducto *ab* y casi llena la vasija C. Hecho esto se invierte todo el aparato, y la mayor parte del agua entrará por *fg* é irá á la vasija B. Se vuelve de nuevo á colocar en la posición primera, y suponiendo que el líquido de la vasija B tenga ahora su nivel en *mn* y que se pone de nuevo agua en A, esta se irá reuniendo en C hasta *rs*: si entra ahora nueva cantidad de agua desalojará el aire contenido encima, el cual se verá obligado á pasar por *fg* é ir á la parte superior del agua de B. Acumulándose allí, obrará como en la fuente de compresion, y hará salir el agua por *k*, formando un saltadero de algunos pies: pero eso no es permanente, pues en el momento que se llenen de agua las vasijas B y C cesará el efecto.

328. *Bomba de tonelero.* Llámase así un instrumento de vidrio ó metal *abcd* (fig. 179), hueco y que termina en *a* y en *d* en aberturas muy pequeñas. Para usarlo se introduce en el líquido que se quiere extraer, dejando abierta la abertura *a* de la parte superior; claro es que el nivel dentro del instrumento estará, después de algun tiempo, á la misma altura que el del líquido exterior. Se tapa ahora exactamente con el dedo la abertura *a*, para impedir la entrada del aire, y se saca el instrumento. Se notará que salen algunas gotas de líquido por *d*; pero que después se suspende la salida. Esto consiste en que habiendo aumentado el espacio que ocupaba el aire, por la salida de estas gotas, ha disminuido su fuerza elástica y de consiguiente esta fuerza y el peso de la columna de líquido desde *b* á *d*, ya son iguales á la presión de la atmósfera que obra en *d*, y el líquido está en equilibrio. Si se destapa la abertura *a*, comunicará la parte superior con la atmós-

fera y saldrá el líquido. Este instrumento sirve para poder extraer cierta cantidad de vino por la boca del tonel, y de aquí el nombre que tiene.

329. *Fuente intermitente.* Se compone de una vasija de cristal *abc* (fig. 180), cerrada superiormente con un tapon esmerilado; inferiormente termina en un cuello largo, cortado en bisel en la estremidad; *ed* es un tubo que sale del principio del cuello y va á parar cerca del tapon, *fg* son conductos pequeños por donde ha de salir el agua, debiendo haberse calculado su número y diámetro, de modo que el gasto de todos sea mayor que el del orificio *h* de la vasija *kr*. Para hacer el experimento se echa agua por la abertura *a*, hasta que llegue su nivel á *zx*, por ejemplo; desde luego empezará á salir por los orificios *f* y *g*, la cual cae en el vaso *lhr*: así continuará mientras esté descubierta la estremidad *c*, pues el aire exterior entrará por ella y llegará siguiendo el tubo *cd*, á la parte superior del líquido; mas en el momento que haya salido suficiente cantidad para tapar la estremidad *c*, no teniendo comunicacion con la atmósfera el aire comprendido en *az*, cesará la salida por lo que se acaba de decir en el párrafo anterior. Mientras, va saliendo líquido por la abertura *h*; y bajando el nivel en *lhr*, hasta que quede descubierta *c*, entonces entra ya el aire por el tubo *cd* y comienza de nuevo á caer el agua por *fg*. Por esas alternativas es por lo que se ha llamado el aparato fuente intermitente.

330. *Lámpara de hidrógeno.* Consta de dos vasijas de cristal: la *ab* (fig. 181) tiene la boca esmerilada, en donde entra ajustada la base del cuello de la otra *cd*; de suerte que no haya comunicacion entre el aire exterior y el interior de ambas: en *c* otro tapon, tambien esmerilado, se adapta perfectamente á su respectiva abertura, con el mismo objeto. Hácia la estremidad *d*, tiene el cuello de la segunda vasija un anillo de zinc *f*; en *h* hay un conducto terminado por un orificio exterior, sumamente estrecho y una llave *k* sirve para abrir ó cerrar cuando se quiera, la varilla *r* termina en una esponja de platino *m*, que está colocada encima y á corta distancia del orificio mencionado. Quitando el tapon *c*, se introduce una mezcla de agua y ácido sulfúrico, la cual cae en la vasija *ad*, que se debe llenar completamente, aliojando un poco la union de las dos vasijas para que salga el aire, y despues volviéndolas á unir. Estando ahora el zinc en contacto con la mezcla de agua y ácido sulfúrico, empieza á desprenderse hidrógeno, que se dirige á la parte superior de la vasija *ab* y va empujando el líquido en virtud de su fuerza elástica, y obligándolo á entrar en la *B*:

asi que ha pasado suficiente cantidad, queda en seco el anillo f , no hay mas desprendimiento de hidrógeno y se tiene en ab un depósito de este gás; abriendo la llave sale con fuerza el hidrógeno por la abertura, en virtud de la presión que experimenta, y se inflama chocando con la esponja: cerrandola llave, como el nivel del líquido ha bajado y el zinc está en contacto con el agua acidulada, empezará de nuevo la acción.

331. *Manómetros*. Son instrumentos que sirven para medir la fuerza elástica de un gás cuando es muy considerable. Se reducen simplemente á un tubo dispuesto como $abcd$ (fig. 182), cerrado por la estremidad a , abierto en d , por donde comunica con el gás cuya fuerza elástica se quiera medir: la porción fbg contiene mercurio, el cual está á un mismo nivel fg cuando dicha fuerza es igual á la de la atmósfera. Si dividimos la porción fa en 100 partes iguales, queda construido el manómetro; pues cuando el nivel f llegue á los 50.^o, en cuyo caso el aire contenido en el instrumento ocupa un espacio igual á la mitad de lo que antes ocupaba, la fuerza elástica es de dos atmósferas; &c. Hay que advertir sin embargo, que como el mercurio al subir en una rama baja en la otra, se debe añadir al número que indique cual es la fuerza elástica del gás, la diferencia de la altura del mercurio en las ramas ba y bc . Para no tener necesidad de hacer esta corrección, suele disponerse el manómetro como representa la figura 183; porque asi puede considerarse como nula la variación entre los distintos niveles del mercurio, en la parte ancha del tubo g .

332. El aparato llamado *diablillo Cartesiano* es otra prueba de la compresibilidad y elasticidad completa del aire. Se compone de una bola hueca de vidrio a (fig. 184), que en la parte inferior tiene una abertura pequeña y un gancho de donde se cuelga un muñeco de esmalte, sustancia cuya densidad es mayor que la del agua; asi como tiene una menor que este líquido la bola de vidrio con el aire encerrado en su interior. Colóquese en una vasija cilíndrica, larga y de poco diámetro, completamente llena de agua y se observará que en virtud de la compresibilidad del aire, se introduce alguna cantidad de líquido en la bola, llegando el nivel hasta cd , por ejemplo: se tapa en seguida la boca de la vasija con un pedazo de vegiga, atándola fuertemente en sus bordes. Si hecho esto se comprime con la palma de la mano, ó con cualquiera otra cosa, encima de la vegiga, se notará que como el agua es apenas compresible, según veremos, obra la fuerza sobre el aire contenido dentro de la bola, disminuye de volumen en vir-

tud de la compresion, entra en ella mas cantidad de agua, adquiere por esto mayor densidad el conjunto de la bola y el diablillo, y cae al fondo de la vasija. Si se levanta la compresion de encima de la vejiga, vuelve á recobrar su volúmen el aire contenido en la bola, desaloja el agua que habia entrado, se hace todo menos denso que el liquido y sube á la superficie. Estos movimientos se pueden repetir cuantas veces se quiera.

333. *Compresibilidad de los líquidos.* Hemos dejado para ahora el tratar de la compresibilidad de los líquidos, porque hasta no haber estudiado la ley de Mariotte y el manómetro no estábamos en el caso de entender bien los experimentos necesarios para comprobarla. Los antiguos creian que los líquidos no eran compresibles, y los académicos del Cimento, al ver en la experiencia citada (n.º 30), salir el agua en forma de rocío por las paredes de la bola de oro, dedujeron aunque sin razon, que el agua carecia de aquella propiedad; sin embargo, ciertos fenómenos, de que hablarémos en adelante, hacian siempre sospechar que no podia carecer de ella, aunque fuese sumamente poca. Por otra parte la experiencia de los académicos florentinos mas bien probaba la porosidad del oro, que la incompresibilidad del agua; pues si esta fuera muy pequeña es claro que el resultado de dicha experiencia habria de ser el mismo. Modernamente se han empleado varios medios para probar que los líquidos en general eran compresibles; pero nosotros solo describirémos el método empleado por Oersted. Consta el aparato de una vasija cilindrica de cristal muy grueso *ab* (fig. 185), cerrada por la parte inferior, donde tiene un anillo metálico para reforzarla y un pie *c*: en la parte superior hay otro anillo semejante, terminado en una tapadera horadada *df*, cuya abertura tiene una tuerca donde se enrosca con gran fuerza otro cilindro menor *de*. Este presenta una rosca *eg*, por donde pasa un tornillo grueso, que es el vástago de un émbolo destinado á comprimir el agua, y para ello se hace la fuerza en la especie de llave *h* que termina dicho tornillo. En *n* hay una abertura, por la cual sale el aire como dirémos; y en *f* un embudo *fk* (con su llave) que termina en *k*. Dentro de este aparato se introduce otro denominado *piezómetro*, que está representado aparte y en escala mayor, y que se compone de una pieza metálica *lm*, que sostiene un tubo cilindrico y grueso en la parte inferior *np*, que remata en otro estrecho semejante á los de termómetro. Este último está graduado y sus graduaciones representan una fraccion conocida de la capacidad del cilindro grande. El modo de graduarlo es análogo

al que ya hemos descrito al hablar de los tubos capilares (número 243), y por eso omito entrar en pormenores. Todo él hasta el cero de la division está lleno de agua destilada y hervida, para que no contenga aire, y en la parte superior del líquido se pone un índice ó columna pequeña de mercurio. Las graduaciones están señaladas en la lámina ó pieza metálica que lo sostiene: allí mismo hay un tubo pequeño recto *qr* abierto por la parte inferior y cerrado por la superior, que va á servir de manómetro. La pieza *lm* está sostenida por dos hilos unidos á un corcho.

334. La experiencia se hace de este modo: despues de haber llenado de agua el aparato *abc*, é introducido el piezómetro, de suerte que se vea bien donde está el índice de mercurio, se coloca la pieza *de*, elevando el émbolo hasta la parte superior, para dejar franca la abertura *n*, se echa mas agua por el embudo *k*, se abre la llave *f*, para que se llene todo el aparato y salga el aire por *n*: bajando ahora el émbolo, hasta que tape esta abertura, y cerrando despues la llave *f*, se empieza á comprimir el agua. Continuando la accion del émbolo se observarán entonces dos fenómenos: uno que el volúmen del aire va siendo menor en el manómetro; marcando el instrumento en la escala la presion que está experimentando el agua; el otro es el descenso del índice de mercurio, por el que se calcula tambien quanto ha disminuido de volúmen para dicha presion. Oersted, con al aparato descrito, comprimió el agua con una fuerza equivalente á seis atmósferas y media, y halló que por cada atmósfera se disminuía el volúmen del agua en 45 millonésimas del que tenia antes de la compresion; pero por no haber atendido á que el tubo y receptáculo donde estaba contenido el agua experimentaba una contraccion, no es aquel número enteramente exacto. Colladon y Sturm atendiendo á esta circunstancia han hallado que el agua destilada privada de aire á cero grados se contraía para una atmósfera 51,3 millonésimas del volúmen que ocupaba primitivamente, que el mercurio era el líquido menos compresible, pues con la misma fuerza solo se comprimía 5 millonésimas y en fin averiguaron tambien el número que indicaba la compresibilidad de otros muchos líquidos.

335. *Sifon*. Llámase así un aparato sumamente sencillo, que se reduce á un tubo encorvado *abc* (fig. 186), abierto por ambas estremidades *a* y *c*, cuyas ramas son desiguales; la corta *ab* se introduce en un líquido: se hace despues el vacío en lo interior del sifon, del modo que diremos; y empieza á salir dicho líquido por la estremidad *c*; así sirve con mucha frecuencia dicho instru-

mento para trasvasar: sea mn el nivel del líquido, en donde está introducida la rama corta; y en donde obra la presión atmosférica, que también actúa en la porción contenida dentro de la rama del sifón, pues entra el aire por la estremidad c : por eso estos dos niveles son iguales. Si ahora, por un medio cualquiera, se hiciese el vacío en lo interior del sifón, (con tal que la distancia entre el nivel y el punto b no fuese mayor que la columna del líquido equivalente al peso de una atmósfera) subiría hasta dicho punto; y cayendo desde allí por su propio peso, vendrá hasta la estremidad c , que suponemos cerrada, puesto que debe estarlo para que se haya formado un vacío en lo interior del instrumento. Si cuando todo él está lleno de líquido, abrimos la estremidad c , caerá toda la porción comprendida entre b y c ; mas como seguirán á esas las moléculas que están en la parte superior de ab y que sucesivamente van subiendo, siempre está el aparato en las mismas condiciones, hasta que el nivel está ya mas bajo que la abertura a del tubo, en cuyo caso, claro es que dejará de salir. Tampoco saldría si la rama bc fuese menor que la ab , ó mejor dicho, que la distancia que hay desde b al nivel del líquido, pues si fuese el sifón como el abc (fig. 187), y que lo suponemos lleno, como el peso de la columna bc es menor que el de la ab , vencerá esta última y el líquido contenido en esta rama se volverá adentro de la vasija.

336. No es precisamente la longitud de las ramas la que debe considerarse para calcular si servirá ó no para trasvasar, sino las distancias verticales que hay desde el punto mas elevado del sifón, al nivel del líquido por una parte y á la estremidad de la rama no sumergida por otra.

337. Al tratar de la teoría de este instrumento supusimos que se hubiese hecho el vacío en su interior; y esto se obtiene generalmente aspirando el aire por la estremidad de la rama larga; pero como entonces el líquido entra en la boca del que practica esta operación, se emplea para evitarlo un tubo lateral df (fig. 188), que comunica en f con lo interior de la rama larga, y que tiene en g una bola hueca, en donde pueda acumularse el líquido. Introducida la rama corta, tapando perfectamente la estremidad de la larga y aspirando por el tubo lateral, se logra llenar el sifón, y suspendiendo la aspiración cuando llega el líquido á la bola y abriendo la estremidad cerrada, empieza á correr hácia el exterior. También se puede hacer que se desaloje el aire del interior del sifón valiéndose para ello del líquido mismo que se quiere trasvasar; no hay para eso mas que llenarlo completamente, tapar las

estremidades, introducir la rama corta en el líquido y destapar.

338. Cuando un sifon está trabajando mucho tiempo, aunque se encuentre todavía el nivel del líquido á la altura competente, deja de producir su efecto por entrar poco á poco aire y colocarse en la corvadura superior, llegando al fin á separar las dos columnas de líquido; para obviar este inconveniente se suele poner una bomba en la parte superior de dicha corvadura, para extraer el aire acumulado.

339. Hay sifones sumamente cómodos, porque siempre están cargados; tal es el *abc* representado en la figura 189; cuando se llenan del líquido que se quiere trasvasar, se conservan llenos porque la atmósfera, que está obrando en las estremidades *a* y *c*, obliga al líquido á mantenerse elevado hasta *b*. Aunque las dos ramas de estos sifones son iguales, cuando se quiere uno servir de ellos, no hay mas que introducir una de las ramas profundamente en el líquido, y como solo se debe contar lo alto de la rama corta en los sifones desde dicho nivel, queda la otra mas larga.

340. Tambien se emplea á veces en los laboratorios un sifon compuesto de un tubo encorvado *abc* (fig. 190), y de otro lateral con una bola hueca *f*, cerrada en *h*; calentando esta bola con una lámpara de espíritu de vino, sale la mayor parte del aire contenido en el sifon; introduciendo ahora la rama corta en el líquido, y tapando con el dedo la estremidad de la rama larga, á proporción que se va enfriando el aparato, disminuye la fuerza elástica del aire, y de consiguiente preponderando la de la atmósfera, que actua sobre el líquido, se carga el sifon.

341. *Tubos de seguridad.* La teoria de estos aparatos de química, está fundada en la presión del aire. Si suponemos que una retorta *a* (fig. 191) se ponga al fuego, el aire que está contenido dentro, saldrá primero y atravesará el agua de la cuba neumática hasta salir al exterior. Continuando la acción del fuego, se combinarán ó descompondrán las sustancias contenidas en lo interior de la retorta, y se desprenderá un gás que saldrá, por tener mas fuerza elástica que el aire atmosférico, y se recogerá en campanas colocadas en dicha cuba; mas al terminarse la operación, ó si se quita el fuego de la retorta, disminuyendo la fuerza elástica del gás, prepondera la presión atmosférica y obliga al agua á subir por el tubo *bc*: si este líquido, frio como está, cayese en la retorta que se halla aun caliente, infaliblemente la rompería. Para impedirlo han ideado los químicos el unir á la retorta un tubo, que llaman de seguridad, que lo representamos aplicado al cuello de la

retorta en la figura 192. Como se vé consta principalmente de un tubo encorvado *abc*, que en una de las corvaduras tiene una bola *b*, terminando por una de sus estremidades *a* en lo interior del otro tubo *mn*, que sirve para que comunique la retorta con la cuba pneumato química, y por la otra *c* en una porcion ensanchada á manera de embudo. Se echa líquido por esta estremidad, hasta llenar la mitad de la bola, quedando de este modo interceptada la comunicacion con el aire exterior, y pudiendo servir el tubo en lugar de manómetro, para conocer la fuerza elástica del gás contenido en lo interior de la retorta. Cuando dicha fuerza disminuye considerablemente, la presion de la atmósfera que obra en *c*, conduce allíquido contenido en el tubo de seguridad, de *r* á *s*; en cuyo caso ya puede entrar el aire atmosférico, atravesando el líquido de la bola, é introducirse en lo interior de la retorta, impidiendo asi que esta se rompa. Igual mecanismo tienen los tubos de seguridad rectos que se aplican á los frascos del aparato de Woolf.

LECCION XXII.

Sigue la teoria del aire.

342. *Bombas* son unos instrumentos destinados á elevar los líquidos, y ea general el agua : toda bomba se compone de un cilindro hueco llamado *cuerpo de bomba*, de otra pieza cilíndrica y maciza, denominada *émbolo*, que entra muy ajustada en el cuerpo de bomba, y que sube y baja mediante una varilla á que está unida; y finalmente en casi todas hay ciertas compuertas ó *válvulas*, colocadas de diverso modo segun las especies de bombas. Tambien tienen algunas varios tubos huecos ó conductos, denominados los unos *tubos de aspiracion*, y los otros *tubos de descarga*.

Las bombas se dividen en *simples y compuestas*; las primeras se subdividen en tres géneros, que son *aspirantes, impelentes y sublevantes*. Las compuestas están formadas de algunas de las simples.

343. *Bomba aspirante*. Consta esencialmente (fig. 193), de un cuerpo de bomba *ab*, del émbolo *c*, movable con la varilla *cd*, y de un tubo de aspiracion *bd*, en general de un diámetro menor que el cuerpo de bomba, tubo que se introduce en el líquido, en cuyo nivel está obrando la atmósfera: si se levanta el émbolo, formándose un vacío en lo interior del cuerpo de bomba, la pre-

sion de la atmósfera obligará al líquido á subir. Aunque esta es la bomba aspirante mas sencilla, sin embargo es fácil ver que no podría bajarse de nuevo el émbolo, sin que todo el líquido aspirado saliese otra vez de lo interior del cuerpo de bomba. Por eso se le han aplicado válvulas y combinado con algunas de las otras dos especies de bombas, como veremos al tratar de las compuestas. Habiendo dicho que era la presión de la atmósfera la causa del ascenso del líquido, claro es que no producirá su efecto cuando se quiera elevar el agua á una altura superior á la que equilibra la presión atmosférica; ni que tampoco obrará en el vacío; y efectivamente hay un aparato para probar esto último, que consiste en una campana de vidrio *ab* (fig. 194), en cuya parte superior se sitúa una bomba aspirante *cd*, cuyo tubo de aspiración *fg* es de vidrio, y está en lo interior de la campana. Colocado este aparato en la máquina neumática, y poniendo un vaso con agua, en cuyo líquido entre el tubo de aspiración, después de haber hecho el vacío, se nota que no sube el agua en la bomba.

344. *Bomba impelente*. Sea un cuerpo de bomba *ab*, (fig. 195) abierto por la parte inferior ó conteniendo en su fondo varios agujeros por donde entre agua, cuyo nivel esté en *df*, de suerte que la parte inferior de la bomba esté sumergida; sea *c* el émbolo y *lkm* el tubo de descarga, *g* y *k* sean dos válvulas, que ambas se abran hácia arriba, la *g* colocada en el cuerpo de bomba, y la *k* en el tubo: el nivel del líquido estará á la misma altura en todas partes. Si se baja el émbolo, comprimiendo el nivel de lo interior del cuerpo de bomba, cerrará la válvula *g*, y hará que enfile el agua comprendida en *h*, por el tubo de descarga, abriendo el mismo líquido la válvula *k*; pero como el tubo tiene mucho menor calibre que el cuerpo de bomba, el agua comprendida en *h* al pasar á *lkm* ocupará una gran altura, y saldrá por el orificio *m*. Aunque cuando suba el émbolo, no retrocederá el agua contenida en dicho tubo, por impedirlo la válvula *k*, que se cierra con el peso de la columna de líquido; mas sí entrará nueva cantidad en *h*, y bajando de nuevo el émbolo, comienza otra vez el mecanismo indicado. Es evidente que en esta bomba no tiene acción la presión atmosférica, y que se necesita hacer tanto mas esfuerzo al bajar el émbolo, cuanto mayor sea la distancia que haya entre el nivel del líquido y el sitio en donde está el nivel, en el tubo de descarga.

345. *Bomba sublevante*. Se compone del cuerpo de bomba *ab* (fig. 196), del émbolo *ch*, en donde existe una válvula *d*, que se abre hácia arriba y ocupa todo su grueso, y de otra válvu-

la f , que se halla en la parte inferior del cuerpo de bomba. Sea mr el nivel del agua y supongamos que al empezar el movimiento, todas las válvulas están cerradas subiendo el émbolo, se formará un vacío en lo interior del cuerpo de bomba, y si cuando ya haya entrado suficiente cantidad de agua, se baja el émbolo, se cerrará en primer lugar la válvula f , por el peso del líquido, y en segundo se abrirá la d , á causa de la impenetrabilidad; el agua se irá colocando en la parte superior del émbolo y al volver á levantar este, se cerrará la válvula d y se elevará el líquido sobre c , saliendo finalmente por el tubo de descarga s .

346. *Bombas compuestas.* Una de las mas comunes es la combinacion de la aspirante é impelente; tal es la representada en la figura 197; ab es el cuerpo de bomba, c el émbolo, bd el tubo de aspiracion, ef el nivel del agua en el depósito, g una válvula colocada en la parte superior del tubo de aspiracion, hk un tubo de descarga, y l otra válvula de dicho tubo. Es muy fácil concebir su mecanismo; suponiendo que todas las válvulas estén cerradas, al subir el émbolo se formará un vacío en el cuerpo de bomba, el aire contenido en el tubo de aspiracion abrirá la válvula g y á la par que entra en ab , subirá el líquido en el tubo de aspiracion hasta cierta altura; al bajar ahora el émbolo, se cierra la válvula g por su propio peso, y el agua del tubo de aspiracion se mantendrá á la misma altura á que llegó; el aire contenido entre la parte inferior del émbolo y la porcion bh , va condensándose mas y mas, hasta que adquiere una fuerza elástica superior á la de la atmósfera, y bastante enérgica para abrir la válvula l del tubo de descarga y salir al exterior. A otro movimiento ascensional del émbolo sube mas la columna de líquido, hasta que entra por fin en el cuerpo de bomba, entonces al bajar el émbolo se cierra la válvula g , por el peso del líquido; y comprimida ahora el agua por la parte inferior del émbolo, entra en el tubo de descarga hk , como hemos explicado en la bomba impelente.

347. Las bombas producen en general un chorro intermitente de líquido, pero para que se haga continuo basta solo establecer un depósito de aire, como está indicado en la figura 198, que representa tambien un modelo de bomba aspirante é impelente que posee el gabinete; ab es la bomba, y cd el depósito de que hemos hecho mencion, el cual comunica con la bomba por su parte inferior, viniendo á ser como su tubo de descarga; superiormente está interceptada la comunicacion con el aire, y por allí atraviesa un tubo fg , que se abre con un orificio estrecho en la at-

mósfera y con otro en lo interior del depósito: á proporcion que entra en él el agua, se comprime el aire y sucede como en la fuente de compresion (n.º 326), que obrando sobre el nivel del líquido, obliga á este á levantarse á gran altura ; y el chorro es continuo porque á proporcion que sale va introduciéndose en el depósito nueva cantidad de agua.

348. *Aplicaciones á la economía animal de las nociones de hidrostática é hidrodinámica.* Dijimos (n.º 272) que reservábamos para este lugar el tratar de esta aplicacion, en virtud de que haciendo las funciones de una bomba el corazon , agente principal para el movimiento de la sangre ó para la circulacion, no se comprenderia bien dicha funcion, sin tener cabal noticia de aquellos instrumentos.

349. El corazon es un músculo hueco , que consta de cuatro cavidades; dos colocadas en la parte derecha del órgano y otras dos á la izquierda: las dos primeras se denominan aurícula y ventrículo derecho; las segundas aurícula y ventrículo izquierdo: cada aurícula comunica con su respectivo ventrículo, por medio de una abertura, en donde se hallan válvulas , para cerrarlas en ciertas circunstancias, y dejar en otras, libre el paso de la sangre. En la aurícula derecha se abren las venas cavas superior é inferior, que traen al corazon la sangre de todas las partes del cuerpo; del ventrículo derecho sale la arteria pulmonar, que sirve para llevar á los pulmones la sangre que debe recibir el influjo de la respiracion. En la aurícula izquierda terminan las venas pulmonares que conducen la sangre de los pulmones, ya modificada por los actos respiratorios , y finalmente del ventrículo izquierdo nace la arteria aorta, que va á distribuirse en todas las partes del cuerpo y por cuyos tubos va la sangre arterial.

350. La estructura de los ventrículos es muy distinta de la que tienen las aurículas. Estas últimas aunque contractiles, tienen unas paredes delgadas y flexibles , las de los ventrículos por el contrario son gruesas, elásticas y resistentes. De aqui resulta que los ventriculos, aunque sus paredes no esten contraidas, presentan una cavidad de cierta forma y estension , que procuran siempre conservar ó recuperar , cuando la han perdido por una causa cualquiera, á la manera que lo haria una vejiga de goma elástica, que teniendo sumergido su cuello en un líquido, si fuese comprimida, en el momento que cesara la compresion y recobrará su figura y tamaño, debia producir una absorcion en el líquido con el cual comunicara.

351. Como antagonista de esta accion fisica del tejido del corazon existe la contractilidad, que acorta las fibras, disminuyendo el volúmen y la capacidad del ventrículo; pero luego que cesa la contraccion, recobra su accion la elasticidad, vuelve á adquirir el ventrículo su capacidad y presenta de consiguiente una dilatacion poderosa y activa aunque no contractil.

352. De esto resulta que el corazon, en la funcion de la circulacion, obra no solo como una bomba impelente, para proyectar la sangre en los vasos sino que los ventrículos hacen con gran fuerza una verdadera aspiracion, en el liquido que está contenido en las aurículas.

353. Los fisiólogos han discutido largamente la cuestion de saber cual es la fuerza con que el ventrículo izquierdo del corazon, por ejemplo, echa la sangre en todas las partes del cuerpo humano; pero los cálculos tienen tal discordancia entre sí, que bien puede decirse que todavia se ignora, sin embargo se puede aproximadamente hallar el valor por las consideraciones siguientes.

354. Para hallar la presion hecha por un liquido en lo interior de un vaso, cerrado por todas partes y comunicando con un tubo vertical ascendente, lleno tambien de liquido, es necesario multiplicar la estension de la superficie por la altura de la columna de liquido en el tubo. Si se conserva constante el nivel del liquido y disminuye la superficie interna, tambien disminuirá la presion y recíprocamente; pero el tamaño de la abertura por la cual están comunicando el vaso y el tubo, en nada modificará esta presion.

355. Si ahora suponemos que el vaso tenga paredes contractiles, y que la causa de la elevacion del liquido en el tubo sea la contraccion misma, se infiere que la contraccion será exactamente igual á la presion, y por consiguiente para obtener el valor de la potencia de contraccion del ventrículo izquierdo, es menester multiplicar la estension de su superficie interna, por la altura de la columna de liquido sostenida durante la contraccion.

356. Es evidente que la estension de la abertura de la arteria aorta en el ventrículo izquierdo en nada influirá para valuar la presion, excepto cuando esta abertura sea tan estrecha, que se oponga á la libre emision del fluido.

357. Es casi imposible medir la superficie interna del ventrículo izquierdo; á causa de las columnas carnosas que atraviesan su capacidad, lo variable que es esta segun la mayor ó menor contraccion de las fibras &c., y de aqui el que ni aun valiéndose de

esta teoría física, se pueda calcular con exactitud la fuerza con que impele el ventrículo á la sangre; pero puede deducirse la consecuencia de estos sencillos principios, de que á igualdad de circunstancias, mientras menor es la capacidad interna del ventrículo izquierdo del corazón, mayor fuerza tiene para proyectar la sangre; y recíprocamente, ó en otras palabras, que la fuerza del corazón está en razón inversa del cuadrado de sus dimensiones.

358. *Tension de los líquidos en las vías circulatorias.* El corazón y las arterias que nacen de la aorta, constituyen una porción de cavidades ó de canales que se hallan por las contracciones sucesivas del corazón, en un estado de tensión continua; pero muy variable. La tensión depende 1.º de la fuerza de contracción del ventrículo, 2.º de la resistencia que oponen las estremidades de las arterias al paso del líquido, y que impide el que se vacíen, á proporción que reciben la sangre del corazón, hasta que todo el sistema arterial haya adquirido suficiente tensión, 3.º de una fuerza de reacción muy notable que tienen las arterias, en cuya virtud disminuyen de capacidad y procuran espeler la sangre que contienen.

359. Debe considerarse la tensión del sistema arterial independientemente de la velocidad del líquido que circula en lo interior de su cavidad; porque la una no depende de la otra. En efecto aunque se aumente la fuerza del corazón, y que sus contracciones sean más rápidas, no se aumentará la tensión de las arterias, si las estremidades de estos vasos dejan pasar la sangre con facilidad: y por la inversa si hay algún obstáculo en las estremidades de las arterias, para dar paso á la sangre, se aumentará la tensión del sistema, sin que se aumenten los impulsos del corazón.

360. Debe notarse que la tensión del sistema arterial es un obstáculo mecánico muy poderoso para el paso de la sangre del corazón á las arterias; y que de consiguiente el volumen de la sangre que sale en cada contracción, será tanto menor cuanto mayor sea la tensión arterial. Esta tensión es una de las cosas que más influyen en lo que se llama estado del pulso, y por consiguiente conviene distinguir dicha tensión de la mayor ó menor velocidad circulatoria.

361. La tensión de las arterias es exactamente igual en todos los puntos de la economía, lo cual puede comprobarse con esperiencias directas y deducirse además de las leyes de hidrostática en razón de la igualdad de presión de los fluidos en todas direcciones; pero las arterias no sostienen con igualdad dicha presión, puesto que

obra aquella fuerza en razon de la estension de la pared interna: de aqui se deduce que de dos arterias cuyos diámetros estén en la razon de uno á dos, la primera tendrá una presion cuatro veces menor que la segunda.

362. De esto se infiere que los gruesos troncos arteriales deben resistir á un esfuerzo sumamente grande, en comparacion del que experimentan los pequeños; que en el aflujo de sangre que viene del ventrículo, los troncos gruesos deberán estar dilatados, no estándolo sensiblemente las ramas pequeñas, aunque el impulso sea comun é instantáneo, como lo indica el pulso; y finalmente que las dilataciones accidentales deberán sobrevenir casi siempre en los troncos arteriales gruesos.

363. Hemos dicho que la reaccion elástica de las arterias era una de las causas de la tension arterial; pero esa reaccion no existe en todas. Las del cerebro contenidas en una masa blanda, pero incompresible y que llena toda la cavidad del cráneo no la tienen, reciben la tension por el intermedio de las columnas de líquido y la trasmiten directamente á la sustancia cerebral, que se encuentra así constantemente comprimida entre la tension de la sangre arterial, que obra de dentro afuera y la resistencia de los huesos del cráneo. De aqui depende el que las variaciones de la tension arterial tengan tanto influjo en las funciones cerebrales.

364. La reunion de los vasos venosos que llevan la sangre de todas las partes del cuerpo á la aurícula derecha, no tiene tension sensible; pues es una especie de receptáculo membranoso, de donde por aspiracion toma la sangre el ventrículo derecho, con el intermedio de la aurícula. Las paredes de dichos vasos, blandas y estensibles, se dejan dilatar, casi sin reaccion, cuando el sistema capilar da al sistema venoso mas sangre, que la que pueda estraer el ventrículo derecho para proyectarla en el pulmon.

LECCION XXIII.

Del calórico.

365. Todo el mundo sabe lo que es fuego, todos tenemos unida á esta idea la de la llama ó el color rojo de cualquier cuerpo hecho ascua, y la facultad que tiene de producir en nosotros una sensacion llamada *calor*, cuando está el fuego á cierta distancia, asi como la de quemarnos cuando se aproxima demasiado á nuestros órganos; pero ademastiene otras dos propiedades que vamos únicamente á indicar, porque mas adelante tendremos necesidad de estudiarlas con mas estension; quiero hablar de la dilatacion que produce en los cuerpos y de la variacion de estado de ellos.

366. El fuego dilata los cuerpos sólidos, los líquidos y los gases. Para probar la dilatacion de los cuerpos sólidos se emplea un aparato llamado *anillo de S' Gravesande*, que consta de una lámina metálica *ab* (figura 199), que en su parte media tiene una abertura circular *c*; una pieza *d*, pendiente de una cadena entra perfectamente cuando está fria en dicha abertura, mas en el momento que se calienta, se observa que ya no puede introducirse, prueba evidente de que se ha dilatado con el calor. Para observar con mas facilidad la dilatacion de los líquidos nos valemos de un tubo capilar de vidrio, que en la parte inferior tie-

ne soldada una bola hueca de la misma sustancia *ab* (fig. 200); la bola y parte del tubo contienen un líquido cualquiera, por ejemplo mercurio. En el momento que la bola se aproxima al fuego, se nota que sube el líquido en lo interior del tubo. Si esta experiencia se hiciese con una bola, cuya capacidad fuese muy grande se notaría que en el acto de aproximarla al fuego, el líquido bajaría primero un poco y luego subiría; la causa de esto es que dilatándose primero el vidrio, se agranda la capacidad de la bola, y de consiguiente el líquido debe ocupar menor espacio en el tubo, mas bien pronto empieza también á calentarse el líquido y se dilata, manifestándose esta dilatación por su ascenso en el tubo. Para probar que los gases se dilatan con el calor se emplea una vejiga medio llena de aire y cerrada perfectamente, pues en el momento que se arrima al fuego se hincha.

367. La propiedad del fuego de variar de estado los cuerpos (n.º 5.) se comprueba poniendo nieve, que es un sólido, al fuego; pues se derrite ó se convierte en líquido; continuando la acción de aquel se calienta mas, se reduce á vapor ó á gas y así se hace el experimento de hacer pasar un cuerpo de sólido á líquido, y á gaseoso.

368. Para todos los fenómenos que acabamos de indicar no es indispensable el fuego, en la acepción que generalmente tiene esta voz. El agua hirviendo, por ejemplo, en donde no hay nada de llamas, basta para calentar los cuerpos y aun para quemarnos, lo mismo que el fuego: dilata también los sólidos, líquidos y gases, como puede comprobarse haciendo con dicho líquido los mismos experimentos indicados, excepto el del anillo de S' Gravesande, porque no es fácil conocer de esa suerte la dilatación que experimenta la pieza *d* de la figura 199. Pero el que se dilatan también los cuerpos sólidos, lo comprueba el experimento de que hablamos, respecto á bajar la columna de líquido cuando la bola del tubo es muy grande, pues lo mismo se observa si se introduce en agua hirviendo, ó si se aproxima al fuego. Vemos pues que no hay necesidad de llama ni de luz para producir los efectos del fuego, y por eso los físicos han denominado *calórico* á la causa que produce estos fenómenos.

369. Cuando á un cuerpo que por el tacto conocemos que está caliente, le aproximamos otro que no lo está, y esperamos algun tiempo, observamos que ambos producen una sensación de calor en nuestros órganos, aunque no tanta como la que al principio nos ocasionó el primero; esto es lo que se llama *equi-*

librio de temperatura: el mismo fenómeno se observa aunque estén algo separados los cuerpos, sin que por ahora determinemos si el aire intermedio sirve como un tercer cuerpo, ó hay algun otro modo de producirse este equilibrio.

370. A esta sensacion particular de calor, llaman generalmente temperatura; y asi se dice que un cuerpo tiene una temperatura mas elevada que otro, cuando ocasiona una sensacion mayor de calor; y mas baja en el caso contrario. Pero las sensaciones son mal medio para juzgar de las temperaturas, pues á cada momento estamos viendo que lo que á uno le parece frio, otro lo cree caliente: y por eso desde luego buscaron los fisicos otro modo de observarlas. De los efectos del calórico elijieron la dilatacion para este objeto, y emplearon los líquidos por dilatarse sumamente poco los sólidos, y en extremo los gases; de suerte que á causa de la gran magnitud de los aparatos que seria necesario emplear, tampoco eran muy apropiados dichos cuerpos. Un tubo capilar con su bola soldada en la estrechidad y lleno de líquido, como por ejemplo mercurio, es lo mas à propósito para el efecto, y á dicho instrumento se denominó *termómetro*. Pronto veremos las condiciones que debe tener para que sea perfecto, pero con él podemos ya observar dos fenómenos fundamentales, en los cuales estriba toda la teoria de su graduacion.

371. Introducido el termómetro en yelo que empieza á derretirse, se observará que baja repentinamente la columna de mercurio, y que despues se queda estacionaria todo el tiempo que tarde la licuacion del yelo, aunque pusiéramos todo el aparato cercano al fuego y aumentásemos mucho la intensidad de este. Si en vez de esto introdujéramos el instrumento en agua hirviendo, subiria de pronto el mercurio hasta un punto, en donde tambien se queda estacionario, por mas que se active el fuego.

372. Ya con estos antecedentes podemos construir un termómetro: explicaremos minuciosamente todas las operaciones necesarias para ello, pues el instrumento es tan indispensable al fisico, y variarian tanto las observaciones relativas al calórico si no estuviese perfectamente construido, que es preciso entender bien todos los pormenores de su construccion. Se empieza elijiendo un tubo de vidrio de un calibre interior capilar, y que parezca cilindrico á la simple vista; pero es indispensable ademas ensayar si efectivamente lo es; para eso valiéndose de la

propiedad que tiene el vidrio de ablandarse como la cera con el calor, se emplea la lámpara de esmaltadores cuyo mecanismo supondremos conocido, y se cierra con ella una de las estremidades del tubo: se calienta todo él y se hace salir una gran cantidad del aire contenido en su interior, por la dilatación de este gas. Se sumerge después por la estremidad abierta en mercurio, y en cuanto empieza á enfriarse, se nota que entra algún mercurio en lo interior del tubo. Así que se ha introducido una pequeña columna, se saca del mercurio y se adapta á la estremidad abierta una vejiga de goma elástica llena de aire: se rompe la estremidad cerrada del tubo y el aparato tendrá la forma representada en la figura 201. Comprimiendo ahora un poco la vejiga, se hará andar la columna de mercurio, que estaba oculta por el cuello de la vejiga, hasta que se distinga bien la estremidad *a*. Sea *b* la otra estremidad de dicha columna, pues por ser capilar el tubo, no se extenderá por toda la parte inferior, como o haría á no ser por aquella particularidad. Aproximando al tubo una escala graduada, se mide cuanto es la extensión de la longitud *ab*. Comprímase de nuevo la vejiga, hasta que la estremidad *a* de la gota pase á *b*, y *b* á *b'*, y mídase con la misma regla la extensión *bb'*. Repítanse estas operaciones, y si hallamos siempre la misma longitud, es prueba de que el tubo es cilíndrico. En teoría parece fácil cuanto acabamos de decir; pero en la práctica hay mucha dificultad en hacer que coincida exactamente el principio de una gota, con el sitio adonde correspondía el fin de la misma en la situación anterior; y por esto se ha ideado otro medio que es el siguiente: suponiendo que la gota de mercurio en la primera posición esté en *ab* (fig. 202) y habiendo señalado en el tubo el sitio de las terminaciones *a* y *b*, se comprime la vejiga hasta situarla en *a' b'*. Hecho esto se divide en dos partes la longitud *a' b'*, sea *n* el punto de división, se miden *na* y *nb'*; y resultando iguales, es cilíndrico el tubo en la extensión *ab'*: así se continúa por todo él.

373. Averiguado ya que es cilíndrico lo interior del tubo, se procede á hacer la bola en una de sus estremidades: para ello cerrada y ablandada la lámpara, se comprime la vejiga, y pasando el aire al punto ablandado, lo dilata en forma de bola. En seguida se introduce el mercurio, líquido que se ha elegido por razones que diremos en adelante. Adviértase que el mercurio debe estar muy puro, para lo cual se destila; operación que también le quita la humedad, cosa perjudicial en lo interior de un

termómetro. Para llenar la bola y parte del tubo de mercurio, como es necesario, se calienta el instrumento, se introduce la estremidad abierta en el mercurio, y enfriándose aquel, entra parte de este á ocupar el lugar del aire que salió cuando se calentó el tubo; haciendo hervir el mercurio que entró en la bola, con lo que se consigue además acabar de quitar la humedad, sale todo el aire que habia quedado con el vapor del mercurio; é invirtiéndolo y poniendo de nuevo la estremidad abierta dentro de mercurio, se logra llenar la bola y parte del tubo. No es indiferente la porcion de tubo que ha de llenarse, y por el cálculo se puede averiguar cuanta es la parte que conviene dejar sin llenar; pero la práctica enseña tambien hasta donde debe hacerse.

374. El tubo debe ahora cerrarse, y cuando el termómetro es de mercurio, conviene desalojar todo el aire que ha quedado en el tubo. Para ello se estira en la lámpara dicha estremidad, dejando una abertura sumamente pequeña. Se calienta de nuevo todo el termómetro, para que dilatándose el mercurio, eche delante de sí al aire; y cuando ya está proximo á derramarse este metal, se dirige con un soplete hácia la estremidad adelgazada la luz de una bugía. Basta eso para que quede completamente cerrado.

375. Es fácil conocer si contiene ó no aire el instrumento, pues á no ser que el tubo sea escesivamente capilar, al invertirlo, cae el mercurio y llena todo el tubo. Si hubiese quedado aire, se interpone entre el mercurio y divide la columna. Se logra volver á unirla, atando la estremidad del termómetro á una cuerda larga, y dando vueltas con suma rapidez, como si fuese una honda; en virtud de la fuerza centrífuga (n.º 134) el mercurio se dirigirá hácia la bola.

376. Restanos ahora la parte principal, que es la graduacion, pues un instrumento tal como hemos descrito, no podria servir á un físico mas que para indicar variaciones de temperatura, sin poderlas fijar para que pudiera dar á conocer á otro físico, que tuviese un instrumento exactamente igual, cual era la temperatura á que habia hecho alguna observacion. Para la graduacion se valen los físicos de los dos fenómenos fundamentales observados (n.º 371); y se llaman términos de la escala, los puntos en que se halla el mercurio en el tubo cuando se introduce en yelo que se derrite, ó cuando se sumerge en agua hirviendo. Esta es la unidad, que dividida despues en partes iguales, constituye los grados.

377. Se necesitan ciertas precauciones para señalar bien los términos fijos de la escala: así para el inferior, ó la temperatu-

ra del yelo cuando se derrite, es indispensable que sea de agua pura, sin mezcla de otras sustancias y que ademas se sumerja en el yelo, no solo la bola, sino tambien la parte de tubo que contiene mercurio, pues si no, esta parte tendria una temperatura, en general mas elevada, cual es la del aire que rodea el termómetro. Puesto en yelo, con las condiciones dichas, y viendo, pasado un rato, que la columna queda estacionaria sin bajar mas, se marca en el tubo mismo el sitio á donde llegó. Para el término fijo superior, parece que no habria mas que introducir el termómetro en agua hirviendo, y continuar sumergiéndolo mas y mas, á proporcion que subiese el mercurio, para que todo él estuviese á la misma temperatura; pero no puede hacerse así, porque cuando las vasijas tienen alguna profundidad, las capas inferiores del agua que hierve, tienen una temperatura mas elevada que las del nivel. Afortunadamente es de observacion que la temperatura de estas es igual á la del vapor del agua hirviendo; y como este vapor puede ocupar una gran altura, se elije una vasija metálica *ab* (fig. 203) llena de agua hasta *cd*, con dos aberturas *mn*, para que salga el vapor escedente. La boca *t* está tapada con un tapon de corcho horadado, y por alli pasa el tubo del termómetro que se quiere graduar, teniendo cuidado de introducir mas ó menos dicho tubo, para que no aparezca al exterior mercurio alguno: cuando ya ha pasado algun tiempo se saca un poco el tubo, hasta que la estremidad de la columna de mercurio sea visible; y esperando algunos segundos, á ver si sube algo mas, se señala tambien en el tubo el sitio en que queda parado el mercurio.

378. Hemos tenido cuidado de indicar que sea de metal la vasija en que se haga esta operacion, pues en las de barro necesita mas temperatura el agua para hervir: tambien debe ser destilada el agua que se emplea; pues si contuviese sales, aumentarían la temperatura del liquido y de los vapores. Hay que atender ademas al peso del aire; pues segun que la columna barométrica sea mas ó menos elevada, así necesitará mayor ó menor calor para entrar en ebulicion. Los físicos se han convenido en fijar la columna barométrica en 76 centímetros y en calcular, cuando no esté á esa altura, cuantos son los grados que corresponden al agua hirviendo, para aquella columna que observamos.

379. Hemos dicho que el intervalo entre los dos términos fijos, se dividia en partes iguales; pero el número de estas partes varia. En el termómetro de Reaumur es 80, en el Centígrado 100 y en el de Farenheit 180; aunque en este último el término fijo infe-

rior corresponde al número 32; y de consiguiente el superior al 212 y luego se continua la escala por bajo del 32, hasta llegar á cero. Es facilísimo reducir grados de una escala á los de otra sabiendo, como se deduce por lo que acabamos de decir, que $80.^{\circ}$ Reaumur $=100.^{\circ}$ Centig^o $=180.^{\circ}$ Farenh^o ó lo que es lo mismo $4.^{\circ}$ R $=5.^{\circ}$ C $=9.^{\circ}$ F. Asi para convertir $36.^{\circ}$ R. á Centígrados, por ejemplo, se formará la proporcion $4:5::36:x$ y el cuarto término será $45.^{\circ}$ C: si fuesen á Farenheit, á los que se quisiesen reducir los $36.^{\circ}$ R, diríamos $4:9::36:x$, y al cuarto término 81, habrá que agregar 32, por empezar por este número la escala de Farenheit, en el punto correspondiente al 0 de Reaumur: asi $36.^{\circ}$ R. serán iguales á $113.^{\circ}$ F. Para reducir grados de Farenheit á Reaumur ó Centígrados, es necesario empezar rebajándoles 32, y luego se forma la proporcion con mucha facilidad; por ejemplo $85.^{\circ}$ Farenheit reducirlos á centígrados: quitando 32 de 85, quedan en 53: la proporcion será $9:5::53:x$, y este cuarto término será el número de grados C.^o equivalentes á los $85.^{\circ}$ Farenheit.

380. Desde el 0 de las escalas de Reaumur, Centígrado y Farenheit hácia la parte inferior, se sigue la graduacion como en la parte superior; pero á estos grados siempre se les añade la denominacion de bajo cero. Asi se dice 8 grados bajo cero, de Reaumur &c. y se espresan de esta suerte— $8.^{\circ}$ R, &c.

381. Cuando al cabo de cierto tiempo de haber graduado un termómetro, con todas las condiciones indicadas, se vuelve á introducir en yelo que empieza á derretirse, se nota que la columna de mercurio no baja hasta el sitio en que estaba marcado el cero, en los termómetros de Reaumur y Centígrado, ó el 32 Farenheit: sino que se queda medio grado mas alta, y á veces uno. ó uno y medio. Desde el año de 1823, en que se descubrió este fenómeno, ha estado llamando la atencion de los físicos; y parece depender de que la bola del termómetro, cuya temperatura se elevó sumamente al construir el instrumento, vá disminuyendo de capacidad á proporcion que las paredes se retraen poco á poco. Cuando un termómetro se halla en este caso es indispensable graduarlo de nuevo, para obtener las temperaturas verdaderas.

382. El termómetro de mercurio es muy conveniente para las temperaturas elevadas, porque este líquido no hierve sino á los $360.^{\circ}$ C.; de consiguiente hasta cerca de esa temperatura podemos valernos del instrumento; y no á ella porque cuando un líquido hierve, ó está muy proximo á hervir, sus dilataciones dejan de ser uniformes; pero no conviene el termómetro de mercurio para

las temperaturas bajas, porque se congela á -40° C. Para estas y no para las elevadas se emplea el alcohol, líquido que aun no ha podido congelarse cuando está muy rectificado, y que hierve á 80° C. Dejando á propósito una cantidad de aire en la parte superior del termómetro, antes de cerrarlo, puede hacerse que el alcohol no hierva hasta una temperatura superior á 80° .

383. *Termómetro de aire.* En vez de líquido se emplea á veces aire para los termómetros, los cuales en este caso tienen la misma figura y se diferencian solamente en que la bola es mayor (fig. 204); calentándolo un poco, se dilata el aire contenido en su interior, y entonces se introduce la estremidad del tubo en una vasija que contenga mercurio: despues de enfriarse el aire se contrae y hace subir una gota de este metal *b*, la cual baja cuando aumenta la temperatura y sube en el caso contrario. Puede graduarse con otro termómetro de mercurio, y sirve para conocer con facilidad lo que aumenta la temperatura de una habitación cuando entran varias personas en ella y permanecen algun tiempo.

384. *El termómetro diferencial* es un aparato sumamente cómodo para las esperiencias sucesivas de la teoría del calor. Consta de un tubo *abcd* (fig. 205) en forma de *u*, y terminado en dos bolas huecas *a*, *d* que contienen aire; en lo interior del tubo se ha introducido de antemano un líquido con color, en general ácido sulfúrico con alguna sustancia vegetal que lo tiña. Todo el aparato está sostenido por un pié y fijo á él. Cuando las bolas tienen la misma temperatura, debe estar el nivel del líquido á la misma altura en ambas ramas; y en esos sitios se coloca el cero. Para seguir graduando el instrumento se envuelve con yelo que esté fundiéndose una de las bolas y se aplica un cuerpo de una temperatura conocida, de 10° por ejemplo, á la otra bola. En el momento dilatándose el aire contenido dentro, bajará el líquido por aquella rama y subirá por la opuesta: señalo 10° en el sitio en que se haya quedado estacionario, y dividiendo en 10 partes este espacio, resulta el valor de un grado, que sirve para continuar la escala superior é inferiormente. Este aparato es estremadamente sensible; basta aproximar la mano á una de las bolas para que en el momento se produzca el efecto; y sirve de esta suerte para probar que nuestro cuerpo tiene una temperatura superior á la del aire que nos rodea. Para valerse de este instrumento es indispensable que el líquido no abandone ninguna de las ramas verticales. Lo contrario sucede en el que vamos á describir ahora.

385. *Termoscopio de Rumford.* Las bolas en este aparato

están mas distantes entre si, por ser mucho mas largo que en el anterior el tubo horizontal *ab* (fig. 206): una gota de líquido está contenida en *c*, y corresponde por sus estremidades á los puntos ceros de las dos escalas, cuando las bolas tienen igual temperatura, pero se aproxima mas á *b* por ejemplo, cuando la bola *d* tiene una temperatura mayor que la otra. En este aparato como hemos dicho, nunca debe salir la gota de líquido de la rama horizontal.

386. *Termómetros de máximo y mínimo.* El termómetro de máximo sirve para conocer la mayor temperatura que ha tenido un cuerpo; el de mínimo por el contrario para saber cual ha sido la menor. Por ejemplo en una habitacion hay unas temperaturas que varian en las veinte y cuatro horas; pues con dichos termómetros se averigua cual ha sido la mayor y cual la menor, sin necesidad de haberlas estado observando todas. Los hay de varias especies, pero solo describirémos uno del máximo y otro del mínimo. El del *máximo* consta de un tubo horizontal con una bola en la estremidad (fig. 207) llena de mercurio y parte del tubo hasta *b*: en lo interior de este y tocando á la estremidad *b* del mercurio, hay un cilindro de acero *m*: el termómetro está cerrado por la parte *c*, y graduado como los termómetros comunes. Cuando se aumenta la temperatura se dilata el mercurio y empuja hácia *c* al cilindro de acero; mas despues cuando baja la temperatura se contrae el mercurio y no trae consigo el cilindro, sino que lo deja en el sitio adonde llegó en la mayor dilatacion. Este fenómeno debido á la capilaridad, depende de que el mercurio está terminado por una superficie convexa. El *termómetro del mínimo* tiene exactamente la misma hechura (fig. 208); la diferencia consiste en que contiene alcohol en vez de mercurio, y un cilindro de esmalte en lo interior del líquido, que está tocando por una de sus estremidades al menisco cóncavo *b*: Cuando disminuye la temperatura, se aproxima á la bola la estremidad *b*, y lleva consigo el cilindro; mas cuando aumenta, lo deja en el sitio de la menor temperatura. Despues de haber hecho una observacion con ambos instrumentos es indispensable ponerlos en disposicion de volver á señalar; lo que se consigue colocándolos verticalmente. Con estos instrumentos se puede averiguar la temperatura de un pozo, del fondo del mar &c., cosa imposible de hacer con los termómetros comunes; pues aunque en dichos sitios señalarian la verdadera temperatura, cuando se fueran subiendo irian tomando la de las capas de agua ó de aire con que se fueran poniendo en contacto. Si el sitio á

donde se introducen tiene una temperatura mas elevada que en la que estamos, debe emplearse el termómetro del máximo y el del mínimo en el caso contrario.

387. En general los termómetros sirven para conocer la temperatura de los cuerpos, y para eso han de ponerse en contacto con ellos por algun tiempo; entonces en virtud de la propiedad del equilibrio del calórico (n.º 369), ó el cuerpo cede calor al termómetro, ó viceversa, hasta que ambos tengan la misma temperatura. Puesto en contacto con el cuerpo humano, se notará que mientras goza de vida tiene una temperatura constante y en general mas elevada que los medios que lo rodean. Tratarémos detenidamente de este punto cuando hablemos del calor animal.

LECCION XXIV.

Sigue la teoría del calórico.

388. *Dilatacion de los gases. Método de Gay Lussac.*
Para medir por este método cuanto se dilatan los gases es necesario valerse de un tubo graduado *ab* (fig. 209), terminado en una bola, y conocer de antemano en qué relacion está la capacidad de la bola con la parte de tubo comprendida entre dos divisiones, suponiendo que el tubo sea exactamente cilíndrico. Para ello se pesa el aparato primero vacío y despues lleno de mercurio hasta la primera division *a*; y restando uno de otro, hallarémos el peso del mercurio contenido en la bola. Llénese ahora de mercurio hasta *b*, y vuélvase á pesar: la diferencia entre este peso y el anterior, representará el peso del mercurio contenido en el tubo *ab*. Partiendo despues por el número de divisiones de dicho tubo, podrémos hallar la relacion que hay entre el peso del mercurio de la bola, y el contenido en una division. Los pesos son como los volúmenes para una misma sustancia, luego se hallará así la relacion apetecida. Averiguada ya esta, se hace que hierva el mercurio contenido en el aparato, á fin de que salga toda la humedad que pudiera contener la bola y el tubo. Si es aire atmosférico el que queremos introducir, se adapta á la estremidad *b* otro tubo mas grueso, que contiene cloruro de calcio, sustancia que atrae

la humedad y se la quita á los cuerpos. Introduciendo un hilo de platino ó de hierro *cd* (fig. 210), que atraviese por el cloruro de calcio y entre por dentro de *ab*, se logra con paciencia desalojar todo el mercurio y dejar solo una gota *m*, que sirva de índice. A proporción que ha ido entrando aire por la parte *f* del tubo grueso, ha ido secándose al atravesar el cloruro, y lo obtenemos perfectamente seco en lo interior de la bola y parte *am* del tubo. Para introducir otro gás que no sea aire atmosférico, hay que hacer comunicar el tubo que contiene el cloruro, con una campana en donde se halle el gás; y tener cuidado que la presión sea la misma que la del aire atmosférico. Se introduce el tubo (fig. 211) en agua contenida en una caja de hoja de lata *ab*, haciendo pasar la parte del tubo situada entre el índice y la estremidad abierta, por una abertura lateral *f*, que tiene un tapon de corcho horadado, para dar paso al tubo. La caja *ab* se calienta por la parte inferior; tiene además dicha caja varias aberturas; las *e*, *d* dan paso al vapor, las *g*, *h* á termómetros que indican la temperatura del líquido, y la *k* á un aparato que dándole un movimiento de rotación por medio del manubrio *p*, sirve para que todas las capas de agua se mezclen y adquieran una temperatura uniforme. Empezando la experiencia á la temperatura de 0.º y aumentándola sucesivamente, Gay Lussac observó que para cada grado del termómetro centigrado, se dilataban todos los gases una misma cantidad, si ocupaban el mismo espacio á aquella temperatura; y que la dilatación para cada grado era 375 cien milésimas del volumen que ocupaban á 0.º

389. Mr. Regnault siguiendo cuatro métodos distintos, que no podemos describir aquí, ha hallado 366 millonésimas, en vez de 375. De todos modos el número que indica la dilatación de los cuerpos para un grado del termómetro, se llama *coeficiente de dilatación*.

390. Una vez que se dilata el aire cuando se calienta ó que aumenta de volumen, es claro que debe disminuir de densidad; y si suponemos que le haya sucedido eso á una porción, debe hacerse mas ligero que aquel que lo rodea y adquirir una fuerza ascensional: esta es la causa de la subida del humo en las chimeneas, pues aunque es mas pesado que el aire, se hace menos denso que él, calentándose, y de consiguiente sube.

391. Varias son las causas que hacen que dé humo una chimenea. 1.ª Que no haya suficiente cantidad de aire para alimentar el fuego y mantener la corriente que se forma en el cañon de aquella, lo que se remedia haciendo que la pieza donde está la

chimenea tenga alguna comunicacion con el aire exterior, ó que directamente venga del exterior un tubo, que abriéndose cercano al fuego lo alimente. 2.^a Cuando es muy grande la boca de la chimenea, esto es, que no guarda proporcion con el tamaño de la habitacion la altura del cañon y la cantidad de aire que alimenta el hogar, á fin de que la corriente de aquel, ponga obstáculo al paso del humo. 3.^a Que el cañon sea muy corto; pues la velocidad con que sale el humo es tanto mayor, cuanto mas alto es dicho cañon; se remedia este inconveniente aumentando la longitud y disminuyendo la boca de la chimenea, con lo cual todo el aire que es necesario para alimentar el fuego, pasa muy cerca de él, la combustion se activa y el humo se calienta mas. Cuando dos chimeneas colocadas en dos pisos distintos de una casa, tienen un cañon comun, la altura real del tubo aspiratorio para la chimenea inferior, debe contarse desde la boca hasta la union de los dos cañones. 4.^a Cuando dos piezas de un mismo piso comunican entre sí, que cada una tiene su respectiva chimenea, y que la fuerza aspirante de cada una de ellas perjudica á la otra, hay que interceptar la comunicacion y dar á cada chimenea aire del exterior. 5.^a Cuando la parte superior de los cañones está proxima á edificios muy altos, es necesario dar al humo salida en direccion contraria á estos. 6.^a Una puerta colocada en frente de una chimenea es á veces causa de que dé humo, porque al abrirse se dirige la corriente de aire, que naturalmente se produce entonces, á la chimenea y despues de chocar con el fondo, vuelve á la pieza trayendo consigo una porcion de humo. El remedio es colocar un biombo, ó hacer que la hoja de la puerta se abra en otra direccion. 7.^a Los vientos fuertes á veces arrastran hácia bajo el humo; para impedirlo se coloca un aparato en la parte superior del cañon, con una veleta, á fin de que la abertura siempre esté en una direccion contraria al viento, para que este favorezca su salida en vez de impedirlo.

392. *Dilatacion de los líquidos.* Como cuando se hacen esperiencias con los líquidos siempre están contenidos en vasijas, se infiere que deben tener dos especies de dilataciones: una que depende de la que tienen ellos y la vasija que los contiene, dilatacion que se llama *aparente*, y es la que observamos con facilidad; y otra denominada *absoluta*, en que se hace abstracion de la dilatacion de la vasija. La primera es muy fácil de estudiar con un tubo, que en su estremidad tenga una bola semejante al de los termómetros, y graduado como indicamos en la dilatacion de los

gases (n.º 388). Introduciendo en tubos de esta clase diferentes líquidos, y esponiéndolos á distintas temperaturas, es fácil hallar el coeficiente de dilatacion. Se observa haciendo la esperiencia que no solo varia dicho coeficiente en los diversos líquidos, cuando en los gases era el mismo para todos, sino que varia segun la temperatura; asi el coeficiente de dilatacion aparente del mercurio no es igual de 0.º á 100.º C, al de 100.º á 200.º, ni este idéntico al de 200.º á 300.º C. el 1.º es $\frac{1}{6480}$ el 2.º $\frac{1}{6378}$ y el 3.º $\frac{1}{6318}$; pero entre 0.º y 100.º guarda uniformidad; por esto se elije este metal para líquido de los termómetros.

393. *Dilatacion absoluta de los líquidos.* He aqui el método que emplearon para el mercurio Dulong y Petit. Un aparato *abcdef* (fig. 212), compuesto de dos cilindros verticales de vidrio *ab*, *fe*, unidos por un tubo capilar *bcde* y llenos de mercurio hasta cierta altura *mn*. La parte *ne* se introduce en un baño de aceite, al cual se le va aumentando la temperatura; la otra parte *mb* se envuelve en nieve, para mantenerla siempre á la temperatura de 0.º En el momento que hay diferencia entre las temperaturas del mercurio contenido en las dos vasijas (que el tubo capilar *bcde* impide que se mezclen) las densidades varian y tambien los niveles pues ahora las alturas deben estar en razon inversa de las densidades (n.º 235). Se mide con exactitud por medio de instrumentos apropiados estas dos alturas, como igualmente con termómetros la temperatura del baño de aceite. Con estos datos se puede hallar la dilatacion absoluta que se busca.

394. En efecto si designamos por *a*, *a'* las alturas del mercurio correspondientes á la temperatura cero, y *t*; siendo *t* la del baño de aceite; *d* y *d'* las densidades respectivas, tendrémos por lo que hemos dicho

$$a : a' :: d' : d$$

Los volúmenes están en razon inversa de las densidades, y de consiguiente llamando *V* el volumen de la columna á cero grados y *V'* el de la columna á *t*.º

$$d' : d :: V : V'$$

ó lo que es lo mismo, por la proporcion anterior.

$$a : a' :: V : V'$$

de donde

$$\frac{a' - a}{a} = \frac{V' - V}{V}$$

El primer miembro de esta ecuacion se compone de cantidades conocidas, y el segundo es la dilatacion absoluta del liquido para $t.^{\circ}$, comparada con el volúmen á cero grados. Partiendo por t se hallará el coeficiente de dilatacion

395. La dilatacion absoluta de los líquidos varia tambien como la aparente, de un líquido á otro y con la temperatura, asi para el mercurio es de $\frac{1}{5550}$ de $0.^{\circ}$ á $100.^{\circ}$; de $\frac{1}{5425}$ de $100.^{\circ}$ á $200.^{\circ}$ y de $\frac{1}{5300}$ de $200.^{\circ}$ á $300.^{\circ}$ La dilatacion absoluta es mayor que la aparente, lo cual es claro, puesto que esta se compone de la absoluta y de la que experimenta la vasija, que aumenta de capacidad.

396. *Dilatacion de los sólidos.* El gabinete posee solamente el aparato de Smeaton para hallar dichas dilataciones; y por eso vamos á describir este método. Consta dicho aparato, llamado *termómetro micrómetro*, de una barra metálica ancha, que le sirve de pié ab (fig. 213), sobre la cual se levantan tres columnas, dos de ellas bc y ad fijas, y la fg , movable al rededor del punto f : en h y k hay dos sustentáculos donde se apoyan las estremidades de las barras, tal como m , cuya dilatacion se quiere medir; un resorte nr , fijo en n por una estremidad, se apoya por la otra r en gf ; y así entre este resorte y la barra m está sostenida la columna gf . Las piezas ad y fg están unidas por otra pq , perpendicular á ellas, movable al rededor de p , y que presenta hácia la parte opuesta un ojal s , con un tornillo t que atraviesa el ojal; y que cuando está flojo permite el movimiento de la pf , y lo impide completamente cuando se aprieta: uv es un tornillo micrométrico, zx su escala; wl es una pieza llamada tentador movable al rededor del punto l , que es la parte superior de fg , terminada en una porcion algo aguda, para poder conocer exactamente donde está la estremidad del tornillo micrométrico; este tentador se mueve con un mango a , que se tiene en la mano. Para servirse de este instrumento se empieza destornillando el boton t , hasta ponerlo flojo, se introduce la barra en yelo á cero de temperatura, y se adelanta el tornillo micrométrico, á fin que su punta toque á la del tentador colocado en posicion horizontal, despues se sumerge la porcion de aparato comprendida desde la barra á la parte in-

ferior, en una caja de metal, que se llena de agua y se calienta con siete lámparas, que estan colocadas debajo. Una porcion de termómetros, introducidos en el líquido, señalan su temperatura y la de la barra *m*. A proporción que se calienta esta, se dilata y vá empujando la pieza *gf* hácia la *ad*: despues de averiguada la temperatura, se tuerce el boton *t*, para fijar el aparato y que al sacarlo del agua se conserve en la posición que estaba en ella. Ahora se destuerce el tornillo micrométrico, hasta tanto que la estremidad corresponda con la del teatador se averigua en su respectiva escala cuantas vueltas ha dado para ello; y así se averigua cuanto es lo que se ha dilatado para aquellos grados del termómetro. Colocando barras de diversa materia se hallará la dilatacion de cada una, que en general es una fracción sumamente pequeña de la longitud que tenia á cero grados.

397. *Pirómetros*. Cuando la temperatura que deseamos observar es muy elevada, los termómetros de mercurio no son convenientes por dos razones; una que este líquido hierve á menos grados que los que deseamos conocer, y otra que ya á tan alta temperatura el vidrio se funde y de consiguiente se destroza el termómetro; por eso ha sido necesario valerse de la propiedad que tienen los cuerpos sólidos de dilatarse, y á los instrumentos así contruidos se les dá el nombre de *pirómetros*. Los hay de diversas especies; unos que existen en casi todos los gabinetes de física sirven solo para comprobar la dilatacion de los metales, y se componen (fig. 214) de una barra *ab*, que es la que debe dilatarse y que se calienta con lámparas colocadas debajo de ella; por la estremidad *b*, dicha barra está fija; y por la otra se une con una varilla dentada *ac*, que engrana en un piñon *e*, terminado superiormente en un eje, que tiene una aguja *f*, que puede moverse facilmente en un círculo graduado *hk*. En el momento que se calienta la barra, empieza á moverse la aguja y á indicar la dilatacion que aquella experimenta. Los instrumentos parecidos al explicado no pueden servir para medir las temperaturas y mientras mas complicados, son mas defectuosos, por dilatar el calor las ruedas y demas partes de la máquina; y por esto estan abandonados en el día.

398. *El pirómetro de Wedgwood* empleado frecuentemente se compone de dos barras metálicas *ab*, *cd* (fig. 215) soldadas con una lámina tambien metálica *mn*; las barras no son pa-

rarelas entre sí, sino que se aproximan algo hácia la parte inferior *n*: unos cilindros de arcilla, estan labrados de suerte que frios se introducen fácilmente por el espacio que dejan entre sí las láminas en la parte superior, llegando á un punto señalado en el instrumento con un cero. Cuando se quiere conocer la temperatura de un horno por ejemplo, valiéndose de este instrumento, se introduce el cilindro de arcilla en el horno, y allí se contrae por una propiedad que tiene esta sustancia de disminuir de volúmen al fuego; cualidad que todavia no está completamente probado de que dependa, pero despues de calentarse, podrá introducirse mas el cilindro entre las dos barras *ab* y *cd*; y por el sitio á que llega se conoce la temperatura. El instrumento está graduado suponiéndose que cada grado corresponde á $72.^\circ \text{C.}^\circ$; y aunque es verdad que de este modo se hacen las observaciones con él; cuando no se vale uno de otros medios para averiguar cual es la temperatura de los cilindros de arcilla, se nota una gran diferencia en esta correspondencia.

399. *Pirómetro de Brongniart.* Cuando simplemente se quiere elevar á un mismo grado la temperatura de un horno hay un instrumento sumamente sencillo llamado *pirómetro de Brongniart*, con el cual se consigue siempre el objeto. Consiste de una barra de hierro vertical *ab* (fig. 216), que en su parte media presenta una aguja *cd*, movable al rededor del punto *c* y apoyada por la otra estremidad *d* en un aro de cobre *amb*; como el cobre se dilata mas que el hierro, á proporcion que se calienta todo el aparato cae la aguja *cd*, y toca á otro punto; si está señalado el sitio á donde debe corresponder cuando la temperatura es la que se desea, será fácil poner siempre el horno á dicha temperatura.

400. *Pirómetro de Borda.* Está fundado tambien en la desigual dilatacion de los metales y consta de dos barras (fig. 217) una de platino *ab* y otra de cobre *cd*: dichas barras estan unidas entre sí en la estremidad *db*, y por las otras estremidades sobresale la de platino á la de cobre en una longitud *af*, la cual está graduada: á la temperatura de cero grados corresponde la estremidad *c* de la barra de cobre, á un punto señalado en la otra barra; mas á proporcion que se calienta todo el pirómetro, como la barra de cobre se dilata mas que la de platino, ya corresponderá á otra division. No es difícil graduar este instrumento, cuando se conocen bien las leyes de la dilatacion para estos dos metales.

401. *Péndulos compensados.* Al tratar de la teoría del péndulo (n.º 143) vimos que la duración de cada oscilación dependía de la longitud del mismo péndulo, que tardaba más en su movimiento cuando se alargaba la varilla y viceversa; de aquí se infiere que el movimiento de un reloj debe retardarse cuando suba la temperatura; y los medios de que se valen los físicos para que dicha longitud del péndulo no varíe, á pesar de las oscilaciones que siempre se observan en la temperatura de la atmósfera, es á lo que se llama compensar el péndulo. Hay varios modos de lograrlo: el más común consiste en disponer el aparato como representa la figura 218: *a* es el punto de suspensión del péndulo, *ad* parte de su vara; en *d* se une con un paralelogramo formado de varillas de hierro; y de los puntos *f* y *g* de la varilla inferior, se levantan otras dos de cobre *fr*, *gs*, que terminan en los travesaños *rs*: de los puntos *ok* del cual, bajan otras dos varillas de hierro, luego suben otras dos de cobre y finalmente del punto *m*, desciende el péndulo *b*, el cual no tiene conexión alguna con las varillas horizontales. Resulta de esta disposición, que cuando se eleva la temperatura, dilatándose la vara del péndulo, y las varillas exteriores de hierro, debe bajar el centro de oscilación (n.º 147); pero la dilatación de las varas de cobre *rf* y *sg*, cuyo efecto ha de sentirse hácia arriba, eleva el péndulo; las *oh*, *kh* lo bajan, y las otras dos internas de cobre lo elevan, de estas varias acciones y de la desigual dilatación del hierro y del cobre, combinando acertadamente la longitud de las diversas varas, se logra que el centro de oscilación no varíe. Se demuestra con el cálculo que no es posible lograrlo empleando solamente dos paralelogramos, uno formado con varillas de hierro y otro con varas de cobre, y se halla del mismo modo, cual ha de ser la longitud de estas varas para lograr el efecto.

402. *El péndulo compensado de láminas dobles,* se compone de dos varillas metálicas de hierro y cobre, *hi*, *co* (fig. 219), colocadas paralelamente tocándose una á otra y unidas por medio de tornillos pequeños, de trecho en trecho. Estas varillas son perpendiculares al péndulo *ab* y están unidas á él por su parte media; la de cobre está debajo de la de hierro: tienen en sus estremidades dos tornillos, en donde se enroscan dos bolitas metálicas *d*, *f*, que pueden aproximarse ó alejarse del péndulo *ab* según convenga. Si suponemos que las varillas *hi* y *co* están horizontales á una temperatura dada, por ejemplo de quince grados, y que se ha dispuesto el movimiento

de la máquina, de suerte que la longitud del péndulo sea la correspondiente á esta temperatura, cuando esta aumenta, el péndulo se alargaría y tendría un retraso en su movimiento: mas como tambien se habrían dilatado las dos varillas *hi*, *co*, y esta última por ser de cobre, mas que la *hi* que es de hierro, se habrán encorvado y el aparato tomará la forma representada en la figura 220; las bolas *d*, habrán subido y si se ha calculado de antemano cual debe ser la longitud de dichas varillas y el peso de las bolitas, no habrá variado el centro de oscilacion; pues tanto como haya bajado por dilatarse el péndulo, otro tanto habrá subido por el ascenso de las bolas. En el caso que la temperatura sea menor de quince grados, el péndulo debería adelantar por haberse acortado; pero lo corregirán las bolitas *d*, *f*, que en este caso estarán como en la figura 221.

403. En la desigual dilatacion de los metales está fundado el mecanismo de muchos termómetros que se llaman metálicos, de los cuales describiré únicamente el que puede servir para esperiencias delicadas de física, y que se denomina *termómetro de Breguet*, por haberlo ideado este célebre relojero frances: consta de tres láminas sumamente estrechas y delgadas, una de plata, otra de oro y la tercera de platino, las cuales están exactamente unidas entre si por las superficies que se corresponden, habiendo ejercido en ellas una fuerte presion para el efecto, y torcidas despues formando una espiral *ab* (fig. 222); una de las estremidades de esta, termina en una aguja *cd*, cuya punta *d* recorre un circulo graduado; la otra estremidad *f* está fija, en una columna metálica encorvada *rs*, sostenida en un pie *mn*: todo está cubierto con una campana de cristal *tz*. Se observó desde luego con este instrumento que los arcos recorridos por la aguja, y que dependian de torcerse ó destorcerse la espiral, á causa de las variaciones de temperatura, eran proporcionales á los grados del termómetro centigrado y de aqui el que sean fáciles de graduar. En efecto colocando un termómetro en lo interior de la campana, y viendo cual es la temperatura que señala y el sitio donde se para la punta de la aguja, se escribe alli el número que representa los grados del primer termómetro: si despues se hace tomar á todo el aparato otra temperatura mayor, se verá subir el mercurio del termómetro y andar la aguja hasta pararse en otro sitio: Sean 10 grados por ejemplo esta diferencia, si se divide el arco recorrido por la aguja en diez partes iguales y se continuan estas divisiones por la circunferencia, tendré-

mos ya graduado el termómetro. Está fundado este instrumento en que siendo mas dilatante la plata que el platino, y estando colocado este hácia lo interior de la espiral, debe torcerse mas cuando se eleva la temperatura. Se coloca la lámina de oro intermedia entre los otros dos metales, porque podria romperse la hélice por la desigual dilatacion de las partes de que está compuesta; y el oro mas dilatante que el platino y menos que la plata, colocado entre ambas, impide el que se rompan. La sensibilidad de este termómetro es estremada en cuanto á la prontitud con que señala las variaciones; con él pueden observarse fenómenos que no se percibirian con otros termómetros.

404. Es inmensa la fuerza con que se dilatan los cuerpos y puede aplicarse á veces con mucha utilidad para producir fenómenos extraordinarios, pero no nos ocuparemos de ellos por ser agenos de nuestro objeto.

LECCION XXV.

Sigue la teoria del calor.

405. *Irradiacion del calor.* Al hablar del equilibrio de temperatura (u.º 369) entre dos cuerpos que estaban algo distantes entre si, dijimos que podria verificarse el fenómeno sirviendo el aire de intermedio, ó bien salir del cuerpo caliente rayos de calor, como se esparce la luz de un punto luminoso y llegar al cuerpo de menor temperatura. Ambas cosas suceden y al último fenómeno, se le ha dado el nombre de *irradiacion del calor*. Esta es la única causa del equilibrio ya mencionado, en el caso de que se coloque un cuerpo caliente aislado en el vacio, como por ejemplo en el centro de un globo de vidrio; pues aunque falte aire entre el cuerpo y las paredes del globo, al fin todo adquiere igual temperatura.

406. El calórico sale de los cuerpos en forma de rayos ó líneas rectas; ó á lo menos los fenómenos observados pueden esplicarse muy bien en esta suposicion, y cuando van á chocar con un cuerpo sólido pulido, se reflejan formando el ángulo de incidencia igual al de reflexion. Ya en el choque oblicuo de los cuerpos elásticos contra un plano (nº. 167), indicamos lo que debia entenderse por estas voces; pero como tambien se refleja el calórico, sobre superficies curvas, es necesario advertir,

qué se entiende entonces por estas denominaciones. Sea ab (fig. 223) una superficie curva cualquiera: si el punto del cual se desprende calor ó que irradia es e , y que el rayo cuya reflexion buscamos es cd , para conocer el camino que seguirá despues, tírese por el punto d un plano tangente á dicha superficie; en la figura dicho plano está representado por la línea mn : levántese en el punto d una perpendicular dr que se llama la *normal* de la superficie curva en dicho punto d : el ángulo cdr se llama *ángulo de incidencia*; en el plano formado por dicho ángulo tírese la ds , que forme con rd un ángulo sdr igual al cdr ; á sdr se llama *ángulo de reflexion*.

407. Con estos antecedentes ya nos hallamos en el caso de entender una esperiencia que se ejecuta con dos espejos cóncavos metálicos y esféricos; y con la cual no solo se demuestra la reflexion del calórico, sino que tambien se averigua la ley que guarda en ella. Estos dos espejos que tienen muy pulida la superficie cóncava, se hallan sostenidos por dos pies ab y cd (fig. 224) y se colocan á tres ó cuatro varas de distancia uno de otro, de tal suerte que sus ejes, ó las normales correspondientes al centro de los espejos, esten en una misma línea recta. Delante de cada espejo hay un punto llamado *foco*, que goza de la propiedad que todos los rayos paralelos que van á reflejarse en aquél, como no esten muy distantes entre si, despues de la reflexion se reunen en dicho punto. En el foco del espejo gh , que supondremos ser el punto f , hay un enrejado de alambres r , formando una cavidad en donde se echan ascuas. En el foco z del segundo espejo km , se coloca un pedazo de yesca; y al muy poco tiempo se nota que este cuerpo se enciende, y que en el sitio en donde estaba hay un calor tan sumamente considerable, que no podria colocar uno un dedo sin quemarse: pero en el intervalo de r á z , aunque se siente calor, no es tan grande ni con mucho; y deberia suceder lo contrario, si no hubiese reflexion. Como la luz se refleja siguiendo las mismas leyes que el calórico, no es decisiva esta esperiencia; pues podria decirse que los rayos luminosos, reconcentrados en el foco z , son los que producen el fenómeno; del mismo modo que se enciende tambien la yesca poniendo un espejo cóncavo á los rayos del sol, cuando está colocada en el foco. Pero la incertidumbre se desvanecerá, ó bien poniendo una bala de cañon hecha ascua y dejándola enfriar hasta que en la obscuridad no se perciba luz, y repitiendo la esperiencia; ó lo que es mas cómodo, poniendo en f un balon

de vidrio lleno de agua hirviendo. El calor que produce este cuerpo no es capaz de inflamar la yesca, pero se coloca en una de las bolas del termómetro diferencial (n.º. 384), y se nota que sube muchos grados en la rama opuesta; no verificándose igual descenso si el termómetro se colocase en cualquier otro punto de la recta fz .

408. Aun no hemos dicho el camino que siguen los rayos del calórico, y para esplicarnos mejor supongamos que un punto solo sea el que irradie, y que esté colocado en el foco f . Sea fp uno de los rayos que es incidente para el espejo gh : sería necesario tirar el plano tangente en el punto p , pero no hay necesidad de ello, por una propiedad de la esfera de que todos sus radios son normales á la superficie: de consiguiente es mas fácil en este caso hallar la normal, tirando el radio pq , suponiendo que q sea el centro de la esfera; el ángulo fpq es el de incidencia y qpx el de reflexion; luego el rayo se reflejará siguiendo la direccion px , y seguirá hasta el punto i del otro espejo, siendo ahora xi rayo incidente para él. Si u es el centro del espejo km , ui será la normal, el ángulo xiu el de incidencia y uiz el de reflexion, que vá á parar al foco z ; lo mismo sucederá á los demas rayos que salgan de f , con tal que no formen ángulos muy grandes con la recta fz .

409. *Irradiacion aparente del frio.* Si en el foco de uno de los espejos se coloca un pedazo de hielo, y en el del otro un termómetro diferencial, se observa que el liquido baja algunos grados. Cuando por la primera vez se ensayó este experimento, hizo pensar á algunos físicos si habria una irradiacion de frio, asi como hay una de calor; pero bien pronto se descubrió que el termómetro era en este caso el cuerpo caliente, que echaba rayos de calor al hielo, y por eso bajaba la temperatura de aquel instrumento; pues el hielo se empieza á derretir al cabo de cierto tiempo por el influjo de dichos rayos.

410. La intensidad de estos rayos disminuye en razon del cuadrado de la distancia, porque si suponemos que un punto a (fig. 225) esté esparciendo rayos en todas direcciones, y concebimos dos esferas b , c , cuyos centros estén en dicho punto a , es claro que los rayos calentarán mucho mas á un punto cualquiera de la superficie interna de la primera, que á otro punto de la segunda; por ser igual para ambas la cantidad de calor, y tenerse que repartir en muchos menos en el primer caso que en el segundo; y tanto menor será el calor que reciba un punto de la super-

ficie interna de c , que otro de b , cuanto menos puntos hay en una que en otra: pero las superficies son como los cuadrados de los radios ad , af , y estos son las distancias de los puntos d y f al punto a ; luego la intensidad del calor irradiado disminuirá como los cuadrados de dichas distancias.

411. *Leyes de la irradiacion.* Para observarlas se usa de un cajon cúbico ab (fig. 226) cuyas caras están formadas de láminas metálicas de diversa naturaleza; y que está sostenido por un pié. En la cara superior hay una abertura, por donde se echa agua hirviendo hasta llenarlo: dicha abertura tiene un tapon de corcho horadado para dejar pasar un termómetro, el cual se introduce en lo interior del cubo y señala su temperatura. De todas las caras de este cuerpo se irradia el calórico, y estos rayos se reciben en el foco f de un espejo parabólico cd , despues de haberse reflejado sobre dicho espejo. En el foco se coloca la bola de un termómetro diferencial, con lo cual fácilmente se observa el calor irradiado y reflejado. Con dicho aparato se conoce 1.º que no variando la distancia del cubo al espejo, y permaneciendo constante la cara que irradia y su direccion, la cantidad de calor irradiada por el cubo, es tanta mayor cuanto mas elevada está su temperatura. 2.º que tambien es proporcional al tamaño de la superficie que irradia: asi un cubo cuyas caras fuesen dobles del ab , irradiaría por una de ellas doble cantidad de calórico, si la distancia al espejo y la temperatura fuesen las mismas que antes. 3.º que la intensidad de los rayos de calor irradiados, es proporcional al seno del ángulo formado por la direccion de este rayo con la superficie. Para probarlo experimentalmente hay que valerse de dos pantallas, que tienen aberturas circulares gb y cd (fig. 227) que están formando un cilindro horizontal; se notará entonces, que los rayos que entran por estas aberturas, producen el mismo efecto en el termómetro diferencial colocado en el foco, ya se presente la cara af perpendicular al eje del cilindro, que supondremos formado por las dos aberturas, ya que se incline mas ó menos á dicho eje. Como en este último caso hay mayor superficie que irradie, claro es que la intensidad de los rayos debe haberse disminuido, en la misma razon que el incremento de la superficie, y por un cálculo sencillo se averigüa que debe seguir dicha intensidad la ley anotada. 4.º En nada influye la naturaleza de la sustancia introducida en el cubo; y si solo su temperatura. Asi en vez de agua hirviendo ó á 100 ° Centígrados, podriamos introducir aceite ó mercurio á dichos 100.º y el efecto seria el mismo. 5.º Final-

mente en la irradiacion influye mucho la naturaleza de la superficie que irradia. Es muy pequeña cuando dicha superficie está muy bruñida, es considerable por el contrario cuando se ahuma, ó cuando se raya, formando como eminencias por donde sale el calor, ó bien si se pone un papel que cubra el lado del cubo, con el cual se está practicando la experiencia. Si despues de haber observado el ascenso del termómetro diferencial por la irradiacion de una cara metálica, que tenga una gran cantidad de rayas verticales, se le hacen otras que sean perpendiculares á las primeras, se verá que sube mas el termómetro por haberse aumentado la irradiacion.

412. La poca irradiacion de las superficies metálicas pulidas, explica bien porque se conserva caliente por mucho tiempo un liquido cualquiera en una vasija de metal, cuya superficie exterior esté muy bruñida.

413. *Reflexion y absorcion del calórico.* El calórico que irradia de los cuerpos al llegar á la superficie de otros es reflejado ó absorbido por ellos, segun que su superficie sea pulida ó no. En el primer caso, el cuerpo que refleja aumenta muy poco de temperatura, y aun nada experimentaria si la reflexion fuese completa; en el segundo el cuerpo que absorve aumenta de temperatura hasta equilibrarse con la del otro que irradia. Para probar los efectos que el calórico irradiado ocasiona en la temperatura de los cuerpos, segun esten en uno ú en otro caso de reflejar ó de absorber, se emplean los espejos mencionados en el n.º 347, con la diferencia de ennegrecer la superficie del que está mas distante del fuego, ahumándolo. Se observará entonces que el de superficie brillante, aunque está muy cerca del fuego, no se calienta sensiblemente; y que por el contrario se aumenta la temperatura del ahumado, á pesar de estar mas lejos.

414. La irradiacion, la reflexion y la absorcion del calórico, explican una porcion de fenómenos, que parecieran muy singulares al que no conociese aquellas propiedades. Asi el agua caliente á una temperatura dada, superior á la de la atmósfera, se enfria mas pronto en una vasija ahumada por su superficie exterior, que en otra de superficie pulida; porque la primera irradia mucho mas calor que la segunda: y por el contrario si el agua está mas fria que el cuerpo aplicado al exterior de la vasija, como por ejemplo cuando se pone al fuego, se calentará mas pronto en la ahumada que en la pulida, á causa de la mayor absorcion. Dos termómetros que se diferencien solamente en la superficie exterior de las bolas,

que la del uno esté ahumada y la del otro con una lámina delgada de metal pulido, aplicada á dicha superficie, no serán igualmente sensibles, ni indicarán de consiguiente la misma temperatura espuestos al aire; el de envoltura metálica la indicará menor que el ahumado, á causa de la mayor absorcion de este. Para facilitar la experiencia conviene emplear termómetros de aire ó termómetros diferenciales, por ser mas sensibles estos instrumentos que los demas.

415. *Transmision del calórico radiante al traves de los cuerpos sólidos y líquidos.* Hay sustancias que se dejan penetrar por el calórico radiante y pasan al traves de ella los rayos de calor, como el vidrio deja pasar los rayos de luz; y á estas sustancias se les hallanado *diathermanas*; otras por el contrario no gozan de esta propiedad, sino que detienen el calórico radiante, como los cuerpos opacos la luz; y se les denomina *athermanas*. Con aparatos especiales se han hallado las leyes siguientes. 1.^a La cantidad de calor que atraviesa una lámina diathermana es tanto mayor, cuanto mas pulida está. 2.^a Esta cantidad de calor varia mucho, aunque las láminas tengan el mismo grueso, segun la naturaleza de la sustancia de que estén compuestas; y aunque se puede decir en general que los cuerpos opacos son athermanos, y diathermanos los transparentes, sin embargo no por la mayor transparencia dejará pasar un cuerpo mayor cantidad de calórico; asi el alumbre que es mas trasparente que una lámina de vidrio negro, ó de mica del mismo color, se deja atravesar por el calor menos que estos cuerpos. La sal gemma es la sustancia mas diathermana que se conoce, y el alumbre la menos. En cuanto á los líquidos, el mas diathermano es el carburo de azufre, y el menos el agua. 3.^a Todas las sustancias diathermanas dejan pasar tanto mejor el calor, cuanto mas delgadas son las láminas que de ellas se forman; escepto la sal gemma que siempre transmite la misma cantidad; á lo menos en la variacion de grueso que han tenido las láminas con las cuales se han hecho las experiencias. 4.^a Muchas láminas de la misma sustancia reunidas, dejan pasar menos cantidad de calor que la correspondiente á una del mismo grueso que la suma del de todas ellas; por ejemplo 6 láminas de vidrio de una línea de grueso cada una, dejan pasar menos cantidad de calor que una lámina de seis líneas de grueso. 5.^a Cuando se sobreponen varias láminas de la misma ó de distinta naturaleza, la cantidad de calor que las atraviesa es la misma, aunque se varie el orden de la colocacion de ellas. 6.^a La cantidad de calor que atraviesa

por la misma lámina es tanto menor, cuanto menos actividad tenga la lámpara de donde proceda aunque alejando la que tenga mas actividad, y acercando la que tenga menos, se haya conseguido que el calor que atravesase las láminas sea el mismo. De esta ley se exceptua la sal gemma, que en estos casos siempre se deja atravesar por la misma cantidad de calor. 7.^a La cantidad de calor reflejado perpendicularmente sobre las dos caras de una lámina diathermana, casi es constante é igual á $\frac{1}{13}$ del calor incidente.

416. *Conductibilidad de los cuerpos para el calórico.* Llámase así la propiedad que tienen los cuerpos de transmitir de molécula á molécula el calórico; y hay una diferencia notable entre los sólidos y los fluidos con respecto á ella, por lo cual trataremos con separacion de esta propiedad en los sólidos y fluidos.

417. *Conductibilidad de los cuerpos sólidos para el calor.* De los cuerpos sólidos los mejores conductores del calórico son los metales, aunque no todos lo son con igualdad; y el que conduce menos el calor es el carbon. A cada momento se nos presentan fenómenos que lo prueban; pues vemos que una barra de metal cualquiera adquiere tanto calor cuando una de sus estremidades está aplicada al fuego, que nos quemamos si tratamos de agarrarla con la mano, á no ser que la longitud de dicha barra sea muy considerable; y tambien que un pedazo de carbon se agarra por una estremidad, aunque la otra esté hecha asca, sin que nos cause impresion; siendo así que las estremidades del carbon y del metal, estando en el mismo hogar, deben adquirir la misma temperatura.

418. Inghenhouse inventó un aparato para demostrar la distinta conductibilidad de los cuerpos sólidos que consiste en un cajon *ab* (fig. 228) con varias aberturas *c, d, f, g*, por donde pasan cilindros iguales en longitud, y en grueso, de distintos metales, á los cuales se les da una capa de cera. Se echa agua ó aceite hirviendo dentro de la caja, y se observará que no se derrite la cera en todos á la misma distancia de la abertura por donde salen del cajon. Averiguando de esta suerte cuales son de los metales mas comunes los mejores conductores del calórico, se les puede clasificar de este modo; oro, plata, cobre, hierro, zinc, estaño, y plomo. El vidrio es un cuerpo muy poco conductor y por eso se quiebra con facilidad cuando se aproxima repentinamente al fuego, pues dilatándose aquella parte, y no habiéndose dilatado las cercanas, por no haber llegado todavía á ellas el calor, forzosamente ha de haber interrupcion entre las moléculas de dicho cuerpo y de aquí la rotura.

419. Si por medio del aparato de Inghenhouse se logra reconocer cuales son los cuerpos sólidos buenos conductores y cual los malos, no se consigue de esa suerte hallar la ley que tiene el calor al propagarse. Para ello se emplea un aparato ideado por Despretz, que es el siguiente. Se toman barras prismáticas cuadradas del metal en el cual queremos observar la ley, de cobre por ejemplo, y se hace en una de sus caras varias aberturas, distantes igualmente entre si, á fin de observar como disminuye la temperatura, cuando las distancias aumentan en progresion aritmética. En dichas aberturas se echa mercurio, y dentro se ponen termómetros para que indiquen la temperatura. La estremidad de la barra se calienta con una lámpara de Argand, y todo el aparato está representado en la figura 229. Despues de algun tiempo y cuando ya la temperatura de los termómetros permanece estacionaria, se nota que dicha temperatura decrece en progresion geométrica, cuando las distancias aumentan en progresion aritmética. El esponente de la primera varia segun la naturaleza del cuerpo que observamos.

420. La lana y el algodón son cuerpos muy malos conductores del calórico; pero depende principalmente del aire contenido entre sus filamentos, como veremos al tratar de la conductibilidad de los gases.

421. *Conductibilidad de los líquidos.* Los líquidos son tan malos conductores del calórico, que ha habido físicos que les han negado esta propiedad; pues si se coloca un cuerpo caliente en la parte superior de un líquido, contenido en una vasija cilíndrica, y se pone un termómetro en el fondo, apenas sube y eso que las paredes de la vasija siendo cuerpo sólido, deben haber conducido el calor hasta la parte inferior. A esto último atribuan el aumento de temperatura que experimentaba el termómetro, los que negaban la conductibilidad de los líquidos. Pero sin embargo es un error; pues si son de hielo á cero grados las paredes de la vasija, sustancia que no aumenta de temperatura hasta que se ha derretido, se observa el mismo aumento en el termómetro. Como la conductibilidad es tan corta, puede ponerse en el fondo de una vasija un pedazo de hielo, cubrirlo de un líquido cualquiera y sumergir en este, hasta cierta profundidad, un cuerpo muy caliente sin que el hielo se funda.

422. Lo que acabamos de decir respecto de la conductibilidad de los líquidos, parece contrario á lo que la experiencia nos enseña; pues diariamente vemos que puestos los líquidos al

fuego, se calientan; pero obsérvese sin embargo que siempre se les coloca el fuego por la parte inferior. Si la vasija es de cristal, á fin de distinguir bien los movimientos que se efectuan en su interior, y echamos dentro polvos de sustancias que próximamente tengan la misma densidad que el agua, como el succino por ejemplo, se verá que se forman unas corrientes en la direccion señalada por las flechas en la figura 230. Las moléculas próximas al fondo del vaso, se elevan por las partes laterales, llegan al nivel del líquido, y de allí bajan otra vez al fondo. La causa de este fenómeno es fácil de explicar; pues calentadas las moléculas de agua, se dilatan y tienen una densidad menor que las superiores del líquido, de consiguiente deben subir al traves de las restantes; como las partes inferiores de las paredes laterales de la vasija, están mas calientes que el centro del líquido, por aquellos sitios debe verificarse el movimiento. Al atravesar por las moléculas que estan frias, pierden su calor las ascendentes, y se equilibran con la temperatura de las otras, que por esta razon va aumentando; y al llegar al nivel ya se hallan mas frias que las laterales, y deben bajar por el centro.

423. Todo cuerpo que disminuya ó impida la formacion de estas corrientes, debe retardar el que se caliente, y esto es lo que comprueba la esperiencia.

424. *Conductibilidad de los gases.* Es quizás menor que la de los líquidos; pero se calientan por medio de corrientes como ellos. Asi los gases suben cuando aumentan de temperatura y bajan cuando se enfrían. Puede observarse con mucha facilidad, que cuando hay muchas luces y muchas personas en un espacio cerrado, como por ejemplo en un teatro, la parte superior de él es la mas caliente. Rumford acostumbraba á probar la poca conductibilidad de los gases, dándole á un queso helado un baño con clara de huevo batida, á fin de que hubiese gran cantidad de aire en su superficie. Poniendo todo en un horno, tenia la parte exterior una temperatura muy elevada, y en el centro se hallaba el queso helado, que no habia experimentado mutacion.

425. *Aplicaciones.* Muchas son las aplicaciones que se hacen de la conductibilidad á las necesidades de la vida. Si queremos por ejemplo que un cuerpo muy caliente no comunique su temperatura á los inmediatos, ó que él no la pierda, debe rodearse de una capa de carbon, cuerpo que como hemos visto es muy poco conductor; la lana y las entretelas de algodón, por razon de ser sustancias mal conductoras, y de contener aire que tambien

lo es, nos sirven para preservarnos del frío, esto es, para impedir que el calor de nuestro cuerpo se equilibre con el de la atmósfera. Por esa razón cuando la temperatura del aire es superior á la de nuestro cuerpo, puede también ser conveniente el usar una capa, á fin de impedir que se establezca un equilibrio de temperatura en sentido contrario. Es sabido que la nieve se conserva en el verano rodeándola de paja, cuerpo mal conductor, que impide que el calor se trasmita hasta ella; y aun mejor que la paja sirve la lana para el mismo objeto. En los países rigurosos rodeando las plantas de lana ó de tejidos compuestos de ella; es como se logra conservarlas &c.

426. *Leyes del enfriamiento de los cuerpos.* Estas varían según que los cuerpos se enfrién en el vacío ó estando en contacto con gases; y por eso es necesario estudiarlas separadamente.

427. *Leyes del enfriamiento en el vacío.* Dulong y Petit que son los que las han estudiado mejor, se valieron del aparato siguiente: *a* (fig. 231) es un gran balón de cobre ennegrecido ó ahumado en su superficie interna, cuya parte superior tiene una abertura grande y de bordes muy planos; este balón se sostiene por medio de travesaños, en un cajón cilíndrico *b* donde se pone un baño de agua ó de aceite y que se mantiene á una temperatura constante, señalando unos termómetros esta temperatura. Sobre los bordes aplanados del balón se coloca un obturador de cristal *c* con un agujero en su centro, para el uso que ahora veremos: sobre la cara superior del obturador se coloca un tubo cilíndrico de vidrio *df*, terminado en una llave *g* por la parte superior, y que por allí tiene un tubo de plomo *hk* que va á adaptarse á la platina de la máquina neumática *m*. La abertura del obturador de que hablamos se cierra con un tapon de corcho, el cual está horadado para dejar pasar un termómetro, cuya bola vá hasta el centro del globo de cobre. Lo restante del aparato sirve para las leyes del enfriamiento en los gases, y viene á componerse de un tubo *n*, con una llave el cual comunica con la máquina neumática; de otro tubo ancho *r*, lleno de cloruro de calcio, para secar perfectamente los gases; y finalmente de un gazómetro *st*, que sirve para tenerlos acumulados y hacerlos introducir en el globo *a* del modo que diremos; *u* es un barómetro que indica la presión de los gases en el acto de entrar en el balón. El cuerpo caliente, cuyo enfriamiento vamos á observar, es el termómetro *x* y él mismo indica los grados de temperatura que va perdiendo.

428. La experiencia para el enfriamiento en el vacío se hace de este modo: supongamos que queremos observar el enfriamiento de un cuerpo de $70.^{\circ}$ de temperatura, cuando está rodeado de otros, cuya temperatura sea $30.^{\circ}$. Para ello se pone el baño b á $30.^{\circ}$ y se mantiene así todo el tiempo que dura la experiencia; claro es que esa temperatura se comunicará al balón de cobre. Se levanta el tubo df , y se saca el termómetro, el cual se calienta hasta que señale una temperatura superior á la que deseamos, $80.^{\circ}$ por ejemplo; entonces se vuelve á colocar todo en su sitio, y con rapidez se hace el vacío, á fin de extraer el aire de lo interior del balón; conseguido eso se cierra la llave g , y se espera á que el termómetro, que habrá estado bajando durante esta operacion, llegue á los $70.^{\circ}$ y se empieza entonces la experiencia, que consiste en averiguar cuanto baja el termómetro en el primer minuto, quanto en el segundo &c. hasta que su temperatura llegue á $30.^{\circ}$, ó á la del medio que le rodea, en cuyo caso permanecerá estacionario.

429. A estos grados que indican quanto se ha enfriado un cuerpo en un tiempo que se toma por unidad, se les denomina *velocidades del enfriamiento*. Al hacer los experimentos se nota desde luego que las velocidades del enfriamiento, no solo dependen del exceso que tiene el cuerpo con respecto á los grados del balón y del baño, sino tambien de la temperatura de este último; esto es que si los $40.^{\circ}$ que habia de diferencia en la experiencia indicada procediesen no de un baño á $30.^{\circ}$ y un cuerpo á $70.^{\circ}$; sino del baño á $50.^{\circ}$ y del mismo cuerpo á $90.^{\circ}$, las velocidades del enfriamiento serian desiguales; y mayor la segunda que la primera, pudiéndose enunciar la ley de este modo. *La velocidad del enfriamiento de un cuerpo en el vacío, para un exceso constante de temperatura, con respecto á los cuerpos que le rodean, crece en progresion geométrica, cuando la temperatura de dichos cuerpos circunvecinos crece en progresion aritmética. El esponente de la progresion geométrica, es siempre el mismo cualquiera que sea el exceso de temperatura que se considere.*

430. Por esta ley deducida de la observacion, es fácil ver que no es cierto lo que supuso Newton, de que para un cuerpo caliente cualquiera, la pérdida de calor en cada instante era proporcional al exceso de su temperatura, con respecto á la de los cuerpos que le rodeaban; pero cuando la diferencia de temperatura no es mas que de $20.^{\circ}$ á $30.^{\circ}$, dicha ley de Newton se aproxima bastante al resultado verdadero.

431. Las leyes del enfriamiento en el vacío no dependen de las masas de los cuerpos, pues se quedan idénticas si en vez del termómetro x se sustituyen otros de diversas capacidades; ni tampoco tienen influjo en ellas la naturaleza del líquido contenido en la bola, ni la figura de las vasijas; así si en vez de bola tuviese el termómetro un receptáculo cilíndrico, las leyes serían las mismas. Pero dejarían de serlo variando la superficie exterior de los cuerpos, envolviendo por ejemplo la bola de vidrio del termómetro con una lámina metálica bruñida, &c.

432. *Leyes del enfriamiento de los cuerpos que están rodeados de gases.* El enfriamiento de un cuerpo en el vacío es debido solo á la irradiación del calórico; pero cuando está en contacto con gases hay dos causas que producen el enfriamiento: una es la irradiación y otra el contacto de los gases que se hallan á una temperatura mas baja. Cuando el gas que ha de estar en contacto con el cuerpo es aire atmosférico, la experiencia se hace sencillamente con el aparato indicado (fig. 231) y no hay necesidad de hacer el vacío previamente; pero cuando es otra especie de gas, despues de haber calentado el termómetro hasta una temperatura mayor que la que deseamos observar, es indispensable extraer el aire del globo a , como se dijo ya (n.º 427) y luego cerrando la llave z ; y abriendo la n , bajar el gazómetro que contiene el gas, para que este atraviese el tubo r , se seque y despues vaya á ocupar la capacidad del globo en donde habia un vacío. Se espera á que el termómetro haya descendido á la temperatura en que se deseaba empezar la experiencia, y se observa entonces las velocidades del enfriamiento. Si de estas velocidades se restan las que corresponderían al mismo experimento, si se hiciese en el vacío, se tendrá lo que pierde de calor el cuerpo por el contacto del gas. Así se ha averiguado. 1.º Que la naturaleza de la superficie no tiene influjo alguno en las pérdidas del calor, debidas solo al contacto de los gases. 2.º Que para el mismo gas, á la misma presión, pero á distintas temperaturas, son iguales las pérdidas de calor para las mismas diferencias de temperatura. 3.º Que cuando la elasticidad de un gas varia en progresión geométrica, la velocidad del enfriamiento varia tambien en progresión geométrica y 4.º Que la ley de las velocidades es independiente de la naturaleza y densidad de los gases.

433. *Capacidad de los cuerpos para el calor.* Si ponemos dos cuerpos de igual peso, pero de distinta naturaleza, á que reciban iguales cantidades de calor, notaremos que un termó-

metro aplicado despues sucesivamente á ellos, señalará temperaturas muy distintas; ó en otras palabras, para elevar dos cuerpos del mismo peso, pero de distinta naturaleza á la misma temperatura, se necesitan emplear cantidades muy distintas de calor: asi por ejemplo con la misma cantidad de calor con que se eleva una libra de agua de 0.º á 3.º Centígrados, se logra elevar una libra de mercurio de 0.º á 100.º Por esto los primeros físicos que observaron estos fenómenos, supusieron que los cuerpos eran vasijas de mayor ó menor capacidad, que podian llenarse con calórico; y que los grados del termómetro representaban los niveles: una vasija muy ancha necesita gran cantidad de calor para que el nivel suba á la misma altura que en otra estrecha, y que se llena con muy poco calórico.

LECCION XXVII.

Sigue la teoria del calórico.

434. Se llama *calórico específico* de un cuerpo, la cantidad de calor que es necesario darle para que su temperatura se eleve un grado del termómetro: y como acabamos de decir, esa cantidad ó ese calórico específico, varia mucho en los cuerpos. Hay varios métodos para determinarlos; aunque pueden reducirse á tres, que son el de Lavoisier y Laplace, el de las mezclas y el del enfriamiento.

435. *Método de Lavoisier y Laplace para hallar el calórico específico de los cuerpos.* Se toma siempre como axioma, al tratar del calórico específico de los cuerpos en física, que la misma cantidad de calor habrá que introducir en un cuerpo para que su temperatura se eleve un grado, de 80 á 81 por ejemplo, que la que saldrá de él, cuando está á 81 y baja despues á 80: y el método de Lavoisier y Laplace, consiste en emplear este calor que sale de los cuerpos cuando se enfrian, en producir un efecto que puede medirse ó pesarse, cual es derretir hielo. El aparato se compone de una caja de alambre A (fig. 232) donde se introduce el cuerpo cuyo calórico específico deseamos conocer, la cual tiene una tapadera *d* y está colocada en medio de otra vasija de hoja de lata B. el espacio que hay entre ambas se llena de hielo á 0.º

El conducto f , que existe en la parte inferior de B , tiene una llave g , que se abre para que vaya saliendo el hielo que ha derretido el cuerpo al enfriarse. Este líquido se recoge en la vasija h , y se pesa despues con exactitud. A fin de que el aire exterior, que debe estar el dia que se haga la esperiencia á una temperatura no muy superior á cero, no contribuya á licuar el hielo de la vasija B , y ocasione un error en el cálculo del calórico específico, se rodea dicha vasija B con otra C y entre ambas se coloca tambien hielo á $0.^{\circ}$: el conducto k da salida al hielo que por esta causa se ha licuado.

436. Las cantidades de hielo derretidas en este aparato por cuerpos de la misma naturaleza, son proporcionales á las masas y á los grados de temperatura: esto es que si introducimos un pedazo de plomo de 10 libras de peso por ejemplo, á la temperatura de $30.^{\circ}$ C. y al cabo de algunas horas, cuando ya no salga mas agua por f , se pesa el líquido contenido en h , hallaremos que es exactamente la mitad del que saldrá si se coloca un pedazo de plomo de 20 libras, á los mismos $30.^{\circ}$ Y que si conservando siempre la misma masa de 10 libras de plomo, se le da ahora $15.^{\circ}$ C de temperatura, en vez de $30.^{\circ}$, resultará liquidado la mitad del hielo que en la primer esperiencia. Lo mismo sucederia con todos los cuerpos aunque se variasen de otra suerte las masas y los grados.

437. Lo espuesto en el número anterior facilita mucho la operacion de hallar el calórico específico de los cuerpos, pues no hay que ponerlos á $20.^{\circ}$ de temperatura y sacarlos cuando hubiesen llegado á $19.^{\circ}$, lo cual seria casi imposible, ni tampoco el introducir siempre cuerpos del mismo peso, aunque esto seria operacion mas fácil. Si queremos por ejemplo, referir todos los pesos á la libra, para poder comparar entre si las cantidades de hielo derretido por la misma masa de varios cuerpos, y hemos introducido diez libras á $30.^{\circ}$, bastará observar la cantidad de hielo derretida en toda la operacion, ó cuando el cuerpo ha llegado á cero grados, y dividir esta cantidad primero por 10, y el cociente será el hielo derretido por una libra de plomo cuando pasa de $30.^{\circ}$ á $0.^{\circ}$, y partiendo ahora de nuevo por 30, obtendremos el calórico específico del plomo.

438. Los números obtenidos así se denominan *calòricos específicos absolutos*. Son números enteros ó fraccionarios, cuya unidad es una libra.

439. No puede hallarse el calórico específico de los líqui-

dos por el método que se acaba de indicar; porque necesitan una vasija que los contenga; pero si se halla primero el calórico específico de dicha vasija, y despues se resta la cantidad de hielo derretida por ella, de la que resulte cuando se coloque en lo interior del instrumento la vasija con el liquido: se averiguará el calórico específico de este último. Lavoisier y Laplace hallaron de esta suerte que una libra de agua á 75.º Centígrados, derretia una libra de hielo; y de consiguiente el calórico específico absoluto del agua será $\frac{1}{75}$.

440. Los calóricos específicos de los demas cuerpos se comparan con el del agua que se toma por unidad; entonces habrá que partir el número hallado y que se ha denominado calórico específico absoluto por la fracción $\frac{1}{75}$ y al cociente que resulta se le llama *calórico específico relativo de aquel cuerpo*.

441. El método de Lavoisier y Laplace tiene el inconveniente de que no es fácil calcular el peso de todo el hielo derretido, por quedarse mucha cantidad de agua adherente á los pedazos de hielo, que aun no se han acabado de derretir en lo interior de la vasija B.

442. *Método de las mezclas para hallar el calórico específico de los cuerpos.* Si se toman dos pesos iguales de la misma sustancia, como por ejemplo dos libras de agua, que una tenga la temperatura de 20.º y la otra de 30.º, y despues se mezclan, se notará que la mezcla adquiere la temperatura de 25.º; esto es el medio aritmético entre los dos números 20 y 30; pero si reunimos cuerpos cuya naturaleza y capacidad para él, sean distintas, tendrá la mezcla una temperatura muy diversa del medio aritmético: asi si se ponen juntas una libra de agua á cero grados y otra de mercurio á 100.º en vez de estar los dos cuerpos despues á una temperatura de 50.º, se hallará por la esperiencia que es solo de 3.º; de lo cual se deduce que los 97.º que ha perdido el mercurio, se han empleado en calentar el agua 3.º, luego el agua que necesita mas calor que el mercurio, tendrá mayor capacidad para el calórico que dicho metal, y los calores específicos estarán :: 97: 3. De consiguiente podemos establecer esta proporcion. El calórico específico del agua, es al calórico específico del mercurio:: 97: 3; y si tomamos por unidad, como siempre sucede, el calórico específico del agua; 1: calórico específico del mercurio:: 97: 3; de donde el

3

calórico específico del mercurio = $\frac{3}{97}$.

443. Vemos pues que en este método hay que tomar dos cuerpos, uno el agua que en general tiene siempre la temperatura mas baja, y el otro aquel cuyo calórico específico queremos averiguar. Se ha de observar separadamente la temperatura de los dos cuerpos antes de mezclarse; y la de la mezcla; y entonces es fácil calcular el calórico específico.

444. Si llamamos m la masa del agua, t su temperatura y c su calórico específico; m' t' y c' cantidades análogas para el otro cuerpo, y T la temperatura de la mezcla; como en general t es menor que T , la cantidad de calor que habrá ganado el agua será $mc(T-t)$; y lo que habrá perdido el cuerpo, será $m'c'(t'-T)$; como estas dos cantidades han de ser iguales, puesto que lo que pierde el uno de calor, lo gana el otro, tendremos

$$mc(T-t) = m'c'(t'-T)$$

y como en general, $c=1$

$$m(T-t) = m'c'(t'-T)$$

de donde

$$c' = \frac{m(T-t)}{m'(t'-T)}$$

445. Hay que tener muchas precauciones para que sean exactos los resultados obtenidos por el método de las mezclas. En primer lugar no debe haber gran exceso de temperatura entre el cuerpo caliente y el agua, pues evaporándose entonces esta, el resultado sería inexacto. En segundo la vasija en que está el agua debe tener poca masa, á fin de que la capacidad del calórico, propia de la sustancia de que está formada, no sea causa de error; aunque tambien se puede calcular la parte que en el calórico específico hallado corresponde á las paredes de la vasija. Si el agua y el otro cuerpo tuviesen entre sí acción química, no es aplicable el método de las mezclas. Se podría sí, hallar el calórico específico respecto á otro cuerpo con el cual no tuviese acción la sustancia, y luego reducir este calórico específico á lo que debería ser si el del agua se tomase por unidad.

446. *Método del enfriamiento para hallar los calóricos específicos de los cuerpos.* He aquí el aparato ideado por Dulong y Petit, con el cual se hacen observaciones muy exactas: a (fig. 233) es un cilindro de plomo, con una tapadera b , ajustada perfectamen-

to para impedir el paso del aire: del centro de ella se levanta otro cilindro mas pequeño c , que en su centro tiene un termómetro, cuyo cilindro se sumerge en una vasija de plata muy delgada, á donde se pone reducido á polvo fino si es sólido, el cuerpo cuyo calórico específico queremos averiguar, y que debe llenar la capacidad de dicha vasija. Se calienta la vasija de plata y de consiguiente el cuerpo que contiene, sacándola aparte, y despues se vuelve á colocar en la posición indicada en la figura; se hace el vacío en lo interior del cilindro de plomo y se sumerge en un baño, cuya temperatura sea constante. El exceso que á este lleve el termómetro debe ser de $10.^{\circ}$ C. Hecho esto se observa cuanto tiempo tarda el termómetro en bajar de $10.^{\circ}$ de exceso á $5.^{\circ}$ y se repite la operación para muchos cuerpos. Se considera como evidente que en tiempos iguales debe salir de la vasija de plata cantidades iguales de calor, cualquiera que sea la naturaleza de los cuerpos, puesto que todos estan en las mismas condiciones de irradiación, exceso de temperatura y de hallarse en el vacío, y de esa suerte es muy fácil averiguar los calóricos específicos, pues estarán entre sí como los tiempos que han tardado en enfriarse.

447. En efecto sea m la masa de un cuerpo, c su calórico específico y t el tiempo que tarda en enfriarse de $10.^{\circ}$ de exceso á $5.^{\circ}$; m' c' t' cantidades análogas para otro cuerpo tendríamos

$$\frac{5mc}{5m'c'} = \frac{t}{t'}$$

ó lo que es lo mismo

$$\frac{mc}{m'c'} = \frac{t}{t'}$$

448. *Modo de medir el calórico producido por la combustion.* Para eso se emplea el calorímetro de Rumford que posee el gabinete, y consiste en un cajón de metal a (fig. 234), cubierto con una tapa b , en cuya parte media hay un cilindro hueco c , tapado con un corcho que tiene una abertura por donde pasa un termómetro, cuya bola llega hasta cerca del fondo de la caja. El embudo e que se halla en la parte inferior es el principio de un conducto, que despues de haber dado varias vueltas por el fondo de la caja, siempre en posición horizontal, sale despues por el ori-

ficio *f*, colocado en la parte superior de la tapadera. Se echa agua y por debajo de *e* se pone un cuerpo combustible, pesado de antemano, para poder determinar pesándolo de nuevo, despues de haber ardido por algun tiempo, cuanta es la cantidad de combustible consumido. Los gases que se desprenden en esta combustion y que atraviesan el conducto sinuoso *ef*, calientan el agua; y por el termómetro se conoce á cuantos grados se eleva su temperatura. La cantidad de calor dada por el combustible se halla facilmente, conociendo dicha temperatura, el peso del agua, el de la caja y los calóricos específicos de estos dos cuerpos.

449. *Mutacion de estado de los cuerpos.* Ya dijimos (n.º 5) que habia tres estados en los cuerpos, sólido, líquido y gaseoso; é indicamos entonces que algunos físicos admitian otro llamado globular. Este último se observa cuando en una cápsula de hierro ó de platino, que ha estado puesta al fuego, y cuya temperatura es sumamente elevada (lo que se conoce cuando despues de haberse puesto roja, como un hierro hecho ascua, toma luego un color que tira á blanco) se echa una gota de agua; pues en vez de reducirse á vapor instantaneamente, como parece que debiera suceder, comienza á dar vueltas con rapidez y tarda algun tiempo en evaporarse.

450. Los cuerpos pueden pasar de sólidos á líquidos, de líquidos á gaseosos, de líquidos á sólidos y de gaseosos á líquidos. Hay tambien sustancias que del estado sólido pasan á ser gaseosas, sin ser líquidas en el intermedio.

451. *Fusion.* Llámase asi el paso del estado sólido al de líquido. Para ello es indispensable que el cuerpo sólido absorva cierta cantidad de calor; y generalmente se lo suministramos nosotros cuando queremos efectuar la fusion. En algunas operaciones químicas se verifica, como por ejemplo cuando se mezclan el hielo y la sal comun; pero los cuerpos inmediatos tienen entonces que suministrar el calórico necesario para dicho fenómeno.

452. Cuando se le va dando á un cuerpo sólido cualquiera el calor necesario para que se funda, se nota que mientras dura la fusion no varía la temperatura de un termómetro que tengamos colocado en el cuerpo, hasta tanto que se haya completado dicha fusion; á este calor que indudablemente recibe el cuerpo, y que sin embargo no es sensible al termómetro, se le ha dado el nombre de *calórico latente*. Puede hacerse con facilidad una experiencia que manifiesta la insensibilidad de esta especie de calórico del modo siguiente. Si mezclamos partes iguales de agua li-

quida á cero grados y á 75.°, la mezcla tendrá la temperatura de $37\frac{1}{3}$ °, medio aritmético entre las dos temperaturas (n.º 442); pero si en vez de agua líquida á cero grados, nos servimos del hielo á la misma temperatura, notarémos que se licua el hielo y la mezcla no pasa de cero grados: luego todo el calórico contenido en el agua á 75.° ha sido necesario para licuar igual cantidad de hielo á la misma temperatura.

453. Es fácil hallar el valor del calórico latente, valiéndose de un medio semejante al método de las mezclas explicado ya en el calórico específico de los cuerpos, y conociendo además cual es el de las sustancias que queremos experimentar. Supongamos que se trata de hallar el calórico latente de la cera, ó la cantidad de calor que necesita absorber para licuarse. Si se echa derretida en una masa de agua, cuyo peso y temperatura conozcamos de antemano, se verá que sube la temperatura de la mezcla: la diferencia depende de la cantidad de calor que la cera licuada ha cedido hasta convertirse en cera sólida y de la misma temperatura que aquella, ó del calórico latente de esta sustancia, y además del calor que la cera ya sólida, y á aquella temperatura habrá cedido al agua, cosa que hemos llamado calórico específico. De consiguiente conocido este por los métodos indicados (n.º 434), se podrá averiguar el calórico latente de este cuerpo: se halla que este puede dar á una masa de agua del mismo peso que la cera, una temperatura de 97,°22.

454. Los cuerpos sólidos varían mucho en cuanto al valor de su calórico latente, así como también la temperatura señalada por el termómetro cuando empiezan á fundirse es muy distinta.

455. *Conversion de los líquidos en vapores.* Los líquidos se reducen á vapor ó á la temperatura ordinaria de la atmósfera, y entonces se suele llamar el fenómeno evaporación, ó bien á una temperatura más elevada y por intermedio del fuego. En este último caso hierve el líquido antes que se formen con mucha abundancia. Ya hemos explicado (n.º 362) el modo como hierven los líquidos; á estos les sucede como á los sólidos en la fusión, esto es, que mientras el líquido está hirviendo y reduciéndose á vapor, el termómetro introducido en ellos permanece estacionario, sin dar muestras de recibir cantidad ninguna de calor; este calor está en forma de calórico latente, pues el vapor tiene la misma temperatura que el líquido; y se hace sensible cuando los vapores se convierten en líquidos, como veremos.

456. La presión que el líquido experimenta en la parte superior es una causa muy poderosa en la formación de los vapores, y disminuyendo aquella, se disminuye la temperatura á que debe llegar el líquido para dicho fenómeno. Así es que en el vacío hierven las sustancias á una temperatura sumamente baja, y ya dijimos (n.º 319) que el éter lo hacía en él á la temperatura ordinaria de la atmósfera. Hay además varios aparatos que demuestran eso mismo: así en uno ideado por Franklin que consiste en dos bolas *ab* (fig. 235) unidas por un tubo intermedio *c*, con una poca cantidad de agua contenida en una de ellas, y de cuyo aparato se ha extraído completamente el aire, antes de cerrarlo herméticamente, basta el calor de la mano aplicada á una de las bolas para hacer que el líquido pase de ella á la otra, y empiece á hervir. Con este instrumento se percibe bien que para que se efectue el fenómeno se necesita gran cantidad de calórico, pues no se siente nada cuando empieza el agua á hervir; pero al cabo de algunos segundos percibimos en la mano una sensación de frío, á causa del calor que va sucesivamente robándole el líquido para la formación de los vapores.

457. Se deduce de lo espuesto que la misma agua debe hervir á diversas temperaturas según que sea mayor ó menor la columna barométrica, que como ya sabemos depende de la altura mayor ó menor sobre el nivel del mar del lugar en que se haga la experiencia; así es que para la graduación del termómetro hay que atender á esta circunstancia. Como el mismo líquido constituye una presión, se infiere que las moléculas inferiores ó próximas al fondo de la vasija, tendrán una temperatura mas elevada que las que se hallan en la superficie; y tanta mayor será la diferencia, cuanto mas elevada sea la columna de líquido desde el fondo al nivel.

458. También es fácil concebir que si en vez de disminuir la presión se aumenta, se elevará mucho la temperatura del líquido antes de hervir; pues este va adquiriendo calórico sensible hasta tanto que aquel fenómeno se manifiesta. Esto se consigue con un aparato denominado *olla de Papin*, por haberla ideado este físico: consta de una vasija cilíndrica de hierro *a* (fig. 236), cerrada perfectamente por la parte superior, en donde presenta una válvula de seguridad *b*, para dar paso al vapor en el caso que su fuerza elástica sea muy considerable, é impedir que reviente la olla. Se echa agua y huesos secos de animales en lo interior del aparato, y poniéndola al

fuego, como no tiene comunicacion con la atmósfera, los vapores que antes de la ebullicion se forman, en virtud de la fuerza elástica de que están dotados, como veremos, producen una gran presion sobre el nivel del liquido y adquiere de esa suerte una temperatura tan elevada el agua, que ablanda los huesos y disuelve la gelatina de que están formados. Asi se prepara el caldo para las sopas económicas en algunos paises. Todavía está en problema si la gelatina disuelta de este modo es ó no un buen alimento.

459. Al hablar de la construccion del termómetro indicamos que el agua no hervia á la misma temperatura en vasijas metálicas, que en las de barro, ni cuando contenia sales ó estaba pura. Con respecto á la naturaleza de las vasijas puede haber hasta grado y medio entre la temperatura del agua hirviendo en vaso de metal ó de barro; pero en todas hierva á 100° C. cuando se menea el liquido continuamente. Respecto al influjo que en la temperatura del agua hirviendo tienen las sustancias que contiene, puede hacerse una esperiencia que lo demuestra con mucha facilidad. Si cuando está hirviendo el agua en una vasija de vidrio se aparta esta del fuego, cesará la ebullicion; pero empezará de nuevo si se echan dentro limaduras de hierro.

460. Antes de hervir los liquidos se oye un ruido particular, que indica no tardará la ebullicion; depende de que las moléculas inferiores, que tienen una temperatura mas elevada que las superiores, se reducen á vapor, suben al nivel y allí se condensan ó se vuelven á convertir en liquido, tocando con las de arriba que están mas frias.

461. Cuando se evapora un liquido tienen que absorber los vapores cierta cantidad de calórico; y como este lo toman de los cuerpos inmediatos, produce necesariamente en ellos un descenso de temperatura. En esto está fundada una esperiencia que consiste en colocar en la máquina neumática un aparato compuesto de una capsula de metal *a* (fig. 237), muy llana y de paredes muy delgadas, donde se pone una corta cantidad de agua: esta capsula está sostenida por tres alambres sobre un plato *b*, que contiene ácido sulfúrico muy concentrado. Cubierto todo con una campana, y haciendo el vacio, se evapora prontamente una porcion de agua; una parte de estos vapores son estraidos por la máquina misma, y otros son absorbidos por el ácido sulfúrico, que tiene mucha afinidad con el agua. Se produce tal frio de esta

suerte en la cápsula, que se congela el líquido que ha quedado sin evaporarse. Otra porción de ejemplos pueden darse de frío producido por la evaporación; así sentimos esa especie de sensación, cuando echamos algunas gotas de éter en la palma de la mano, por la rapidez con que se evapora; así también se enfria el agua contenida en las alcarrazas, á causa de pasar alguna porción de ella á la superficie exterior de las vasijas, en razon de la porosidad de sus paredes y evaporarse esa porción con prontitud por lo elevado que está el calor de la atmósfera en el verano.

462. Un líquido se evapora con tanta mayor rapidez, cuanto mas alta es la temperatura, menos cargado de humedad está el aire, y mas se renueva ó hay mas viento. Hablarémos con mas estension de este punto al tratar de la higrometria.

LECCION XXVII.

Sigue la teoria del calor.

463. *Vapores.* La importancia de la teoria de los vapores y su inmediata aplicacion á las artes y á las operaciones físicas y farmaceúticas, hacen que debamos detenernos algo en ella. Los antiguos creian que el aire era necesario para la produccion de los vapores, mas esto es un error, pues ya hemos hecho mencion de líquidos que se evaporan y aun hierven, produciendo gran cantidad de vapores, en el vacío de la máquina neumática. Puede por el contrario probarse que los vapores se forman lentamente en el aire é instantáneamente en el vacío, del modo siguiente: Tomando un tubo de barómetro, llenándolo de mercurio seco y privado de aire hasta que le falte una pulgada poco mas ó menos para llegar á la parte abierta, y acabándolo de llenar de eter sulfúrico, se notará al invertirlo y colocar su estremidad en una taza, que contenga mercurio, que este metal baja mucho mas que la altura que corresponderia á la del barómetro, como que solo llega á la mitad del tubo *b* (fig. 238): bien pronto tendremos que considerar con mas detencion este fenómeno, que es debido á la fuerza elástica de los vapores formados; pero ahora solo observaremos que el mercurio que ha llegado á *b* instantáneamente, se mantiene alli sin descender. Si hubiésemos hecho la espe-

riencia dejando cuatro ó seis pulgadas de aire en el tubo, observaríamos que el nivel del mercurio iba bajando sucesivamente, en razon á irse formando los vapores con lentitud en el aire.

464. Llámense cuerpos *volátiles* aquellos que se evaporan á una temperatura baja y dan gran cantidad de vapores; tales son el eter, el alcohol, &c

465. *Fuerza elástica de los vapores.* Reflexionando atentamente cual pueda ser la causa del descenso de la columna barométrica en la primera esperiencia del número 463, se ve desde luego que no puede consistir en el peso de la pequeña columna de eter que sostiene en la parte superior; pues este líquido teniendo una densidad mucho menor que la del mercurio, no podria ocasionar mas que un descenso, apenas perceptible. Débese observar ademas que dicha cantidad de eter se ha disminuido, pues no ocupa ahora el espacio que tenia cuando acabamos de llenar el tubo con él. En una palabra, parte del eter se ha reducido á vapor, está ocupando la mitad superior del tubo y debe tener una fuerza análoga á la del aire, aunque menor que ella, la cual obrando en la parte superior del mercurio, hace descender la columna; pues á esta fuerza es á lo que se llama *fuerza elástica ó tension del vapor*.

466. Esta misma esperiencia nos suministra un medio de medir dicha fuerza; pues es claro que si está reducida la columna de mercurio *ab* (fig. 238) á la mitad de la columna barométrica de aquel dia, dicha fuerza elástica estará eggerciendo sobre el nivel del mercurio *b*, una accion igual á la mitad de la atmósfera. Si hubiera descendido hasta *c*, punto medio de *ab*, la fuerza elástica del vapor seria igual á tres cuartas partes de la presion atmosférica. &c. Los fisicos han convenido en tomar por unidad dicha presion de la atmósfera, para medir la fuerza elástica de los vapores: asi dicen tal vapor, en ciertas condiciones, tiene una fuerza de dos, de tres atmósferas &c. Hay un medio de hallar cuanta es la fuerza elástica del vapor en la esperiencia citada, cuando el mercurio esta en *c* por ejemplo, y consiste en aproximar un barómetro perfecto, que tenga el nivel del mercurio en la taza, en la misma línea horizontal que *am*, como *fg*; en tirar por *c* una línea horizontal *ch* y poner despues un quebrado—, cuyo numerador es la diferencia entre *gh* y *gf*, y el denominador la columna barométrica perfecta: la

ac ó la columna de mercurio elevada sobre el nivel en el tubo que contiene vapor, se suele llamar *columna barométrica imperfecta*, y por eso se dice que para averiguar la fuerza elástica del vapor, debe formarse un quebrado, cuyo numerador sea la diferencia entre las dos columnas barométricas, perfecta é imperfecta; y su denominador la columna barométrica perfecta. Si $gf=1$, ó si se toma por unidad la fuerza elástica de la atmósfera, la del vapor cuando el mercurio está en c ; sera $\frac{3}{4}$.

467. Si se repite la primera experiencia del n.º 463, introduciendo en vez de eter, agua ú otros líquidos, se observará que baja mas ó menos el nivel del mercurio en la columna, mucho menos cuando se introduce agua, que cuando se pone alcohol y en ambos casos menos que con el eter. Pero este descenso para un mismo líquido varia mucho con su temperatura. Asi si estando la columna barométrica imperfecta en b (fig. 238), se rodea el tubo con un paño caliente, se observará que baja mas dicha columna y que á proporcion se va disminuyendo la cantidad de eter. Si por el contrario rodeamos el eter contenido en el tubo con paños mojados en agua que tenga una temperatura inferior á la del aire ambiente, sube la columna barométrica imperfecta, y aparece mayor cantidad de eter.

468. *Tension máxima de los vapores.* La columna barométrica imperfecta de que hemos ya hablado (n.º 468), se mantiene siempre de igual longitud, con tal que la temperatura no varie, aunque en vez de una pulgada de eter hubiésemos introducido dos por ejemplo; tampoco depende de la longitud de la cámara barométrica imperfecta, siempre que haya suficiente cantidad de eter, lo que se conoce en que queda alguna porción sin evaporar en la parte superior de la columna de mercurio. Si teniendo un tubo de barómetro de mucha longitud, doble por ejemplo de los ordinarios, lo llenamos de mercurio hasta dos pulgadas de la estremidad abierta, y lo acabamos de llenar de eter, notaremos segun acabamos de decir, que la columna barométrica imperfecta tendrá la misma longitud que en otro barómetro de dimensiones ordinarias, en que hubiésemos hecho la misma experiencia, con tal que la temperatura sea igual. Si la cubeta b (fig. 239) es bastante larga para poder sumerjir mucho la estremidad c del barómetro, se notará que la parte superior a de la columna de mercurio, donde está el eter, va subiendo á proporcion que se baja el tubo, y que se va acumulando allí cada vez mas cantidad de eter, pero que la distancia desde dicha estremi-

dad hasta el nivel del mercurio en la cubeta, permanece constante; como en el valor de la fuerza elástica del vapor esta columna barométrica imperfecta es la única cantidad variable que entra, deduciremos que dicha fuerza se mantiene también constante, por más que hayamos hecho para aumentarla valiéndonos de la compresión del mercurio sobre el vapor. Luego la fuerza elástica de dicho vapor á aquella temperatura en que hicimos la experiencia no puede aumentarse, ó ha llegado á su máximo.

469. Es de notar que el vapor llega por sí mismo en un instante á este máximo de tensión, siempre que no esté mezclado con gases y que haya suficiente cantidad de líquido. Hay un medio de conocer que así ha sucedido, cual es el ver que ha quedado alguno sin evaporar en la parte superior de la columna de mercurio. Cuando han llegado los vapores á su máximo de tensión no tiene influjo en ella la presión, pero no sucede así con la temperatura pues la aumenta considerablemente como ya hemos indicado (n.º 467) y como veremos en adelante.

470. Si hay un espacio demasiado grande para que la cantidad de líquido pueda suministrar vapores que lleguen al máximo de tensión, aunque con menos fuerza elástica, ocuparán todo el espacio, y entonces la presión aumenta la tensión, siguiendo la ley de Mariotte. Si en un pequeño espacio en que no hay gas alguno y sí vapor, hay dos puntos que tengan diversa temperatura, el vapor toma una fuerza elástica correspondiente á la más baja. Este principio es de la mayor importancia en las máquinas llamadas de vapor; en él está fundada una de sus partes más esenciales cual es el condensador. Se puede hacer el experimento tomando un tubo de barómetro, sumamente largo, y haciendo con él un barómetro imperfecto ó que contenga éter: se verá entonces que si en un punto de la cámara barométrica ponemos un cuerpo de una temperatura más baja que aquella á la que se está haciendo la experiencia, en el momento sube la columna de mercurio hasta el sitio correspondiente á la fuerza elástica del vapor á la primera temperatura; como puede comprobarse poniendo todo el aparato con ese mismo grado de calor.

471. *Medida de la fuerza elástica del vapor del agua entre 0.º y 100.º C.* El aparato que sirve para ello consta de una lámina metálica *ab* (fig. 240) con dos barómetros *ab*, *cd*, el primero perfecto y el segundo tiene además del mercurio una pequeña porción de agua. Se introduce en un baño, cuya temperatura está señalada por varios termómetros colocados en la misma

lámina, y se nota adonde llega el nivel del mercurio en ambos tubos barométricos. Formando despues el quebrado de que ya hemos hablado (n.º 466) se halla con facilidad qual es la fuerza elástica correspondiente a aquella temperatura. Con este aparato es fácil averiguar que la tension de cualquier vapor, cuando está á la temperatura de la ebullicion del liquido de que proviene, es igual á una columna barométrica.

472. *Medida de la fuerza elástica del vapor del agua á temperaturas inferiores á cero grados.* Para eso se valen los físicos del principio anunciado ya, de que en espacios de diversa temperatura la fuerza elástica del vapor corresponde á la que tendria este cuerpo á la temperatura mas baja; y se sirven para el experimento de un tubo de barómetro encorvado por la parte superior, como está representado en la figura 241; entre *a* y *d* hay mercurio y agua, la porcion *dbc* contiene el vapor de este último liquido, que antes de comenzar la experiencia está á la temperatura del aire exterior, y de consiguiente tiene la fuerza elástica correspondiente á dicha temperatura. La estremidad *c* de la porcion encorvada se introduce en una vasija que contiene una mezcla refrigerante, esto es, cuerpos que mezclándose producen una temperatura inferior á la de 0.º: en el momento se ve subir algo el mercurio de la columna barométrica imperfecta y marcar qual es la fuerza elástica correspondiente á la temperatura de la mezcla.

473. *Medida de la tension del vapor del agua á temperaturas superiores á cien grados.* Darémos idea en pocas palabras, del método observado por los SS. Dulong y Arago en 1830 para averiguar esta tension. Para eso lo primero que tuvieron que hacer fué graduar un manómetro que sirviera para medir fuerzas muy considerables, hasta 27 atmósferas por ejemplo, y como la medida de cada una de ellas es una columna de mercurio de mas de 30 pulgadas de longitud, tuvieron que elejir un sitio á propósito para colocar un aparato de esa altura. Si suponemos un tubo como los de Mariote, cuya rama corta y cerrada que es el manómetro, tuviese 170 centímetros de altura y la rama larga y abierta 80 pies de longitud, nos habrémos formado idea de como se efectuaba el primer tiempo de la operacion ó la graduacion del manómetro; pues es claro que si en la rama corta hubiese aire seco, y se echase mercurio en el sitio correspondiente á la corvadura, teniendo cuidado de que los niveles de mercurio en ambas ramas llegasen á la misma altura, la fuerza elástica del aire contenido en el tubo corto seria de una atmósfera. Echando despues por

la rama larga suficiente cantidad de mercurio, para que las columnas correspondientes equivalgan á una, dos, tres atmósferas &c., irá disminuyendo el volúmen del aire contenido en la rama corta, y podrá señalarse en el tubo el sitio adonde en todos casos llega la columna de mercurio. Si ahora suponemos que partiendo la porcion larga del tubo por cerca de la parte inferior, se adapta al orificio del tubo roto otro tubo que comuniqué con el vapor que se desprende de una caldera, y que la temperatura del agua y de consiguiente del vapor formado, pueda ir aumentándose y esté siempre exactamente señalada por termómetros, la fuerza elástica del vapor reemplazará á las columnas de mercurio, y el manómetro señalará cual es la fuerza elástica. No fué así como los SS. Dulong y Arago hicieron la esperiencia; pues en la práctica tendria el método descrito mil inconvenientes quizás insuperables; pero la teoria de la esperiencia es exactamente igual.

474. Se descubrió de esta suerte una cosa que desgraciadamente la práctica habia hecho presumir, por los estragos que habia producido el vapor cuando se elevaba su temperatura algo mas de lo necesario, esto es, que en las temperaturas elevadas y en las cuales tiene el vapor una fuerza elástica equivalente á 20 atmósferas por ejemplo, basta aumentar dos ó tres grados de calor, para que dicha tension se transforme en 21 atmósferas &c. De aqui los peligros que originan las máquinas que trabajan á una presion tan considerable.

475. Los conocimientos de la medida de la fuerza elástica de los vapores casi están reducidos en la actualidad á los que corresponden al agua; pero para los demas líquidos reducidos á vapor se han hecho pocos experimentos. Si fuese completamente exacta una ley denominada de Dalton, ni aun siquiera habria necesidad de hacerlos, deduciéndose con mucha facilidad el valor de la fuerza elástica de todos los vapores, de la que tiene el del agua. La ley de Dalton es la siguiente: Sabido es que la fuerza elástica de todos los líquidos cuando hierven es la misma y exactamente igual á una presion atmosférica; pues si se restan de estas temperaturas un número igual de grados, tendrémós que á la temperatura respectiva indicada por dichos residuos, tendrán los distintos vapores la misma fuerza elástica: por ejemplo el agua hierve á 100° C, el alcohol á 80.°, el mercurio á 350.°; á estas temperaturas la fuerza elástica de los vapores de estas tres sustancias es la misma; y si quitamos 25.° á cada uno de los tres números, que representan los grados de la ebullicion, resultarán los números 75, 55, 325,

que indican que el vapor del agua á 75.° el del alcohol á 55.° y el del mercurio á 325.° tienen la misma tension. Si esta ley fuese exacta, y quisiéramos averiguar cual es la fuerza elástica del vapor del alcohol á 45.° no habria mas que averiguar la diferencia entre esta temperatura y la de la ebullicion del liquido, diferencia que en el caso actual es 35.°, restar de 100.° estos 35.°; y el residuo 65.° nos indicaria que la fuerza elástica pedida es igual á la del vapor de agua á 65.°, la cual se conoce por la observacion.

476. La ley de Dalton solo es exacta cuando es pequeño el número que se resta de la cantidad que representa los grados de la ebullicion, y aproximada en el caso contrario. De ella sin embargo debemos deducir, que el ácido sulfúrico y el mercurio, cuyo punto de ebullicion es sumamente elevado, no deben apenas producir vapores á la temperatura de ocho ó diez grados; y la experiencia confirma esto, pues si se coloca mercurio en un frasco de boca ancha, y que en ella se ponga una lámina de oro, permanecerá esta sin variar de color; siendo asi que si se produjesen vapores de mercurio, se amalgamarian con el oro y le darian un color blanco. Igual observacion puede hacerse con el ácido sulfúrico y el zinc.

477. *Densidad del vapor del agua.* Ya hemos indicado (n.° 300) que la densidad del vapor del agua era menor que la del aire: ahora diremos el método empleado por Mr. Gay Lussac para averiguarla. Tómese una campana graduada *a* (fig. 242) y llénese de mercurio, introduciéndola asi en una vasija de hierro colado *b*, cuyo borde superior esté en un plano horizontal y que tambien contenga mercurio: envolviendo á la campana hay un cilindro de vidrio *f* abierto por ambas estremidades: la inferior se sumerge en el metal que tiene la cuba, y la superior está mas elevada que el vértice de la campana. Entre estos dos cuerpos se echa un liquido, y en el interior de él hay varios termómetros *c*, *d* que señalan su temperatura. Se pesa ahora una bola hueca de vidrio *m*, terminada en dos puntas, una de ellas herméticamente cerrada y otra abierta, despues se llena de agua, se cierra la porcion abierta y se pesa de nuevo; la diferencia entre aquellos dos pesos, será el del agua contenida en la bola. Se introduce esta en la campana y vendrá á colocarse en la parte superior, sobre el mercurio. Hecho lo cual se empieza á calentar la vasija *b*, el liquido contenido dentro del cilindro, la campana, el mercurio y el agua de la bola, hasta que dilatándose aquella, se rompa esta y se derrame sobre el

mercurio. Continúase dando calor hasta tanto que se reduzca á vapor toda el agua; habrá ido entretanto bajando la columna de mercurio contenida en la campana, á causa de la fuerza elástica del vapor, y así que no hay liquido alguno, se observa 1.º la temperatura del aparato, 2.º el volúmen que ocupa el vapor, 3.º la tension, lo cual se consigue midiendo la columna de mercurio actualmente comprendida entre los dos niveles, superior é inferior. Si se hallase que la fuerza elástica era muy próxima al máximo de tension, podria haber sospechas de que no se hubiese evaporado toda el agua, y habria necesidad de aumentar la temperatura. Ahora bien con estos datos estamos en el caso de hallar la densidad buscada, comparándola con la del aire á aquella temperatura, puesto que conocemos el volúmen del vapor y el peso suyo; y que es fácil calcular cual seria el peso de igual volúmen de aire con aquellas condiciones. Gay Lussac halló $\frac{7}{8}$ para esta densidad.

478. *Mezclas de gases y vapores.* Hasta ahora hemos supuesto que los vapores se formaban en el vacio; y así es como hemos hallado las fuerzas elásticas correspondientes; pero tambien puede suceder que estén mezclados con los gases, en cuyo caso ya hemos visto que se forman lentamente y aumentan de fuerza elástica á proporcion que se producen.

479. Aunque los vapores son en general menos densos que los gases, no por eso dejan de estar mezclados con ellos, ni de existir aun en la parte inferior de las vasijas que los contienen: y en esto siguen una ley idéntica á la de los gases mismos, que tambien se mezclan á pesar de su diversa densidad. Se demuestra esta propiedad de los gases del modo siguiente: colocando dos balones cuyos cuellos se ajusten bien uno al otro, en una posicion tal que uno que contiene hidrógeno esté encima y con su cuello hácia bajo, y el que encierra aire en posicion inversa. Aunque el hidrógeno es mucho menos denso que el aire atmosférico, al cabo de algun tiempo se notará que ambos gases se han mezclado, parte del hidrógeno ha descendido al balon inferior, y parte del aire ha subido al otro.

480. Para averiguar la fuerza elástica de los vapores mezclados con los gases, se emplea el aparato (fig. 243), que consta de un tubo de vidrio *ab*, cerrado herméticamente por la parte superior *a*, y que por la inferior tiene una llave *c*, para poder establecer ó suspender la comunicacion con el exterior; de la parte lateral inferior *d* de dicho tubo, sale otro

mas delgado *dfg*, que se abre en *g*. Invertiendo el aparato se introduce por *c* alguna cantidad de mercurio en la rama gruesa, se cierra la llave, y se vuelve á colocar despues en la posicion primitiva. Por *g* se echa una corta porcion de eter, y abriendo despues la llave *c*, caerá en la vasija *r*, algun mercurio; pero el nivel descenderá mas pronto en el tubo *fg*, que en *ab*, por comunicar el primero con la atmósfera por la parte superior: asi se logrará que suba el eter sobre el nivel del mercurio *m*: inmediatamente se cierra la llave *c*, y se observa dicho nivel: poco á poco se ve descender la columna y subir el mercurio por la rama delgada, á causa de la fuerza elástica del vapor, que lentamente se vá formando: cuando ya está estacionario se averigua cual es la fuerza elástica de la mezcla del gas y del vapor, y se hallará que es exactamente igual á la suma de las fuerzas elásticas de ambos cuerpos correspondiente á aquella temperatura.

481. *Mutacion de estado de sólido á gaseoso.* Hay cuerpos que pasan de sólidos á gases, sin que hasta ahora hayan podido licuarse, tal es el carbon. Depende esto de que los elementos de que están formados tienen tal fuerza elástica, que no pueden retenerse y entrar á formar dicho estado; pero el estudio de este fenómeno mas bien corresponde á la química que á la física.

482. *Mutacion de estado de líquido á sólido.* Cuando se va disminuyendo la temperatura de un líquido, llega en general un caso en que empiezan á presentarse una porcion de agujas, que cruzándose entre sí, y aglomerándose de mil maneras, constituyen un cuerpo sólido; fenómeno que es algo semejante á la cristalización de las sales. Mientras hay cierta porcion de líquido no convertida aun en sólido, ó no congelada, la temperatura no varia, y esta que difiere para los diversos líquidos es siempre igual para los mismos cuerpos. Asi por ejemplo el agua pura colocada en iguales circunstancias, siempre se congela á cero grados; á otra temperatura muy distinta se congela el mercurio, el aceite &c.

483. Esta misma figura que toman las moléculas del líquido antes de congelarse, nos indica bien que en razon de los espacios vacios, que por el entrelazamiento dejan entre sí, debe ocupar el agua mayor espacio despues que antes de la congelacion y lo comprueba muy bien la esperiencia hecha con dicho líquido, pues habiendo llenado un cañon y cerrádolo exactamente, rebentó por

haber estado espuesto durante una noche á un frio considerable. Esto explica por que se pierden las plantas cuando el frio es escesivo pues congelándose la sávia que está contenida en los vasos tenuisimos del vegetal, se rompen dichos vasos por la congelacion del liquido que contenian.

484. El agua presenta un fenómeno notable cuando está cercana á su congelacion. Si la observamos á la temperatura de $20.^{\circ}$ C, por ejemplo y se la disminuimos, notarémos que va aumentando en densidad, como le sucede á los demas liquidos; pero cuando está á $4.^{\circ}$ C. ha llegado la densidad á su máximo, y disminuye luego hasta cero grados. Para probarlo se valió Hallestrom de una bola hueca de vidrio lastrada, y que pesada primero en el aire libre, la introducía despues en agua á diversas temperaturas. Por el principio de Arquímedes se averigua el peso del agua desalojada, y este era mayor á $4.^{\circ}$ que á ninguna otra temperatura. Se infiere de aquí que siendo mas pesada, debe entonces dirigirse el agua al fondo de las vasijas, y que podrá helarse la superficie de un lago, y haber en el fondo agua líquida, que permita el que vivan los habitantes de aquellas aguas.

485. Para congelarse el agua desprende todo el calórico latente que segun vimos (n.º 452) necesitaba un cuerpo sólido para pasar á líquido, y este calórico que llega á ser sensible es una de las causas por la cual es difícil congelar artificialmente gran cantidad de agua. En la naturaleza la temperatura baja de la atmósfera, con la cual trata de equilibrarse el calórico de los cuerpos cercanos al que se congela, sustrae ese calórico, y al fin toda la masa se hiela, pero esa mutacion de estado seria mucho mas rápida á no ser por el fenómeno indicado. Cuando el agua está encerrada en un tubo sin movimiento alguno y especialmente teniendo una capa de aceite en su nivel, puede llegar á una temperatura menor que cero grados sin congelarse; mas lo hace en el momento que se agita ó que se introduce un fragmento de hielo. Sucede tambien á veces que se observa la congelacion de una pequeña parte y que el calórico latente desprendido eleva la temperatura de un termómetro colocado en lo interior del líquido, comprobándose con esto lo que hemos dicho en el número anterior.

486. *Mutacion de estado de vapor á líquido.* Si el vapor está en el máximo de tension correspondiente á una temperatura dada, en cuanto se aumente la presion ó se disminuya la temperatura, parte del vapor se convertirá en el líquido que lo produjo. Si no estaba con su máximo de tension, podrá soportar la disminucion de calor

y el aumento de presión sin liquidarse. Pero al pasar á líquido, siempre desprenderá el calórico latente que habia absorbido para su formación; y este es tan considerable que puede emplearse en calentar los cuerpos. Puede hacerse la esperiencia poniendo agua en una retorta cuyo cuello comunique con un recipiente que contenga una cantidad del mismo liquido, cuyo peso sea cinco veces y media mayor que el contenido en la retorta. Elevando la temperatura de esta, hasta que hierva, y haciendo pasar el vapor al recipiente, se notará que toda la masa de agua se eleva á la temperatura de 100.º

LECCION XXVIII.

Sigue la teoria del calórico.

487. *Correcciones que deben hacerse en las densidades de los cuerpos relativamente à las temperaturas, à la presion atmosférica y à ejecutarse en el aire las pesadas de los cuerpos.* Vamos à dar una idea de las causas en que se fundan estas correcciones, dejando de tratar de las fórmulas con las cuales se pueden hallar las densidades con exactitud, por no ser propio de la naturaleza de este curso. Suponiendo que queremos hallar la densidad de un gas por el método indicado (n.º 236), notaremos 1.º que como ya hemos dicho (n.º 314), no es posible hacer el vacío perfecto en lo interior del globo, por no permitirlo la construccion misma de la máquina; de consiguiente será necesario hacer una correccion relativamente à esto, lo que se conseguirá conociendo la fuerza elástica del gas que ha quedado sin salir de lo interior del globo. 2.º Como el globo vacío se pesa en aire, perderá de su peso, segun el principio de Arquímedes, el de una cantidad de aire igual à su volúmen; será pues necesario atender à la columna baromé-

trica y á la temperatura del aire exterior, para poder calcular esta causa de error; y esto mismo se repetirá en todas las pesadas que se hagan con el globo, ya lleno, ya vacío. 3.º La capacidad del balón tampoco es siempre igual, pues depende de la temperatura que dilate mas ó menos el vidrio de que están formadas sus paredes. 4.º Al pesar el balón lleno de aire atmosférico, habrá que atender á la altura del barómetro y á la temperatura; pues estas son causas que influyen en que con el mismo volumen pese mas ó menos el aire atmosférico. 5.º Lo mismo puede decirse relativamente al gas, cuya densidad queremos averiguar. Con respecto á los líquidos y sólidos, es necesario además de muchas de las correcciones anteriores, atender á la temperatura del agua; y reducir el valor hallado á lo que sería si tuviese este líquido la de 4.º ó su máximo de densidad.

488. *Del calor animal.* Aunque el calórico procura siempre ponerse en equilibrio de temperatura con todos los cuerpos, sin embargo los organizados especialmente los animales de sangre caliente, gozan de la propiedad de mantenerse casi siempre al mismo grado de calor, apesar de las rápidas mutaciones atmosféricas á que se hallan espuestos. Esto depende de que tienen en sí mismos la facultad de producir calor, mediante la función de la respiración; así como de la de perderlo por la evaporación de ciertos líquidos animales y por otras causas. Describiremos primero el aparato con el cual Dulong ha medido la cantidad de calor que se desprende de los animales vivos. Consta de un receptáculo cilindrico de hoja de lata AA' (fig. 244) de base elíptica, donde está colocada una caja delgada de cobre BB' de la misma figura, aunque mas pequeña en todas sus dimensiones, y aislada por todas partes del receptáculo, escepto por algunas varillas que unen estas dos piezas, y que están colocadas por la parte inferior y lateralmente. La tapadera de esta caja tiene un reborde, que puede bajar libremente hasta cuatro centímetros, en una renura de cobre CC' soldada en la parte superior de la caja y llena de mercurio. En la capacidad de esta caja se coloca el animal, que está encerrado en una especie de jaula hecha de mimbres, y sumamente ligera, que sirve para impedir el contacto de dicho animal con superficies metálicas, y cuyas dimensiones son á propósito para que pueda estar con comodidad. De esta suerte se puede llenar el receptáculo de agua, y envolver por todas partes al animal con una capa gruesa de este líquido, sin esponerlo á que se ahogue, ni se moje.

Así bien pronto hubiera sido impropio para la respiración el aire contenido en el espacio en que está encerrado el animal, por eso se renueva con una corriente graduada según sea necesario. Llega el aire por el tubo D, que se abre en una de las estremidades de la caja BB', y mezclándose con el que contiene, recorre antes de salir otro tubo horizontal EE', en donde abandona el exceso de temperatura que tiene con respecto al agua.

La parte del aparato destinada á hacer conocer las alteraciones que el aire experimenta por la respiración, se compone de dos gazómetros, contruidos de suerte que señalan con exactitud el volúmen del aire, antes y después de su paso por el calorímetro.

Son dos cilindros metálicos G y G' de un metro de altura y de una capacidad de 60 litros, contenidos cada uno en otro cilindro más ancho y algo más alto HH'. Uno de los gazómetros sirve para suministrar el aire necesario para la respiración del animal, el otro para recogerlo cuando ya ha servido para dicha función.

El primero comunica con la abertura de la caja de que ya hemos hablado, y el segundo con la estremidad del conducto EE', por medio de tubos que tienen llaves. Una corriente de agua, que proviene de un receptáculo de nivel constante I, colocado encima del primer gazómetro, sirve para hacer salir de él el aire. Si el segundo gazómetro estuviese lleno de agua, así como el cilindro en que entra, el aire estaría solo comprimido en este aparato, á no proporcionarle otro espacio libre á donde pudiera dirigirse. Como era muy importante que la corriente de aire no experimentase compresiones ni dilataciones, Dulong adaptó al receptáculo H' un mecanismo particular, cuyo objeto era producir á cada instante en el segundo gazómetro, el espacio vacío que fuese exactamente necesario para recibir el volúmen de aire que se había desalojado del primero. Consiste en un sifon cuya rama corta es un poco mayor que la altura del receptáculo H'. La estremidad inferior de dicha rama corta atraviesa un flotante K de hoja de lata barnizado, cerrado por todas partes, cuya figura se adapta á la parte más ancha del menisco comprendido entre el gazómetro y su receptáculo. El volúmen de agua desalojado por el flotante no sería suficiente para sostener todo el peso del sifon; pero un contrapeso atado á un hilo que pasa por una polea fija, sostiene una parte de él: de tal suerte que cuando se establece el equilibrio, el flotante está sumergido solo á las tres

cuartas partes de su altura. De este modo se puede producir un gasto constante por el sifon, porque este se queda sostenido verticalmente en la misma posición, con respecto al nivel del agua, cuyas variaciones sigue.

489. Como el aire espirado contiene cierta cantidad de ácido carbónico, no debe dejarse en contacto con agua. El medio mas sencillo que halló Dulong para conseguirlo fué el colocar en lo interior del segundo gazómetro un disco de corcho, cortado como un cono truncado, de un diámetro algo menor que el del cilindro. Una masa de plomo fija en la estremidad de una varilla metálica, la cual se introduce en el centro del disco perpendicularmente á su plano, mantiene siempre el disco en posición horizontal; y la superficie anular que queda sin llenar entre el cono y las paredes internas del cilindro, están cubiertas con un tafetan muy flexible, que no permite el paso de gases, y que está aplicado en la cara superior del corcho. De esta suerte el ácido carbónico contenido en el gas espirado no puede ser absorbido por el agua durante la experiencia, y la especie de émbolo que lo separa del agua no experimenta rozamiento sensible de las paredes del cilindro en que se mueve.

Así el volúmen de aire introducido como el espirado, pueden medirse con mucha exactitud por medio de dos tubos de vidrio L, L', graduados arbitrariamente y colocados en posición vertical por la parte esterna de los receptáculos H y H'. Estos tubos comunican por su estremidad inferior con la capacidad de los receptáculos, y así se averigua el nivel del líquido en ellos, observando el del tubo correspondiente. Una probeta de agua colocada encima de cada gazómetro, indica la elasticidad del gas; de suerte que añadiendo agua ó dejándola salir hasta que sean iguales las presiones interiores y exteriores, se está seguro de que el nivel del agua en el gazómetro no es distinto del que indica el tubo.

La dificultad de averiguar la temperatura de un volúmen tan considerable de fluido elástico hubiera podido dejar alguna incertidumbre en su graduación; pero Dulong la hizo desaparecer, dejando caer sobre la superficie exterior del gazómetro gran cantidad de agua, á fin de dar á toda la masa del instrumento y del gas que contenia, la misma temperatura del fluido; la cual era fácil de conocer.

En fin para averiguar las mutaciones de composición experimentadas por el aire, se recoge despues de terminada la operación cierta cantidad de gas, sobre el mercurio de una

pequeña cuba M, unida al aparato. Basta para ello echar gran cantidad de agua en el receptáculo H, para vencer la presión hecha por el mercurio en la extremidad del tubo N. El gas se analiza en el eudiómetro de gas hidrógeno.

490. Veamos ahora como se hace la experiencia. Después de haber colocado el animal en la caja BB', de haber sujetado su tapadera de un modo invariable con dos travesaños, de haber llenado de aire atmosférico con alguna humedad el primer gazómetro, y de agua el segundo, se abre la llave T del depósito I y la del primer gazómetro. Se arregla la abertura que se debe dejar en cada caso, para que la proporción de ácido carbónico contenido en el aire espirado, no salga de ciertos límites. Puesto en movimiento el fluido elástico y no hallando salida por el segundo gazómetro, cuya llave está cerrada, sale por un tubo adaptado al conducto X. Entonces se echa en la caja AA' una cantidad determinada de agua y suficiente para envolver por todas partes la caja BB'. El peso de ella es ordinariamente de siete quilógramas. Su temperatura inferior á la del aire, es lo bastante para que el calor producido por el animal, mientras se estan haciendo las operaciones preliminares, deje una diferencia suficiente en el mismo sentido, en el momento en que debe empezar la experiencia. Se coloca después la cubierta OO' sobre la caja AA' y en las extremidades de uno de sus diámetros los dos termómetros QQ', que pueden indicar inmediatamente centésimos de grados. No pudiendo las variaciones de densidad del agua, dimanada del calor, producir corriente sino con mucha dificultad, por los numerosos obstáculos que encuentran, es necesario para mezclar bien todas las partes del líquido moverlo, por medio de volantes dispuestos de suerte que el primero tenga un movimiento de rotación en un plano horizontal, el segundo mezcle las capas inferiores con las superiores, y el tercero remueva la parte de líquido que podría permanecer encima de la caja BB'.

Toda esta parte del aparato está resguardada del influjo del calor que pudiera desprender el observador y de las agitaciones del aire, por una caja metálica, que solo tiene aberturas para dejar pasar los termómetros y los ejes de los volantes.

491. Dispuesto así el aparato, Dulong lo dejaba en este estado por tres cuartos de hora ó una hora, teniendo cuidado de mover el agua de cinco en cinco minutos. No variando entonces la composición del aire que salía del aparato, suspendía la sali-

da del agua, medía el volúmen del aire que todavía contenía el primer gazómetro, observaba la altura del barómetro y la temperatura del agua del receptáculo, que era al mismo tiempo la del gas. Inmediatamente despues anotaba las indicaciones de los dos termómetros Q y Q' y cerraba el orificio del tubo de descarga. En fin abriendo la llave e del segundo gazómetro y la del sifon, establecia la corriente de aire como estaba antes. Despues de un corto número de ensayos de poca duracion, llegaba á producir el sifon un gasto con tal rapidez, que pasaba el aire del primer gazómetro al segundo sin mutacion apreciable de densidad. Dada la diferencia inicial de las temperaturas del calorímetro y del aire exterior por otros dos termómetros, colocados en dos puntos opuestos de la caja metálica, continuaba la esperiencia hasta que la diferencia de estas mismas temperaturas fuese igual pero en sentido contrario á la primera. Entonces suspendia de nuevo la corriente, y medía otra vez el volúmen de aire del primer gazómetro, su temperatura y la altura del barómetro. Restablecia de nuevo la corriente, para que no faltase el aire necesario á la respiracion del animal, durante el tiempo indispensable para desarmar el aparato. Determinaba despues el volúmen del gas espirado, con las precauciones indicadas anteriormente; en fin abria la llave l y cuando la compresion hecha por el agua era suficiente, recogia cierta cantidad de gas para analizarlo.

492. El animal estaba colocado en circunstancias casi semejantes á las que hubiera tenido en el aire libre. Los fenómenos de la respiracion se efectuaban sin obstáculo, puesto que se le proporcionaba una cantidad de aire igual á la que hubiera inspirado en el estado natural. Es cierto que el aire venia cargado de humedad, pero era á una temperatura inferior á $20.^{\circ}$ por lo menos á la que tenia su cuerpo, por eso no debia presentar inconveniente alguno para la traspiracion cutánea y pulmonar. La porcion de vapor de agua sustraída por el aire se condensaba enteramente en el tubo encorvado de la parte inferior de la caja, de modo que el calor que primero cedia el animal para evaporar esta agua, iba á parar al calorímetro. Resultaba pues que la cantidad de calor producida en todo el tiempo de la esperiencia, cuya duracion se anotaba cuidadosamente, era la totalidad del calor perdido por irradiacion, por contacto del aire, y por evaporacion, porque el animal tenia al fin la misma temperatura que antes de empezar.

Las variaciones de temperatura que experimentaba el

agua del calorímetro eran ordinariamente de un grado á grado y medio. En cuanto á las mutaciones químicas producidas en el aire respirado, se podían apreciar con mayor exactitud que en las esperiencias hechas con el manómetro, porque habia menos incertidumbre en la temperatura del fluido elástico.

Esponiendo varios animales en este aparato, se convenció Dulong que la combinacion del oxígeno del aire con el carbono de la sangre por una parte y con el hidrógeno por otra, en el acto de la respiracion, daban una cantidad de calórico que era inferior en $\frac{1}{3}$ próximamente á la cantidad de calor cedida por los animales; y que de consiguiente hay en ellos otra causa de calorificación, que sin saberse exactamente cual sea, puede presumirse dependa de las muchas reacciones químicas efectuadas en la economia.

493. *Causas de enfriamiento que tiene el cuerpo humano.* En general son cinco á saber: 1.º la conductibilidad directa de su calórico á otros cuerpos, 2.º la traspiracion cutánea, 3.º la traspiracion pulmonar, 4.º el calórico que tienen que dar al aire de la inspiracion en las cavidades pulmonares, 5.º la irradiacion.

494. Las pérdidas por conductibilidad suponen que los cuerpos que nos tocan están á una temperatura inferior á la nuestra, como generalmente sucede. De todos ellos el aire atmosférico es el que con mas frecuencia se halla en esa relacion de temperatura; pero aquellas pérdidas están muy disminuidas por los vestidos que son malos conductores del calórico. Además cualquiera de nuestras partes que esté en contacto con un cuerpo de baja temperatura rápidamente se enfria, se retarda en ella la circulacion, y por consiguiente no pasa á lo restante del cuerpo tanto liquido con menor temperatura que la ordinaria. Por ejemplo cuando un hombre se sumerge en agua fria, se le pone descolorida la cutis y casi tan fria como el agua, en este estado conduce mal el calórico y no se lo roba á lo restante del cuerpo.

495. Si el cuerpo frio se renueva sin cesar, como por ejemplo cuando el viento tiene muy baja su temperatura, entonces sí que sentimos mucho sus efectos; y en la expedicion á los mares del polo norte observa el capitan Parry, que mas bien se podia soportar 36.º bajo cero sin viento, que 18.º con viento fuerte.

496. El cuerpo humano pierde principalmente su calor por la traspiracion cutánea, y esta es proporcional á las circunstancias en que se hallan los cuerpos que lo rodean y al calor de la

cutis. Aumentan la traspiracion la elevacion de temperatura, la sequedad y movimiento del aire, y el aumento de calor de la cutis; la disminuyen el aire frio, su humedad y calma y el enfriamiento de la piel. Toda la cantidad de liquido que en tales casos se reduce á vapor, debe absorber del cuerpo humano una gran cantidad de calórico libre para trasformarse en latente; fenómeno que como hemos dicho acompaña siempre á esta mutacion de estado.

497. La traspiracion pulmonar tiene efectos menos variables que las otras causas de pérdidas de calor. Resulta de la transformacion en vapor de los liquidos exhalados por el pulmon. Esta cantidad es proporcional á la temperatura de dicho órgano que casi es constante, y á la estension del espacio en que puede desarrollarse, el cual está determinado por el volúmen del aire inspirado. Asi la traspiracion pulmonar será proporcional á los fenómenos mecánicos de la respiracion, los cuales pueden variar considerablemente por efecto de la voluntad ó por una sensacion interna.

498. Los volúmenes de aire introducidos en el pulmon por la respiracion se hallan ordinariamente á una temperatura inferior á la de aquel órgano, se calientan en él y le quitan algun calórico, cuya cantidad es proporcional tambien á los fenómenos mecánicos de dicha funcion.

499. La irradiacion es una causa de pérdida de calórico que depende de la diferencia de temperatura que hay entre el cuerpo del hombre y los objetos que le rodean; es proporcional á la temperatura de la cutis y está modificada por su calor; asi es mayor en los negros que en los blancos y está casi completamente destruida por los vestidos de cualquier naturaleza que sean, si no tocan inmediatamente al cuerpo.

500. *Aplicaciones de la teoria del calor á la terapéutica.* Indicarémos solo que el efecto producido por las ventosas es debido á que dilatándose el aire contenido en la vasija que se usa para ellas, con la estopa ó el papel que dentro se enciende, se forma como una especie de vacío y los liquidos de la parte del cuerpo á que se aplican, afluyen hácia alli con violencia, asi como el aire contenido en el interior y cercano á dicha parte obra y la empuja de dentro afuera, haciendo se eleve en lo interior de la vasija. Igualmente es una aplicacion inmediata de esta teoria, cuando se rocia con eter la superficie del cuerpo para producir su enfriamiento, debido en este caso á la cantidad de calórico que roba

para volatilizarse. Cuando se aplica á una hernia intestinal irreductible que contiene muchos gases, obra este frio disminuyendo el volúmen de ellos, y asi la hace mas pequeña. Los baños de vapor son otra aplicacion en cuyos pormenores no entraremos, como ni tampoco en los efectos del aire caliente y del aire frio en la economia animal.

HIGROMETRIA.

501. Trata esta parte de la física de averiguar la mayor ó menor cantidad de agua en vapor que hay en la atmósfera. Aun en los tiempos que nos parecen mas secos hay siempre cierta humedad en el aire, de que podemos convencernos con la esperiencia comun de que si en el rigor del verano echamos agua fria en un vaso, cuyas paredes exteriores estén sumamente secas, en el momento se verán empañadas con una especie de rocío, debido á la cantidad de vapor que estaba en el aire próximo á ellas, y que tocando ahora á paredes de una temperatura mucho mas baja que la de la atmósfera, se condensa.

502. Este vapor nunca se halla en el máximo de tension correspondiente á la temperatura de la atmósfera, pues entonces á la menor disminucion en los grados de calor se depositaria rocío sobre los cuerpos; y vemos que no sucede asi.

503. Llámanse *higrómetros* los instrumentos que sirven para conocer el grado de humedad de la atmósfera; y los hay de varias especies, no solo por su figura sino tambien por el principio en que están fundados. Pueden dividirse por esta causa en higrómetros de condensacion, de absorcion y de evaporacion.

504. Los *higrómetros por condensacion* estriban en el principio ya mencionado, de que cuando se disminuye la temperatura de los cuerpos se deposita el vapor sobre ellos: son el de cápsula y el de Daniel.

505. *Higrómetro de cápsula*: consta de una vasija delgada de oro *a* (fig. 245), por cuyo fondo pasa un termómetro *bc*, cuya bola esta en la capacidad de la vasija. Se echa en ella eter, cuyo liquido enfria por su evaporacion las paredes de la cápsula y hace tambien bajar el termómetro; al cabo de cierto tiempo se ve

empañada la superficie exterior de la cápsula; y teniendo cuidado de observar á qué temperatura se presentó el fenómeno, es fácil averiguar cuanta es la cantidad de vapor contenida en una estension de aire; pues la fuerza elástica de dicho vapor es exactamente la misma que la del máximo de tension, á la temperatura en que se observó el rocío; y de ahí puede deducirse lo que se desea. Hay tablas en que ya está calculado de antemano el peso del agua que está reducida á vapor, las cuales facilitan dicha operacion.

506. *Higrómetro de Daniel.* Consta de un tubo encorvado *abc* (fig. 246), terminado en dos bolas *df*, la primera de vidrio negro y la segunda de vidrio blanco: en lo interior de *d* y hasta la mitad de su capacidad, hay eter, en donde está sumergida la bola *g* de un termómetro sumamente pequeño, contenido en la rama *ab* del tubo. Se ha estraído el aire de lo interior de todo este aparato que está sostenido por un pie *h*, y se ha cubierto con un lienzo fino la bola *f*. En el momento que se aplica eter á dicho lienzo, empieza á evaporarse el eter de lo interior de la bola *d*, y á enfriarse dicha bola; el vapor se deposita entonces en su parte interna y ademas baja el termómetro. Ya estamos en el mismo caso que en el higrómetro anterior, y el cálculo para averiguar el estado higrométrico del aire se efectua del mismo modo.

507. *Higrómetros por absorcion.* Están fundados en la propiedad que tienen ciertas sustancias de aumentar ó de disminuir de longitud cuando absorvea la humedad. Describiremos el de *cabello* ó de *Saussure*, por ser muy comun. Se compone de un cuadrilátero *abcd* (fig. 247) formado por cuatro varillas metálicas: en el punto *f* de una de ellas hay una pieza, que sirve de pinza, para sujetar la estremidad *g* de un cabello, el cual da despues vuelta y media á una polea doble *h* y termina en *k*, adonde se le ata un peso pequeño. Al moverse la polea en su ege lleva en su movimiento una aguja *lm*, cuya estremidad recorre un arco de círculo graduado en 100 partes *sd*: una pieza *r*, movable al rededor de un punto fijo, sujeta la polea *h*, cuando no quiere hacerse uso del instrumento, é impide que con la continuidad de estar siempre tirante el cabello, se eche á perder al fin: todo el aparato está sostenido por el pie *z*. Los cabellos tienen la propiedad de alargarse cuando absorven la humedad, y como á proporcion de que varie de longitud por el mecanismo de que hemos hablado, debe moverse la punta de la aguja, de ahí resulta el que podrá indicar la mayor ó menor humedad que haya absorvido.

508. Para que el cabello sea buen cuerpo higrométrico es indispensable quitarle la grasa que contiene, y se efectua hirviendolo por cierto tiempo en agua ligeramente alcalina. El modo de graduar este instrumento es el siguiente. Se introduce primero dentro de una campana que contenga cloruro de calcio, á fin de que esta sustancia, que atrae la humedad de la atmósfera, seque completamente el aire; entonces se verá moverse la aguja, y cuando ya no tenga movimiento, lo cual solo se consigue al cabo de tres dias, se señala el punto cero ó la sequedad extrema. Despues se coloca en otra campana cuyas paredes estan mojadas, y que descansa sobre una vasija que contenga agua; se verá moverse la aguja en direccion contraria á la anterior y en el sitio en que permanece fija, al cabo de cierto tiempo, se señala el 100 ó la humedad extrema. Se divide despues en 100 partes aquel arco de círculo y esos son los grados del higrómetro.

509. *Higrómetro por evaporacion.* Describiremos uno que es el *Psycrómetro*, que se compone de dos termómetros iguales *ab, cd* (fig. 248); la bola de uno de ellos *d* está envuelta con un lienzo fino, y sale de él un hilo que va á parar á una vasija que contiene agua. Sirviendo el hilo de tubo capilar, ocasiona el ascenso del liquido, el cual moja el lienzo que cubre la bola y se produce una evaporacion en el agua, con la cual baja el termómetro *cd*, conservándose el otro á la temperatura de la atmósfera. Esta disminucion ó descenso de los grados será tanto mayor, cuanto mas rápida la evaporacion, y la rapidez depende del estado higrométrico del aire: de consiguiente se podrá deducir este por aquella.

LECCION XXIX.

De la electricidad.

510. Una barra de lacre ó de resina que se frote con la piel de un gato ó con un pedazo de paño, adquiere la propiedad de atraer cuerpos ligeros, tales como pedacillos de panes de oro, porciones pequeñas de medula de sauco, barbas de plumas &c. Se ha dado el nombre de electricidad á esta propiedad, por haber sido observada primeramente en el ambar, que en griego se llama *electron*.

511. Pero la facultad de atraer cuerpos ligeros no es la única que adquieren aquellas sustancias por la frotacion; si se hace la esperiencia con cuerpos de dimensiones notables, para hacer mas perceptible los efectos, se verá que aproximándolos despues de frotados, ó al dorso de la mano ó á la mejilla, se experimenta casi la misma sensacion que si tocase á estas partes una tela de araña y acercándoles un cuerpo echará chispas; si esta esperiencia se

hace en la oscuridad, se verá luminoso todo el cuerpo frotado; y exhalará un olor bastante análogo al del fósforo.

512. Todos los cuerpos pueden presentar estos fenómenos cuando se les frota, puestos en ciertas condiciones, de que hablaremos mas adelante; en el vidrio se producen con mucha facilidad, frotando cilindros gruesos ó círculos planos de esta materia. Para observarlos en otras sustancias es necesario colocar de cierto modo los cuerpos ligeros, cuya atracción con los que gozan de la propiedad eléctrica ó que están electrizados, como se dice comunemente, deseamos investigar, y para ello se disponen ciertos aparatos, à los cuales se da el nombre de *electroscopos*. Los hay de varias especies: el *péndulo eléctrico* que es el mas simple de ellos, consta de un pie de madera *a* (fig. 249), en cuyo centro se levanta un cilindro de vidrio, encorvado en ángulo recto y adelgazado en la porción *bc*; de su estremidad *c* cuelga una seda, tal como sale del capullo, que termina inferiormente en una bolita de sauco *g*, que es el cuerpo atraído por el electrizado cuando se presenta à alguna distancia.

513. La *aguja eléctrica* es otro electroscopo tal vez mas sensible que el anterior: se compone de un pie *a* (fig. 250) con una varilla metálica, terminada superiormente en punta: esta entra en una abertura, cuya parte superior es de ágata, que presenta otra varilla horizontal *cd*; en las estremidades de esta hay dos bolitas huecas de metal. Cuando se pone à corta distancia de cualquiera de las bolas un cuerpo electrizado, gira la varilla al rededor del punto fijo y se aproxima la bola.

514. El *electroscopo de Coulomb* es aun mas sensible que los aparatos anteriores. Consiste en una caja cilindrica de cristal *ab* (fig. 251) cuyo fondo está dado de lacre y cuya abertura superior está cubierta con un círculo tambien de cristal, que tiene una abertura *c* para introducir el cuerpo electrizado. Dicho círculo está atravesado en su centro por una pieza, de cuya parte inferior cuelga una seda, tal como sale del capullo, que sostiene una aguja de goma laca, formada de un hilo sumamente delgado de dicha sustancia *mr*, terminado por una de sus estremidades en un círculo de oropel. La menor atracción mueve esta aguja, y cuando es muy intensa basta aproximar el cuerpo electrizado por fuera de la caja, para que gire, sin necesidad de introducirlo en ella.

515. Haciendo esperiencias con estos aparatos se nota desde luego que hay cuerpos como el vidrio, las resinas, la seda,

&c. que en cuanto se frotan dan señales de atracción; y que otros como los metales no dan indicios de electrizarse, por mas que se froten, teniéndolos en la mano; pero si estos últimos los fijamos en alguno de los cuerpos que se electrizan con facilidad, para suspenderlos ó cogernos por su intermedio, en el momento atraen los cuerpos pequeños. De aqui se deduce que la falta de atracción observada en el primer caso, no dependia de que aquellos cuerpos no se electrizarán sino de que perdian la electricidad al paso que se iba desarrollando. Esta experiencia ha hecho que se dividan los cuerpos con respecto á la electricidad en dos clases, *buenos y malos conductores*; por haberse supuesto que la electricidad era como un fluido sutil, que podia pasar por unos cuerpos y no por otros.

516. Los metales, el carbon calcinado, los vegetales y animales, la tierra, aceite, y los gases húmedos son cuerpos conductores; las resinas y en especial la goma laca, el lacre, la seda, los aceites y los gases secos, son malos conductores.

517. Puede probarse que nuestro cuerpo es conductor de la electricidad de un modo muy sencillo; si tocamos á un cuerpo metálico cualquiera, que esté sostenido ó suspendido por cuerpos no conductores y que esté electrizado, en el momento pierde la electricidad; y si continuamos tocándole, por mas que se haga para que el metal adquiera de nuevo aquella propiedad, no lo conseguiremos. Sin embargo, si en vez de estar en pié en el suelo, nos subimos sobre un banquillo, cuyos pies sean de vidrio, notaremos que á nuestro cuerpo le sucede como á los otros que son buenos conductores, quiero decir que tambien adquiriremos la propiedad eléctrica ó de atraer cuerpos pequeños, dar chispas, cuando se aproxima otro cuerpo &c. Al sacar las chispas experimenta la misma sensación el que está comunicando con la tierra, que el que está separado de ella por el banquillo; sensación que es casi indefinible como diremos en adelante. Debe evitarse sacar chispas de partes que sean muy sensibles; como los ojos, labios &c. pues entonces sería sumamente dolorosa la sensación.

518. Todo cuerpo separado de la tierra por medio de otros no conductores, se dice que está *aislado*, y *taburete eléctrico* se llama el banquillo de madera con pies de vidrio, de que hemos hablado en el número anterior.

519. La electricidad no aumenta el peso de los cuerpos, ó á lo menos no se ha podido percibir diferencia con las balanzas mas sensibles, por eso los que consideran esta propiedad efecto de un fluido particular, llaman á este imponderable.

520. Tampoco aumenta en dimensiones un cuerpo electrizado, como puede comprobarse introduciendo un termómetro de mercurio ó de otro líquido en una vasija que contenga agua, y electrizando todo el aparato por los medios que mas adelante diremos; pues aunque se electriza así el líquido de lo interior del termómetro, no se observa que suba la columna. Y así debía suceder, á no ser que se dilatase el vidrio la misma cantidad que los demas líquidos cualquiera que fuera su naturaleza, lo cual parece imposible.

521. No es la frotacion el único medio de electrizar un cuerpo; la presion, el contacto, la cristalización, la mutacion de estado, el calórico y las acciones químicas pueden hacerlo; tambien se desarrolla la electricidad en un cuerpo poniéndolo en contacto con otro que esté ya electrizado, ó aproximándolo solamente, lo cual se llama *electricidad comunicada*. De todos estos fenómenos hablaremos en adelante, limitándonos ahora á tratar de la electricidad producida por la frotacion y de la comunicada.

522. *Distribucion de la electricidad entre los cuerpos que se tocan.* Si nos proporcionamos dos conductores de la misma forma y dimensiones; por ejemplo dos esferas de metal, notarémos que despues de haber electrizado una de ellas y de haber visto que atraia á los cuerpos ligeros, poniéndola en contacto con la otra, esta adquiere electricidad, y la primera pierde parte de ella; de manera que su accion no es ya tan enérgica como antes. Las dos esferas tienen despues del contacto la misma fuerza; pero si son desiguales en proporcion de lo que exceda la no electrizada en grandor á la otra, pierde esta mas fuerza con el contacto. Si pusiéramos en comunicacion el cuerpo electrizado con uno sumamente grande, como por ejemplo la tierra, despues del contacto ya no observariamos fenómeno alguno; por eso se suele llamar la tierra *receptáculo comun* de la electricidad. El caso indicado de que comunicando un hombre con un cuerpo que tuviese electricidad, este la perdía al momento, está comprendido en el anterior; pues comunicando tambien el hombre con la tierra, se ponen en contacto dos cuerpos conductores, uno de ellos sumamente grande, que hace desaparecer la electricidad del otro.

523. Si al cuerpo conductor electrizado tocase otro que no pudiera conducir la electricidad, solo el punto ó puntos por el cual se verifica el contacto presentarian fenómenos eléctricos, pero la disminucion de electricidad del cuerpo conductor se nota-

ria en todos sus puntos; y si fuera esférico, igual disminucion habria en todos ellos.

Si es mal conductor el que está cargado de electricidad, solo se disminuirá ó se perderá esta en el punto de contacto, sea el otro cuerpo conductor ó no.

524. *Hay dos especies de electricidad.* Frotando un pedazo de resina con una piel de gato y aproximándolo al péndulo eléctrico (n.º 512), se verá que se atrae la bolita de sauco; mas si se le deja tocar á ella la bola, es repelida y huye de la resina: si se hubiera hecho la esperiencia con un tubo grueso de vidrio, frotado con un pedazo de paño, se habrian observado los mismos fenómenos; pero es de notar que si aproximamos el vidrio frotado á la bola que habia sido repelida por la resina, hay atraccion; y lo mismo sucede cuando á una bola repelida por el vidrio se le acerca la resina.

525. De otro modo, si se ponen dos sedas cada una con su bola en el péndulo eléctrico, y hacemos que ambas bolas toquen á un pedazo de vidrio electrizado, se repelerán ambas, como representa la figura 252; lo mismo harán si en vez de vidrio hubiésemos empleado resina; mas si á una de las bolas le damos la electricidad que proviene del vidrio y á la otra la que procede de la resina, se observará que las bolas se atraen hasta llegar á tocarse. Luego la electricidad que procede del vidrio tiene propiedades diferentes que la que se origina de la resina; y por eso los físicos las han denominado á la primera, ó á la que es producida por el vidrio frotado con paño, *electricidad vitrea* y á la segunda, denominada de la resina frotada con piel de gato *electricidad resinosa*. Vemos pues que se pueden espresar los fenómenos en forma de ley diciendo, *que los cuerpos que tienen una misma especie de electricidad se repelen, y los que la tienen diferente se atraen.*

526. Hemos tenido cuidado de espresar siempre las cualidades del cuerpo frotante y del frotado, por que el vidrio frotado con otras sustancias, como por ejemplo, con piel de gato puede dar electricidad resinosa. Por evitar los inconvenientes que pudiese tener esta denominacion; es por lo que hay físicos que llaman positiva á la primera especie de electricidad y negativa á la segunda; nombres que convienen con la observacion de que cuando á un cuerpo que está cargado de una especie de electricidad, se le agrega igual cantidad de la otra, pierde el cuerpo toda especie de electricidad y no presenta ninguno de sus fenómenos. En adelante diremos como puede conocerse que dos cantidades de e-

electricidad son iguales; ahora nos podremos formar idea de ello suponiendo que los dos cuerpos desviasen á la aguja del electrosco-
 copo de Coulomb el mismo número de grados.

527. Cuando se frotan dos cuerpos, uno de ellos adquiere electricidad vitrea y el otro resinosa: así si tomamos dos discos de distintas sustancias, aislados por mangos de vidrio, como representa la figura 253 y los aproximamos sucesivamente, después de haberlos frotado uno con otro á un péndulo eléctrico, cuya bola tenga ya una especie determinada de electricidad, observaremos que si el disco *a* atrae la bola del péndulo, *b* la repele y viceversa. En esto consiste la siguiente experiencia: si se suben dos personas en taburetes eléctricos, y una de ellas golpea á la otra con una piel de gato, ambas se electrizarán; pero con electricidades contrarias. Para que salga bien esta experiencia como casi todas las de electricidad, es necesario que el aire esté muy seco y que también lo esten los pies de los taburetes y la piel de gato; pues si no el aire, el vidrio y las otras sustancias húmedas, obrarían como buenos conductores y no aislarían. Se les puede quitar la humedad á los aparatos calentándolos con paños; pero no es posible hacer lo mismo al aire de la atmósfera y por eso no salen bien los experimentos en días húmedos.

528. *Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas. Los cuerpos electrizados se atraen ó se repelen en razon directa de las superficies y en razon inversa del cuadrado de las distancias.* La primera parte de esta ley quiere decir que dos cuerpos de la misma naturaleza y de igual superficie, pero cuya masa sea muy distinta, como por ejemplo, una bola hueca y otra maciza de la misma area, atraerán ó repelerán igualmente á otro cuerpo que se halle á la misma distancia. Ya al tratar de la gravedad (n.º 52) indicamos lo que significaba la segunda parte de la ley que es comun á estas dos fuerzas. Para probarla con experimentos se usa un aparato que se llama *balanza eléctrica de Coulomb*, compuesta de un pié circular *a* (fig. 254), cuya cara superior está barnizada con goma laca ó lacre, de un cilindro de cristal *bc*, unido por su parte inferior con dicho pié y abierto por la superior, para recibir una tapadera de cristal, que puede girar con facilidad sobre el cilindro; en dicha tapadera hay dos aberturas; una mayor *d* en el centro, en la cual se adapta otro cilindro menor de vidrio *df*, tapado superiormente con un círculo de metal, graduado en 360 partes, y en cuyo centro hay una varilla con una aguja que va á servir de tornillo micrométrico; la parte inferior de la varilla termina en

unas pinzas, de donde cuelga un hilo delgado de plata, abrazado inferiormente por una especie de lapicero. Este sostiene una aguja de goma laca hk , en una de cuyas estremidades hay un círculo de oropel. En el punto g de la tapadera hay otra abertura, por donde pasa un tubo de vidrio barnizado de goma laca, y que termina en una bola metálica m , á la altura de la aguja. Por fuera del cilindro bc y en esta misma altura, se halla una tira de papel dividida en 360 partes, cuyo uso veremos ahora. Para hacer el experimento es indispensable haber preparado el aparato con muchos dias de anticipacion, colocando en su interior cal viva, á fin de que el aire interior esté sumamente seco y que no haga perder á los cuerpos electricidad. La esperiencia, para la cual debe elejirse un tiempo muy seco, se empieza colocando el micrómetro en cero grados, y dando vueltas á la tapadera, á fin de que el borde cortante del círculo de oropel corresponda al cero de la escala de papel, cuando deje de oscilar y no haya torsion del alambre de plata. Hecho esto, se le dá una cantidad de electricidad á la bola, sacándola primero por su mango con este objeto, y volviéndola á poner en su sitio, que corresponde al cero de las divisiones circulares: tocando entonces á la bola el círculo de oropel, adquirirá la misma electricidad que ella, y será repelido cierto número de grados. Supongamos que llegue hasta el 36, como sucedió en las esperiencias de Coulomb. Si el aire está suficientemente seco, permanecerá en dicho sitio por algun tiempo, y se acercará lentamente á la bola, por ir perdiendo poco á poco electricidad. Pero antes que esto suceda se debe torcer el micrómetro superior, para producir una torsion en el hilo de plata, que obligue al círculo de oropel á aproximarse hasta el $18.^{\circ}$; se necesita para ello que el micrómetro superior recorra $126.^{\circ}$. Veamos ahora ya con estos datos como se puede comprobar, que la atraccion está en razon inversa del cuadrado de la distancia. Aqui estas distancias se hallan representadas por los arcos $36.^{\circ}$ y $18.^{\circ}$; pues aunque es verdad que las distancias verdaderas de la bola á las diversas posiciones en que se halla el círculo de oropel, son las cuerdas de los mencionados arcos, el error de tomar unas cantidades por otras es sumamente pequeño. La fuerza de las repulsiones está medida por las torsiones respectivas del hilo que establecen el equilibrio; y estas torsiones son para el primer caso $36.^{\circ}$, pues estando fijo el alambre por la parte superior, se ha torcido por la inferior este número de grados. Para el segundo caso hay torsion por las dos estremidades del hilo, $126.^{\circ}$ por la superior y $18.^{\circ}$ por la inferior;

luego la torsion total es $126^\circ \div 18^\circ = 144^\circ$. Ahora bien $36:144 :: 18^2:36^2$; puesto que simplificado se convierte en $1:4::1^2:2^2$; luego la ley es cierta. Haciendo mas experimentos, torciendo el micrómetro superior hasta que la distancia entre la bola y el círculo de oropel sea de 9° , se hallará una torsion que tambien satisface á dicha ley &c.

529. De esa suerte se hace el experimento para las repulsiones. En las atracciones es necesario poner á alguna distancia de la bola, como en el grado 36 de la escala de papel por ejemplo, un cabello tirante, el cual impida que el círculo de oropel pueda tocar con la bola. A cada uno de los dos cuerpos se le da electricidad, pero de diversa especie; y se nota cuanto hay que torcer el tornillo micrométrico para impedir que el círculo esté haciendo fuerza contra el cabello, como para unirse con la bola. Esos grados del micrómetro y los 36° de torsion inferior, representan la torsion total del hilo. Si ponemos otro cabello en los 18° y quitamos el que estaba colocado en los 36° , habrá que torcer mucho el micrómetro, para que no se apoye con fuerza el círculo de oropel contra el cabello; sumando estos grados con 18° de torsion de la parte inferior, tendremos la torsion total.

530. *Pérdida de la electricidad.* Cuando está aislado un cuerpo conductor y cargado de electricidad, se nota que poco á poco va perdiendo las propiedades que constituian el estado eléctrico, hasta quedarse como antes ó en *estado natural*. Esta pérdida de la electricidad puede efectuarse por los apoyos ó aisladores del cuerpo, por el aire mismo, ó por este y aquellos. Los apoyos aunque formados de cuerpos no conductores, dan paso á la electricidad cuando esta es mucha, ó no son ellos de suficiente longitud; pero algunas veces la humedad que retienen en la superficie es la causa de que desaparezca la electricidad, pues como ya hemos dicho (n.º 516) todas las sustancias húmedas son conductoras. El aire cuando está muy cargado de húmedad contribuye tanto á dar paso á la electricidad que ciertas experiencias son imposibles en dias húmedos. Para conocer si un cuerpo pierde su electricidad por el aire ó por los apoyos hay un medio que describiremos ahora despues de haber dicho lo que se entiende por *plano de prueba*. Es un círculo pequeño de oropel, colocado en la estremidad de un cilindro de goma laca, para aislarlo, que sirve para tocar con él los cuerpos en que deseamos averiguar la intensidad de la fuerza eléctrica. Cuando se pone el círculo del plano de prueba en contacto con un punto del cuerpo, se supone y con ra-

zon al parecer, que este le comunica una cantidad de electricidad proporcional á la que tenia.

531. Ahora bien, si teniendo un cuerpo aislado, por dos apoyos por ejemplo, se toca con el plano de prueba un punto del cuerpo y se lleva dicho plano á que comunique con la aguja del electroscope de Coulomb, se notará que se separa cierto número de grados. Si al cabo de un minuto vuelve á repetirse la misma operación, despues de haber descargado la aguja del electroscope, se observará que la separacion es menor que en el primer caso, prueba de que ha perdido en dicho minuto alguna electricidad el cuerpo. Repitiendo estas esperiencias se puede conocer á donde llega la aguja del electroscope al cabo de uno, dos, tres minutos &c. No sabemos todavia por donde se lleva al cuerpo la electricidad; pero si en vez de dos apoyos, ponemos cuatro por ejemplo, y hallamos los mismos números que antes, para las desviaciones producidas al cabo de uno, dos, tres minutos &c., claro es que los apoyos en nada influyen, pues de lo contrario la pérdida de la electricidad en este caso debia ser mucho mayor: luego los apoyos aíslan perfectamente y la pérdida de electricidad es ocasionada por el aire. Esta última causa no se puede quitar enteramente.

532. El aire seco retiene la electricidad en la superficie de los cuerpos, la cual se iria bien pronto sin ese obstáculo, pues colocando un cuerpo electrizado y aislado en la máquina neumática y haciendo el vacío, desaparece toda la electricidad.

533. Hemos dicho que la electricidad quedaba siempre en la superficie de los cuerpos, y de ningun modo pasaba á su interior; lo cual se prueba con una bola hueca de metal *a* (fig. 255) abierta por el punto *b*, para poder introducir cuerpos en su cavidad. Si se hace comunicar el interior de dicha bola con un cuerpo electrizado, por medio de una cadena, sin que esta toque á los bordes de la abertura *b*, se notará despues de haberla separado con un cuerpo aislador, como un tubo de vidrio, que la electricidad existe en la superficie esterna y de ningun modo en la interna; pues si hacemos que comunique esta con un plano de prueba, sin que toque ni al entrar ni al salir con los bordes de la abertura, no le hallaremos electricidad alguna, y por la inversa la encontraremos, si en seguida tocamos con dicho plano la superficie exterior. Puede hacerse tambien el experimento con otro aparato, compuesto de una bola de metal *a* (fig. 256) aislada y sostenida por un pié, y dos hemisferios huecos de metal aislados tambien *b* y *c*, los cuales pueden cubrir toda la superficie de la esfera. Dándole á

esta electricidad, si se le adaptan despues los hemisferios y se retiran, teniéndolos por los mangos aisladores, se llevaran toda la electricidad, asi ellos darán señales de tenerla y de ningun modo la bola.

534. *Distribucion de la electricidad en los cuerpos conductores.* Segun la figura del cuerpo podrá estar repartida la electricidad con igualdad en su superficie, formándole una capa de un grueso escesivamente pequeño, ó estar acumulada en mayor cantidad en unos puntos que en otros. Asi en una esfera la electricidad se reparte con igualdad, mas en un elipsoide de revolucion, cuerpo que se forma dando vueltas una elipse como *abc* (fig. 257) al rededor de uno de sus ejes, tal como *ab*, hay mayor cantidad de electricidad en las estremidades *a* y *b* de este eje, que se llama mayor, que en ningun otro punto. El cálculo demuestra que las cantidades de electricidad, ó el grueso de la capa eléctrica en una de las estremidades del eje mayor *ab*, comparada con la del eje menor *cd*, están entre sí como el eje mayor es al menor, y como la fuerza con la cual procura salir la electricidad de los cuerpos, ó lo que se ha llamado *tension de la electricidad*, es proporcional al cuadrado de dicha capa, se infiere que debe ser mucho mayor en *b* que en *c*; y la diferencia será tanto mas considerable, quanto mas largo sea el eje mayor comparado con el menor. De aqui la gran tension que se observa en las estremidades de las puntas metálicas, pues pudiéndose considerar cada punta como un semi-elipsoide de revolucion, es claro que está comprendida en la ley enunciada. La tension es tan grande que vence la resistencia que opone el aire á la salida de la electricidad y se espere abundantemente en la atmosfera. Esta propiedad tiene una aplicacion inmediata á los pararrayos como veremos; y al tratar de la máquina eléctrica describirémos un aparato, cuya teoria es análoga á la del torniquete hidráulico (n.º 218) y que está fundado en esta salida de la electricidad.

535. *Comunicacion de la electricidad.* Ya hemos dicho (n.º 520) lo que debia entenderse por electricidad comunicada; y que cuando un cuerpo la recibe de otro puede estar en contacto con él ó solo próximo. En el primer caso no se observa chispa ó luz alguna, en el segundo sale, y á tanta mayor distancia quanto mas cargado está el cuerpo. Esta chispa es de un color blanco y se estiende en linea recta, cuando ambos cuerpos distan poco entre sí, como por ejemplo una pulgada; pero si estan mas separados y hay en el primero suficiente electricidad para que se obtenga á la

distancia de un pié, la línea que forma en su estension es angulosa, semejante á lo que se observa en los relámpagos. A esta chispa acompaña un ruido particular, y si es una parte del cuerpo humano la que se aproxima, por ejemplo un dedo, experimenta el sujeto una sensacion, poco desagradable cuando sale á corta distancia, y que solo se percibe en el mismo punto aproximado; pero cuando es muy intensa y que sale á mayor distancia se estiende la sensacion hasta el codo, y le acompaña una contraccion involuntaria de los músculos del antebrazo; si la chispa eléctrica hiciese mayor impresion, que llegara por ejemplo á las partes laterales del pecho, ya seria peligroso el recibirla, y podria dar margen á los accidentes de que hablaremos al tratar de los efectos del rayo en la economía animal.

536. La chispa eléctrica es tanto mayor cuanto mas estensa es la superficie del cuerpo que la produce. Asi si empleamos para ello una bola de metal *a* (fig. 258), colocada en la estremidad de una varilla metálica *bc*, que termina en un mango de vidrio *cd*, instrumento que se llama *escitador simple*, apenas se notará la chispa que se obtenga, cuando teniéndolo en la mano por el mango de vidrio, toquemos con la bola un cuerpo con mucha electricidad, pero aumentará mucho de intensidad si colocamos en el gancho *f* una cadena que vaya á parar hasta la tierra.

537. Esta chispa no quema, ni produce en nuestros organos sensacion alguna parecida á la del fuego, y á pesar de eso es capaz de inflamar los cuerpos combustibles. Si estando un hombre aislado, por medio del taburete eléctrico, y en comunicacion con un cuerpo conductor que contenga gran cantidad de electricidad, tiene en una mano una varilla metálica, terminada por una copa de la misma sustancia y llena de eter, se notará que se inflama al punto este líquido, cuando otra persona hace salir una chispa del fondo de la copa, introduciendo en el líquido una vara metálica, terminada en una bola.

538. *Teoría de la electricidad.* Ya dijimos que los físicos habian supuesto que era la electricidad un fluido; mas al ver que cuando se frota un cuerpo con otro, adquieren ambos electricidad, pero con distintos caractéres, ha habido necesidad para explicar bien los fenómenos, de admitir la existencia de dos, uno llamado vitreo y otro resinoso; y suponen que se hallan combinados en los cuerpos y neutralizados uno por otro; á lo cual se llama *estado natural*; que las moléculas de estos fluidos se atraen cuando son de diversa naturaleza, y se

repelen en el caso contrario; y que por medio de la frotacion ó por otras causas, se separan y obra uno en el cuerpo frotante y otro en el frotado. Hay necesidad ademas de suponer que estos fluidos son inagotables en los cuerpos. Estos datos nos son necesarios para entender bien lo restante de la teoria de la electricidad.

LECCION XXX.

Sigue la teoria de la electricidad.

539. *Electricidad por influencia.* Cuando un cuerpo conductor está á cierta distancia de otro que contiene electricidad, se electriza tambien sin que haya salido chispa entre ambos, ni el primero pierda la mas mínima parte de aquella cantidad que contenia, y á este modo de escitar el estado eléctrico es á lo que se llama electricidad por influencia. Si la distancia que hay entre los dos cuerpos es muy considerable, no se nota fenómeno alguno; y á la separacion que puede haber entre ambos, para que se efectue la electricidad y sean perceptibles sus fenómenos, se llama *esfera de actividad*. Esta varía segun la mayor ó menor cantidad de electricidad que tiene el cuerpo electrizado, al cual suele llamarse conductor principal. Para demostrar estos efectos de la electricidad por influencia, cuya causa explicaremos despues, se emplea un cilindro delgado de metal, terminado en dos bolas en sus estremidades *ab* (fig. 259) aislado por dos pies de vidrio *cd*, barnizados con goma laca. Pendiente de las estremidades *a*, *b* y de la

parte media m , hay alambres muy delgados, con bolas pequeñas de sauco, unidos de tal modo al cilindro que puedan moverse con facilidad. Al principiar la experiencia cada bola toca á su compañera, mas en el momento que todo el aparato se aproxima á su conductor, que supondrémos cargado de electricidad vitrea V , se nota que se separan entre si, y continúan separadas las bolas correspondientes á las estremidades a y b : y que las del medio m permanecen unidas. Si con un plano de prueba se averigua que especie de electricidad hay en b , se hallará que es resinosa, pues atrae la bola de un péndulo eléctrico que se ha cargado de antemano con electricidad contraria; en a hay electricidad vitrea, cuya naturaleza es fácil de conocer del mismo modo; y en la parte media no hay electricidad alguna. Si hubiéramos aproximado el aparato á un conductor que tuviera electricidad resinosa, los mismos fenómenos se presentarían, pero en sentido inverso, esto es, en b habria electricidad vitrea, en a resinosa, y en la parte media siempre se quedaria en estado natural. Veamos como se esplica el primer fenómeno. La electricidad vitrea del conductor principal, descompone la electricidad natural del cilindro amb , atrae la electricidad resinosa, que viene de consiguiente á b , repele la vitrea, que se dirige hasta a ; y la parte media se queda en estado natural viniendo estas cantidades de electricidad á las estremidades; y comunicándose por los alambres á las bolas, claro es que deben repelerse, por ser de la misma naturaleza. Con la misma facilidad se esplica el segundo caso, de que el conductor principal poseyese electricidad resinosa.

540. *Un cuerpo electrizado por influencia eléctrica á otro tambien por influencia.* En efecto si ponemos un aparato análogo al cilindro ab de la fig. 259 á continuacion de este, como está representado en la figura 260, notaremos que las bolas colocadas en f se separan con electricidad resinosa, y lo mismo hacen las que estan en g , aunque con electricidad vitrea; las del punto medio h permanecen en estado natural. La teoria es aqui la misma, pues la electricidad vitrea de a descompone la natural de gf , atrae hácia allí la resinosa y repele la vitrea.

541. Si se quitan los cuerpos de la influencia del conductor principal, se quedan en el estado natural, pues se reúnen las dos electricidades que antes estaban separadas; esto se puede hacer ó gradualmente, sacando chispas pequeñas del conductor principal, ó bien aumentándose la distancia que hay entre ambos cuerpos, hasta que salga el segundo fuera de la actividad del pri-

mero. Se logra hacer cesar repentinamente la influencia, descargando de pronto el conductor principal, y en ese caso si fuese un cuerpo animado el que estuviese electrizado por influencia, podría sentir una conmoción, por la reunión rápida de las dos electricidades, para constituir el estado natural: á esto se ha llamado *choque de retroceso*.

542. Cuando los cuerpos que estan colocados en la esfera de actividad de un conductor principal electrizado, comunican con la tierra, se cargan de una electricidad contraria á la de dicho conductor. Esto se comprueba bien por esperiencias, valiéndose del mismo aparato representado en la figura 259, y haciendo que *ab* comunique con la tierra por medio de una cadena, unas veces por la estremidad *a*, y otras por la *b*: se notará en ambos casos tocando al cilindro *ab* en cualquier punto, con un plano de prueba, que siempre saca electricidad resinosa, si el conductor principal está cargado de electricidad vitrea, y viceversa. Con respecto á la teoría, se entiende bien que si comunica con la tierra el aparato por la estremidad *a*, puede salir con facilidad y dirigirse á la tierra la electricidad por la cadena, quedando por eso cargado de electricidad resinosa; mas no se comprende tan bien como sucede lo mismo cuando la cadena está en *b*, pues parece que por el contrario la electricidad resinosa deberia irse: mas es necesario atender que en este caso la cadena y la parte próxima de la tierra, se electrizan tambien por influencia; que descompuesta la electricidad natural de ellas es repelida la vitrea y atraida la resinosa, la cual subiendo por la cadena pasa de *b* á *a* y neutraliza la electricidad vitrea, que en este último sitio habia; y que despues viniendo mas cantidad de electricidad resinosa, queda todo el aparato cargado de esta especie de electricidad. Claro es que racionios análogos demuestran porqué tiene el cuerpo aislado electricidad vitrea, si comunicando con la tierra por cualquier parte, está á la influencia de un conductor principal que contenga electricidad resinosa.

543. *Un cuerpo cargado de electricidad puede tambien electrizarse por influencia.* Supongamos que el cilindro *ab* de la figura 259 posea electricidad vitrea, antes de colocarse á la influencia del conductor principal. Entonces las bolas que están en las estremidades de dicho cilindro se hallan separadas entre sí por dicha electricidad vitrea. Puesto el cilindro á la influencia del conductor, y viniendo electricidad resinosa á la parte *b*, las dos bolas de esta estremidad se aproximarán primero hasta tocarse, por ha-

berse neutralizado aquella, y despues volverán á separarse por la electricidad resinosa que hay en esceso: las otras dos bolas de la estremidad *a*, continuarán repeliéndose mutuamente, y aun se aumentará la distancia que hay entre ellas, por recibir mas electricidad vitrea de la que antes tenian.

544. *Máquina eléctrica.* Este aparato que sirve para reunir mucha electricidad, y hacer todas las esperiencias de que hasta ahora hemos hablado, consta de una mesa de madera *ab* (fig. 261) sostenida por cuatro pies de lo mismo: hácia uno de sus bordes se levanta un armazon llamado *el árbol*, formado de dos tablas angostas verticales y paralelas *fg*, *hk* unidas por la parte superior, que dejan un espacio entre sí, donde se halla un plano circular de vidrio *cd*, llamado *disco*, de un diámetro que puede tener muy varia dimension, desde la de media vara á la de vara y media, con una abertura en su centro por donde pasa un eje, que está sostenido en aberturas que presentan las dos tablas del árbol; una de las estremidades del eje tiene un manubrio *mn*, dando vueltas al cual, se mueve el disco con movimiento de rotacion: piezas circulares metálicas, cubiertas de cuero por la parte correspondiente al vidrio, sujetan el disco al eje é impiden todo desliz entre estas partes, que ocasionaria la fractura de aquel. Cuatro cojines de cuero, henchidos de crin, situados en las dos tablas del árbol, y que tocan al disco, sirven para que en el movimiento de rotacion froten con el vidrio y desarrollen las dos especies de electricidad, la vitrea que se va al disco y la resinosa á los cojines. Como esta última perjudicaria á la acumulacion de electricidad vitrea, que es lo que deseamos, se la dirige á la tierra por medio de láminas metálicas, que hacen comunicar á los cojines entre sí y luego por una cadena que del punto *r*, estremidad de una de estas láminas, vá á parar al suelo. Para aumentar la cantidad de electricidad que se desarrolla en el rozamiento del vidrio y los cojines, se frotan estos con una amalgama de zinc, mercurio y grasa, ó con una combinacion de azufre y estaño llamada *oro musivo*. De los puntos *z*, *z'*, *z''*, *z'''*, de la mesa se levantan columnas de vidrio, barnizadas de goma laca, llamadas *aisladores*, las cuales sostienen dos cilindros de metal sumamente pulidos *x*, *x'*, denominados *conductores*, que terminan en bolas por las estremidades opuestas al disco, y por las otras en una pieza metálica cilíndrica y mas delgada, que abraza las dos caras del disco á cierta distancia de él, y que se llaman *mandíbulas*. Por donde estan mirando las mandíbulas al disco, presentan unas bolitas de metal ó puntas;

cuyo uso veremos muy pronto: una vara metálica, que por sus extremos se introduce en aberturas á propósito que tienen los conductores, hace comunicar á estos entre si y se llama el *punte*. Se cas perfectamente todas las partes de la máquina, untados los cojines y calientes, si se da vueltas al manubrio, ni con mucha rapidez, ni con demasiada lentitud, se observará que se acumula una cantidad considerable de electricidad vitrea en los conductores. Para explicar como se ha podido desarrollar en ellos, á pesar de no tocar al vidrio, concibamos un punto del disco, que esté próximo á uno de los cojines superiores, y que pasa frotando con él en virtud del movimiento del manubrio; inmediatamente habrá adquirido electricidad vitrea y el cojin resinosa; pero esta se va por las láminas y cadena á la tierra, y queda solo aquella. Continua en el disco mientras pasa dicho punto del sitio correspondiente al cojin superior, hasta ponerse enfrente de la mandíbula de aquel conductor, y entonces la electricidad natural de este se descompone, la vitrea es repelida y por el contrario atraída la resinosa, y en virtud de las puntas ó bolitas pequeñas, que pueden considerarse como tales, es tanta la cantidad que en ellas se acumula, que vence la resistencia del aire y va al disco, neutralizando la electricidad vitrea que en dicho punto habia, y quedando despues este en estado natural, Asi permanece todo el tiempo que se remueve de enfrente del conductor hasta el cojin inferior; allí adquiere nueva cantidad de electricidad vitrea y vuelven á suceder los mismos fenómenos ya esplicados. A las dos ó tres vueltas que se dan al manubrio, adquiere la máquina el máximo de carga, pero si se deja de trabajar, al momento se pierde la electricidad, pues las puntas que tienen los conductores le dan paso fácilmente. Por eso cuando se quiere retener la electricidad en esperiencias que duren algun tiempo, es necesario estar siempre dando vueltas al disco. ó bien hacer que los conductores comuniquen con otros llamados secundarios, los cuales no tienen punta alguna, y quitar despues la comunicacion, valiéndose para ello de un cuerpo aislado, como por ejemplo un escitador.

545. Con un instrumento llamado *electrómetro de cuadrante*, se conoce cuando está mas ó menos cargada la máquina eléctrica. Es una varilla de madera *ab* (fig. 262) terminada en bola en su estremidad *a*, y en una pieza metálica con rosca en la *b*, y un semicírculo graduado de márfil *f*, por cuyo centro *c* pasa un eje que sostiene una varilla sumamente delgada de la misma sustancia, con una bolita de médula de sauco en su estremidad

d. Colocado este aparato en una tuerca que presenta la estremidad de uno de los conductores, adquirirá electricidad vitrea, lo mismo que la bola *d* que estaba tocando á la pieza *b*. Siendo de la misma especie la electricidad de ambas, será repelida la bolita *d*, y con tanta mas fuerza cuanta mas carga tenga la máquina, la cual se mide por los grados de separacion. Valiéndose del electrómetro es muy facil conocer lo que hemos dicho en el número anterior, relativamente á la prontitud con que llega la electricidad á su máximo y la facilidad con se pierde.

546. El *Electróforo* es un instrumento con que tambien se puede acumular la electricidad. Consta de un círculo de resina, de dos ó tres pies de diámetro *a* (fig. 263), sumamente liso por su cara superior, en la cual se golpea con una piel de gato, que se priva de húmedad secándola al fuego; sobre este círculo llamado *torta*, se coloca otro de metal *b*, mas pequeño que el anterior, con un mango de vidrio en su centro, para levantarlo. Si estando en esta posicion el aparato, se toca con un dedo la cara superior de *b* se verá una chispa muy pequeña, mas si despues se levanta por la estremidad del mango, se podrá obtener del círculo metálico una chispa bastante grande, y otras muchas mas, volviendo á colocar el instrumento como antes, á tocarlo, y levantarlo despues. Es necesario tener cuidado en tocarlo antes de elevarlo, pues sino nada se observaria. Bien clara es la razon de haberse acumulado esa cantidad de electricidad; pues la capa de aire que hay entre la torta y el círculo de metal, deja algo distantes entre si estos dos cuerpos, y deben observarse de consiguiente los fenómenos de la electricidad por influencia. Golpeando la torta con la piel de gato, adquiere electricidad vitrea y aquel cuerpo que va á servir ahora como de conductor principal, descompondrá la electricidad natural del círculo metálico, atraerá la vitrea hácia la cara que mira á la torta, y repelerá la resinosa á la cara superior: como se pone despues en comunicacion con la tierra, por medio del dedo, quedará cargado de electricidad vitrea y se hará libre cuando elevemos el círculo de metal con el mango aislador. Si no se hubiese tocado al círculo metálico, aun cuando se habrian separado las dos electricidades por la influencia de la torta de resina, se hubieran combinado de nuevo al levantar el círculo. El *Electróforo* es un instrumento muy útil en los laboratorios de química en que en general solo se necesita una chispa eléctrica para la combinacion de los gases.

547. *Electroscopos.* Llamanse asi unos aparatos que sir-

ven para conocer si un cuerpo está ó no electrizado y la especie de electricidad que tiene; ya hemos hablado de algunos como el péndulo eléctrico &c. (n.º 512) que pueden servir para este objeto; pero los que vamos á esplicar son de distinta naturaleza. Todos constan de una campana de vidrio *ab* (fig. 264), barnizada en la mitad superior de su superficie esterna, con una abertura en la parte mas alta por donde pasa un tubo de vidrio, que tiene en su interior una varilla metálica, terminada superiormente en una bola; estas dos piezas se llaman el conductor fijo, y en su estremidad inferior se colocan ó dos láminas de oro sumamente delgadas, de las que sirven para dorar, ó dos pajas, ó finalmente dos alambres muy finos con bolas pequeñas de sauco en sus estremidades. Estas piezas se llaman en general *conductores movibles* y segun la naturaleza de ellos toma diversos nombres el electroscopo, como de láminas de oro, de pajas &c. La campana *ab* descansa sobre un disco de metal, del cual salen dos columnitas metálicas *cd*, *fg*, terminadas en dos bolas, y cuya altura está proporcionada para que lleguen á dichas bolas las estremidades del conductor movible, en la mayor separacion de las dos piezas que lo componen. En lo interior de la campana se colocan sustancias que sequen el aire contenido dentro, á fin de que no se pierda electricidad. Para conocer con estos instrumentos si un cuerpo está ó no electrizado, no hay mas que aproximarle á la bola *m*, y si lo está se verá al momento separarse las dos piezas que componen el conductor movible. Si queremos ademas saber qué especie de electricidad es la del cuerpo, es necesario cargar el instrumento de antemano con una especie de electricidad conocida. No basta para ello la operacion sencilla que hemos indicado de aproximar el cuerpo á la bola *m*, pues si bien es cierto que el conductor movible experimenta un movimiento, cesa la separacion en el momento que se retira el cuerpo, quedando el electroscopo en estado natural. Para conseguir lo que se desea es indispensable hacer que el conductor fijo comuniquen con la tierra, lo que se logra poniendo un dedo algo humedecido en la bola *m*, después se aproxima el cuerpo electrizado, y luego se quita el dedo antes de separar aquel. Entonces se verá que las piezas que constituyen el conductor movible se quedan separadas y continúan así por mucho tiempo, si el aire interior está bien seco. Es fácil la esplicacion de todos estos fenómenos. Cuando el electroscopo no comunicaba por su armadura con la tierra habia descomposicion

de la electricidad natural de dichos conductores que estaban á la influencia del cuerpo electrizado, uno de los fluidos iba repelido á las bolas ó laminas y las separaba, pero en el momento en que se apartaba el cuerpo, volvian á reunirse las electricidades y se quedaba el conductor movable en el estado natural. Si comunicaba con la tierra por el contrario, debia cargarse de electricidad contraria á la del cuerpo y conservarla despues. Asi si tenia el cuerpo electricidad resinosa, el electroscope retenia la vitrea. Cargado ya el electroscope, si aproximamos á la bola *m* un cuerpo cargado de electricidad, cuya especie deseamos conocer, debemos notar con cuidado los movimientos del conductor movable; si se separan mas las piezas que lo forman es señal que la electricidad del cuerpo es la misma que la del electroscope, si se aproximan mucho es señal de que tienen electricidad contraria (n.º 543); pero si el movimiento de aproximacion es corto, nos quedarémos en duda, pues un cuerpo que no tuviese electricidad alguna produciria el mismo efecto. Por eso es conveniente descargar en este caso el electroscope y volverlo á cargar con otra especie de electricidad. Si aproximando ahora de nuevo el cuerpo á la bola *m*, hay repulsion de los conductores movibles, no queda ya duda de que el cuerpo está electrizado y conocerémos la especie de electricidad que contiene.

LECCION XXXI.

Sigue la teoria de la electricidad.

548. *Electricidad disimulada.* Asi se dice en fisica cuando las dos electricidades estan atrayéndose mutuamente, sin que puedan neutralizarse por haberles interpuesto un cuerpo mal conductor, pues entonces solo en determinadas circunstancias dan señales de existencia. El cuerpo mejor para interpuesto es el vidrio, y se emplea para los fenómenos de la electricidad disimulada un aparato sencillo llamado *cuadrado eléctrico*, que consiste en una lámina de vidrio, que en sus dos superficies tiene pegados dos cuadrados metálicos, hechos de láminas muy delgadas, de lo que se llama papel de estaño por ejemplo. Este cuadrado metálico es de menores dimensiones que el de vidrio, y la parte de este que queda á los lados de aquel, por ambas caras, se barniza con goma laca ó lacre. Si concebimos dos máquinas eléctricas, que una diese electricidad vitrea y la otra la misma can-

tividad de resinosa, y que comunicasen respectivamente con una de las caras metálicas del cuadrado eléctrico, se notaría que podrían acumularse cantidades considerables de electricidad, sin que se percibiese su existencia. Se podría tocar una de esas caras, sin experimentar conmoción, ni sacar chispas; pero en el momento que se pongan en comunicación una con otra, por el intermedio de un cuerpo conductor, se percibirá una chispa muy intensa y un ruido mucho mayor, que el que produce la chispa de la máquina; y si es el cuerpo humano el que establece la comunicación, se sentirá una conmoción violenta, que pudiera llegar á ser peligrosa si las dimensiones del cuadrado metálico fuesen muy considerables, pero que puede soportarse muy bien si tiene el lado del cuadrado menos de un pié.

No es fácil tener dos máquinas que suministren cantidades iguales de electricidad contraria; pero con una sola máquina pueden hacerse los experimentos, electrizando por contacto uno de los cuadrados y haciendo que el otro se electricice por influencia, poniéndolo en comunicación con la tierra.

549. En casos semejantes al anterior se usa para hacer comunicar entre sí las dos electricidades, sin que reciba conmoción el experimentador, de un instrumento llamado *escitador doble* que se compone de un aro metálico *abc* (fig. 265), terminado en bola por sus estremidades y que tiene un gozne en su parte media *b*, para poder abrirlo y cerrarlo según convenga. Por dos mangos de vidrio *d, f* se maneja este instrumento, y aplicando una bola al sitio donde hay una especie de electricidad, y la otra donde existe la electricidad opuesta, se consigue la descarga.

550. La recomposición de las electricidades que se verifica en estos casos se llama *repentina*; y á veces se descargan los aparatos por sí mismos, cuando hay mucha electricidad reunida, ya pasando esta del borde de un cuadrado al del otro, si están algo próximos ó bien atravesando el vidrio, formando un agujero sumámente pequeño. En este último caso se inutiliza el aparato, y no puede cargarse de nuevo, por combinarse las dos electricidades al paso que se van acumulando.

551. La electricidad nunca está completamente disimulada, esto es, que siempre da algunas señales de existencia, aunque muy cortas, tocando una sola de las caras; así es que se puede quitar toda la electricidad á un aparato de estos, por cargado que esté, tocando sucesivamente á las dos caras con un dedo; pero debe evitarse con cuidado que por inadvertencia vaya á es-

tablacerse la comunicacion entre las dos, por que entonces se recibiria la comunicacion. Puede demostrarse que siempre hay alguna electricidad libre, con una seda cuyos extremos sostengan dos bolas pequeñas de sauco; se pone en posicion vertical el cuadrado eléctrico, y doblando la seda por la mitad, se hace corresponder esta con el borde superior de aquel, y quedar las bolas á uno y otro lado tocando proxivamente á la parte media de los cuadrados metálicos; y se verá que una de las bolas es repelida por la cara correspondiente. Si tocamos esa cara, cae la bola hasta dar con el metal; pero se levanta la opuesta, á la cual le sucede el mismo fenómeno, y se separa entonces la primera.

552. *Botella de Leyden.* En esta teoria se funda un instrumento llamado botella de Leyden, por haberse descubierto en dicha ciudad casualmente los efectos de la electricidad disimulada. Es solamente una botella ó frasco de vidrio *ab*, (fig. 266), cubierta con hojas delgadas de estaño por su fondo y partes laterales, hasta cierta altura *cd*, y barnizada con goma laca ó con barniz de lacre lo restante de su superficie esterna. En su interior hay una porcion de metal en láminas finas, como del oro falso que sirve para dorar. El cuello está cerrado con un tapon de corcho horadado, para dar paso á una varilla metálica, que forma al exterior un gancho, terminado por una bola, y por el interior de la botella acaba en una cadena, que cuelga hasta el fondo de aquella. Aunque modificada en su forma, se ve bien que la botella no es más que un cuadrado eléctrico; el vidrio sirve para separar la lámina metálica esterna que se llama *armadura exterior*, y el oro con el gancho correspondientes, á la otra lámina metálica del cuadrado, que en la botella se denomina *armadura interior*.

553. Dos modos hay de cargar la botella; el uno se efectua tomándola por la armadura exterior, despues de haberla secado perfectamente, y poniéndola en contacto por el gancho con una máquina eléctrica, que esté en accion, ó sacando chispas de dicha máquina con la bola que termina el gancho: tambien se cargaria haciendo comunicar con la tierra la armadura exterior y con la máquina eléctrica la interior; pero esto no es tan cómodo en la práctica cuando se trata de una sola botella. Para el segundo modo de cargar se toma la botella por el gancho y se sacan chispas con la armadura exterior. En el primer caso la armadura interior tiene electricidad vitrea, y resinosa la armadura exterior; en el segundo viceversa.

554. Se puede descargar la botella repentinamente con

el escitador , con nuestras manos , ó con otro cuerpo conductor cualquiera, que ponga en comunicacion la armadura exterior con la interior. Tambien se descarga lentamente, tocando de un modo sucesivo ya á una armadura , ya á otra ; pero siempre con precaucion cuando la botella es grande y está muy cargada, para no recibir mucha conmocion. Si se ponen en fila diferentes personas asidas de las manos, y la que está en uno de los extremos tiene en la mano libre una botella cargada por su armadura exterior, y moviéndose todas sin soltarse, forman una rueda de modo que el sugeto que hace el otro extremo de la fila llegue á tocar á la bola del gancho, en el momento experimentan todos á la par la conmocion, algo mas fuerte para los dos que estaban en contacto con la botella, que para los otros. Por muchas personas que formen la rueda siempre se observa el mismo fenómeno, y la rapidez con que pasa la electricidad por nuestros órganos y que recorre toda la rueda es tan grande, que puede considerarse como instantánea. No hay tiempo en esta experiencia para examinar lo que se siente; solo se puede decir que se ha sentido. Al hablar de los efectos de la electricidad en nuestros órganos , entraremos en mas pormenores sobre la conmocion.

555. La electricidad en la botella de Leyden no existe en las armaduras, como á primera vista parece que debiera suceder , sino que llega hasta la superficie correspondiente del vidrio , al cual están unidas, por hallarse atraidas una por otra, hasta que la detiene el cuerpo no conductor. Esto se demuestra con un aparato llamado *botella de Leyden de armaduras movibles*, que se compone de un vaso de cristal *abc* (fig. 267), con barniz de lacre desde la porcion *ac* hasta el borde libre; dentro de este entra un cuerpo de hoja de lata *d* , cerrado por todas partes, que solo llega hasta la altura *ac*, terminado por un gancho metálico; el vaso *abc* entra en otro de hoja de lata *mnr*, cuya altura es solo correspondiente á los puntos *ac*; armado tal como se halla representado en la figura, constituye una botella de Leyden, cuyas armaduras son las piezas de hoja de lata. Si se carga como las botellas, y con una barra de vidrio terminada en forma de gancho, se saca la pieza *d* , sin que roce con nada, se observará que no tiene electricidad, y podrá tomarse en la mano para que perdiese alguna que pudiera contener. Agarrando el vaso por la porcion saliente *dada* de lacre, se desprende del vaso inferior, el cual se toca como la pieza *d*. Si armamos de nuevo el aparato como estaba an-

tes, se notará que se descarga como las botellas ordinarias, con una chispa bastante grande. Si hubiésemos colocado una bola del escitador doble en un punto de la superficie exterior del vidrio, y la otra en otro punto de la superficie interna, no hubiera habido chispa, por que no puede circular la electricidad por la superficie del vidrio y reunirse en un punto para descargarse. Las armaduras por el contrario permiten este movimiento.

556. Cuando hay varios cuerpos que pongan en comunicacion las dos armaduras, la electricidad siempre elije el mejor conductor. Asi teniendo con las manos las dos estremidades de una cadena, se puede impunemente descargar la botella, pues el metal es mejor conductor que nuestro cuerpo. Aunque la cadena dé varias vueltas al rededor de este, ha de suceder lo mismo.

557. Con la botella de Leyden es fácil probar que el aire por su presion se opone al paso de la electricidad, pues basta colocarla despues de cargada debajo de una campana en la máquina neumática y hacer el vacío. Cuando ya el aire ha perdido mucho de su densidad, se vé la electricidad de una de las armaduras ir á buscar la de la otra, y quedar la botella descargada.

558. *Botellas de cascada.* Si hacemos comunicar el gancho de una botella *a* (fig. 268) con la máquina eléctrica, y su armadura exterior, por medio de una cadena, con la armadura interior de la segunda *b*, la exterior de esta con la interior de otra tercera *c*, y así sucesivamente, y en fin la armadura exterior de la última con la tierra, se habrá formado lo que se llama en fisica *botellas de cascada*. Veamos cual es la teoria de este aparato; claro es que en la armadura interior de la primera botella, habrá electricidad vitrea, suponiendo que esta sea la de la máquina, puesto que comunica directamente con ella; esta electricidad descompondrá la electricidad natural de la armadura exterior de *a*, atraerá hácia sí la resinosa y repelerá la vitrea, la cual irá á la armadura interior de la segunda botella *b*; aquí sucederá lo mismo, la resinosa de la armadura exterior quedará tocando al vidrio y la vitrea pasará á lo interior de la tercera &c. hasta que lleguemos á la última, que como comunica con la tierra la armadura exterior de ella, dejará pasar la vitrea y retendrá la resinosa. Para descargar este aparato no habrá mas que poner en comunicacion la ar-

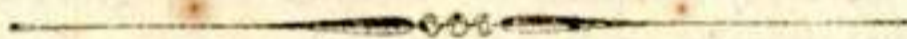
madura exterior de la última con la interior de la primera, valiéndose del escitador, y en el momento se observará una ebispa.

559. Las baterías eléctricas se forman reuniendo entre sí las armaduras interiores de muchas botellas, por medio de varillas metálicas, y colocando las armaduras exteriores en un cajon forrado con láminas de metal, para que tambien se comuniquen: el aparato está representado en la figure 269; para cargarlo se hace comunicar una de las armaduras, las interiores por ejemplo, con la máquina eléctrica, valiéndose para ello de una varilla metálica; y cuando se quiere descargar, sirviéndose del escitador doble, se ponea en comunicacion las armaduras exteriores con las interiores: es indispensable tener precauciones cuando se hacen esperiencias con las baterías, no tocarlas, ni á la máquina eléctrica, pues como se colocan en el suelo, con el cual comunican las armaduras exteriores, y que las interiores están en contacto con la máquina, formaria nuestro cuerpo el círculo y se recibiría la descarga, que puede ocasionar graves daños.

560. Para hacer esperiencias con las baterías se usa un aparato denominado *escitador universal*, que consta de una mesa de madera *ab* (fig. 270) de la cual se levantan dos columnas de cristal *cd*, *fg*, terminadas superiormente en unos aros metálicos, por donde pasan las varillas *hk*, *lm*; en los puntos *k* y *l* hay puntas, que entran en unas bolas metálicas cuando se necesitan. Las varillas *hk*, *lm* tienen movimientos en todas direcciones y pueden tambien aproximarse ó alejarse entre sí segun convenga. En *n* hay una columanita de madera, que sostiene una meseta pequeña de marfil *r*, la cual puede ponerse á distintas alturas. Si queremos observar los efectos de la electricidad en los animales, en un pájaro por ejemplo, no habrá mas que sugetarlo en la meseta *r*, ponerle una de las puntas *k* en una parte de su cuerpo, y la otra *l* en otro punto opuesto; hacer comunicar la argolla *h* con la armadura exterior de la batería, y cuando esté cargada esta, poner en *m* una de las bolas del escitador y la otra en la armadura interior. El cuerpo del pájaro forma así parte del círculo que une las dos armaduras, sale la chispa é instantáneamente muere.

561. Si se sumerjen las dos puntas del escitador universal en una vasija pequeña, que contenga eter, se inflama

al salir la chispa , lo mismo que dijimos en el n.º 537. Si poniendo las bolas á dichas puntas , se cierra la comunicacion con una porcion de metal muy delgada, se funde, y si es un poco gruesa se pone roja al pasar la chispa.



LECCION XXXII.

Sigue la teoria de la electricidad.

562. *Condensador.* Puede suceder que la electricidad que adquiere un cuerpo en condiciones dadas no sea suficiente para que observemos sus efectos, aun valiéndonos de los electros copos mas sensibles, y para esos casos se han ideado los instrumentos llamados *condensadores*, por que permiten comunicar muchas veces á ellos aquella cantidad pequeña de electricidad, y que condensándose, por decirlo asi, produzca su efecto. Sea *ab* (fig. 271) un pié aislador de vidrio barnizado con goma laca, *cd* un círculo de metal sumamente liso, especialmente por su cara superior, con su circunferencia formando un borde saliente y redondeado hácia bajo. Colóquese sobre este círculo ó disco un plano de vidrio, dado de barniz en todo el sitio escedente al disco, tanto por la cara superior como por la inferior, y póngase encima otro círculo de metal *hk*, en sentido inverso del primero, esto es que la cara mas bruñida mire hacia bajo y se dirija hácia arriba el borde redondea-

do de su circunferencia: que del centro de la cara superior se levante un mango aislador; finalmente que de la cara inferior del círculo *cd* salga un gancho, del cual penda una cadena que comunique con la tierra. Si damos poca cantidad de electricidad al platillo superior, cuando esté separado del aparato, podrá suceder que no baste para hacer impresion alguna en un electroscope; mas si despues de colocado como acabamos de decir, le damos aquella misma cantidad de electricidad, servirá como de un conductor principal respecto del círculo inferior que comunica con la tierra y que está separado del primero por el grueso del vidrio; de consiguiente tendrá el platillo inferior una electricidad de especie contraria á la que dimos al superior, y en virtud de su atraccion, estará impidiendo que se pierda por el aire, hasta que podamos volver á darle al platillo superior otra cantidad de electricidad, igual á la que recibió primero; asi podremos ir acumulando en él sucesivamente bastante cantidad, para que cuando se levante el platillo superior, quede en estado de libertad y pueda ocasionar fenómenos en los electroscofos.

563. En vez del condensador que acabamos de explicar, y que se emplea en los gabinetes de física para demostrar la teoria del instrumento, se usa tambien cuando la cantidad de electricidad es muy pequeña uno compuesto de dos discos metálicos, el inferior *ab* (fig. 272) sostenido por un pié aislador, y el superior *cd* con un mango de la misma calidad. En vez de lámina de vidrio se les da un barniz de goma laca á las caras de los discos que se corresponden; el disco inferior suele tener un gancho terminado en una bolita de metal *h*, la cual se toca con un dedo al cargar el platillo superior.

564. Para mayor sensibilidad se adapta el condensador á un electroscope de láminas de oro y la reunion de ambos forma un aparato denominado *electroscopo condensador*. Nos imagináremos con facilidad este instrumento, que está representado en la figura 273, si suponemos que se le ha quitado la bola al electroscope de la figura 264 y que á aquel mismo sitio se ha adaptado el condensador de la figura 271, suprimiéndole el pié, el gancho y y bola *h*. Se usa el electroscope condensador de esta suerte, colocando un dedo en el platillo superior y dándole al inferior pequeñas cantidades de electricidad quitando despues el dedo y levantando el platillo superior; toda la electricidad que ahora se queda libre en el inferior, irá por la varilla á las láminas de oro y hará que se separen.

565. *El pistolete de Volta* es un vaso metálico (fig. 274), abierto por las dos estremidades *a* y *b*; la abertura superior *b* da paso á un tubo de vidrio, que encierra una varilla metálica, de mayor longitud que él, terminada superiormente en una bola *c*, y por la parte inferior se encorba y acaba en otra bola *d*. Esta se halla muy próxima á otra varilla metálica *f*, que se adelanta de la pared misma del pistolete, quedando entre las dos un pequeño espacio, para que salga una chispa. No hay comunicacion entre la parte exterior del tubo de vidrio y la capacidad del instrumento. Llenando la vasija por la abertura *a* con una mezcla de oxígeno y de hidrógeno, ó de este último gas y aire atmosférico, y cerrándola luego con un tapon de corcho, se observará sacando una chispa en *c*, que el tapon sale con gran violencia, y se oye al mismo tiempo una detonacion muy fuerte. Esto consiste en que combiniándose los gases para formar agua, se eleva mucho la temperatura, con lo cual el vapor obra con una fuerza elástica correspondiente á aquella temperatura y hace salir con violencia el tapon; pero muy pronto se enfria el vapor formado, se condensa y resulta un vacío, que el aire exterior, ocupa de repente ocasionando aquel estrépito.

566. El instrumento inventado por **Kenersley**, sirve para probar que el aire experimenta una expansion cuando por él atraviesa la chispa eléctrica. Consta de un cilindro hueco de vidrio *ab* (fig. 275), cerrado por ambas estremidades, que comunica por *c* con un tubo lateral mas estrecho *cd*, por donde corre un anillo *m*: la parte superior del cilindro *ab* está atravesada por una varilla *fg*, terminada en dos bolas, una en la parte exterior y otra en la interior del cilindro; dicha varilla está aislada por un tubo de vidrio en su paso por *a*. Del fondo *b* sale otra varilla terminada en bola *h*, que está algo distante de la *g*: se echa agua en este instrumento por el tubo lateral *d*, hasta que el nivel en el cilindro grueso corresponda algo mas bajo que la bola *h*, y se coloca el anillo en el punto *m*, adonde está el nivel del líquido en el tubo lateral. Si ahora hacemos pasar entre *g* y *h* una chispa eléctrica grande, como por ejemplo la de una bateria, se verá que en ese mismo momento sube el agua por cima de *m*, lo cual no puede consistir mas que en haberse dilatado el aire situado entre las bolas, y comprimido el agua de lo interior del instrumento.

567. Para observar bien la chispa eléctrica y todos los fenómenos que presenta, es necesario hacer las esperiencias en la oscuridad. Entonces aparece la máquina, cuando está cargada, con

una porcion de partes luminosas, especialmente en los sitios donde el vidrio frota con los cojines; las puntas ó bolitas que se hallan en los parages correspondientes al disco, y que dan paso á la electricidad resinosa, tambien tienen un punto luminoso. Si en la otra estremidad de la máquina, se pone una punta cualquiera, se le halla con un penacho luminoso, muy distinto del punto de la electricidad resinosa que se ve en las bolitas de las mandíbulas. Hay pues otra nueva diferencia entre las dos electricidades.

568. El aparato llamado *árbol de puntas* consiste en una varilla metálica con una rosca en su estremidad inferior *a* (fig. 276) para enroscarse en la máquina eléctrica. La otra estremidad *b* termina en punta aguda. Dicha varilla está atravesada por otras, que forman con ella ángulos rectos y están situadas á diversas alturas. Estas últimas tienen verticales sus estremidades y allí acaban en punta para sostener unos alambres delgados y pequeños con figura de tales como *c, d &c.* los cuales tienen una abertura en su parte media para acomodarse á las puntas sobre las cuales pueden girar con facilidad. Dispuesto el aparato, en el momento que tiene electricidad la máquina se vé un círculo luminoso al rededor de cada punta, producido por una sucesion de chispas pequeñas, que salen de las estremidades de las varillas encorvadas; las cuales están dando vueltas en el mismo sentido y por la misma causa que el torniquete hidráulico, como se puede ver si se introduce luz.

569. Tambien se percibe muy bien en la oscuridad como se reparte y esparce la electricidad, cuando le falta la presión del aire: y un aparato á propósito para ello es el tubo que ya hemos explicado para el descenso de los cuerpos en el vacío (fig. 86); pues si después de extraído el aire, se hace comunicar con la máquina por la parte superior y que esté apoyado por la inferior en el suelo, se verá todo iluminado con una luz algo blanquecina y semejante á la que nos da la luna. Otros muchos aparatos hay en el gabinete para el mismo objeto; pero que no exigen descripción especial por que están fundados en lo mismo.

570. *Electricidad de las nubes.* Aunque comparándolos efectos del rayo con los de la electricidad producida por los físicos en las máquinas, habian imaginado muchos que debian ser las causas de la misma naturaleza, con la simple variacion de diferencia de intensidad, sin embargo no hubo pruebas directas de ello hasta que Franklin tuvo la idea de remontar una cometa, y dirigirla hácia una nube que representaba los caracteres de poder pro-

ducir relámpagos. Entonces se convenció que en efecto por la estremidad del hilo se podían sacar chispas, y que en toda su estension se notaban los movimientos ondulatorios que se observan en los hilos electrizados. Esta experiencia, hecha por él en Junio de 1752 en los Estados Unidos, la repitió despues en Francia por los años de 1753 y 1757 Romas; pero á fin de aumentar los efectos, armó la cometa de piezas metálicas y se sirvió ademas de un alambre enroscado en una cuerda, para dirigirlo hácia la nube. Mas conociendo los peligros á que podia esponerse, tuvo buen cuidado de no coger con las manos la cuerda, y de colocar grandes masas de hierro y de otros cuerpos conductores cerca de su terminacion, á fin de que la electricidad, que siempre elije el mejor conductor, se dirigiese á dichas masas y lo dejara seguro. Cuando quería dirigir la chispa á algun punto se servia para ello de un escitador doble, cuyos mangos aisladores eran sumamente largos. De esta suerte vió salir de una nube una porcion de láminas de fuego, pues no podían llamarse chispas, de muchos pies de longitud. Apesar de las entendidas precauciones de Romas, una vez cayó al suelo por la violencia del choque. Esto dará idea de lo peligrosísimas que son semejantes experiencias que ya han costado la vida á un físico célebre.

571. Unas nubes tienen electricidad vitrea, otras resinosa y todas pueden compararse á los conductores de las máquinas eléctricas; pero hay entre ellos esta diferencia, que las nubes no se descargan con una de sus chispas ó con un relámpago y los conductores sí. Parece pues que las nubes no son cuerpos perfectamente conductores cuando tal sucede. El relámpago debe compararse á la chispa y el trueno al ruido que dicha chispa produce en el aire. Con respecto al relámpago, sale de la nube y se dirige unas veces hácia arriba, otras hácia la tierra; no en línea recta sino siguiendo la línea angulosa que mencionamos en el número 535. La longitud del relámpago varia: si estando colocados en una alta montaña, encima del parage en que se halla la nube cargada de electricidad, se observan atentamente los relámpagos que salen hácia la tierra, parecerán algunos de la longitud de una legua y aun mas. El trueno no es mas que un ruido, y aun quedan en el sonido que produce algunos fenómenos que esplicar pero como se origina en el momento que sale la chispa de la nube, y la velocidad del sonido es sumamente pequeña en comparacion de la que tiene la electricidad, de aqui es que ya nada debe temer la persona que lo ha oido, pues los efectos que la electricidad produce son casi instan-

táneos. Todavía hay mas, como la electricidad es aun mas veloz que la luz, el que vé el relámpago ya está seguro: y las personas que han sido heridas por un rayo y que han vuelto á su sentido, aseguran que ni vieron el relámpago, ni oyeron el trueno antes del accidente.

572. Por el tiempo que tarda en oirse el trueno despues de visto el relámpago, es fácil calcular la distancia á que está la tormenta; mas esto no puede entenderse hasta que hayamos indicado en la acústica cual es la velocidad del sonido.

573. Veamos ahora los efectos que producirá una nube cargada de electricidad cuando está en la atmósfera á cierta distancia de cuerpos conductores, y que gozan igualmente de esta cualidad, como por ejemplo el mar: y diremos de antemano que las nubes cargadas suelen presentar en su figura irregular, unos puntos mas próximos á la tierra que otros, y á veces dichos puntos son las partes opuestas de la nube. Si esta es la *ab* (fig. 277), que supondremos cargada de electricidad vitrea, para esplicarnos mas facilmente, y *CD* el nivel del mar; la nube electriza por influencia el agua; atraerá la electricidad resinosa de ella y repelerá la vitrea que se irá hácia el fondo; esta atraccion será tanto mayor cuanto menor sea la distancia; asi segun hêmos pintado la figura será mas considerable en los puntos *m* y *n*, y mas en el primero que en el segundo; si sale una chispa irá á parar á *m*, pues acumulada alli gran cantidad de electricidad resinosa, atraerá la vitrea de la nube; quedando esta descargada, ó por lo menos con mucha menos cantidad de electricidad, habrá recomposicion repentina de la electricidad del mar y podrá verificarse en el punto *n* el fenómeno que ya hemos mencionado, llamado choque de retroceso (n.º 541); este podrá ocasionar la muerte de un hombre que alli se hallase, siendo asi que estaba á gran distancia del punto en donde cayó el rayo. Inlluye mucho en los fenómenos la mayor ó menor conductibilidad de los cuerpos situados sobre la superficie de la tierra; pues como en un cuerpo buen conductor se descompone y camina la electricidad mucho mejor que en otro que sea poco, sucede muchas veces que los cuerpos mas cercanos no siendo buenos conductores, no son los que reciben la descarga.

574. Los efectos que produce el rayo ó la descarga de electricidad de las nubes, pueden dividirse en *mecánicos*, *físicos*, *químicos* y *fisiológicos*. Los mecánicos son el destrozo que ocasionan en las partes donde caen; las piezas metálicas las arranca de su sitio y las lleva á distancias á veces considerables. Si cae el rayo

en un árbol lo hiende en general de arriba abajo, arranca alguna de sus partes y carboniza otras. Si está muy seca la madera, ú otro cualquier combustible, la inflama y en general puede seguirse el camino que ha corrido por lo interior de un edificio, guiándose por las señales que ha dejado en los cuerpos por donde ha pasado. Mientras el rayo encuentra cuerpos metálicos los sigue, y solo cuando está interrumpida la comunicacion, ó que fundiéndose el metal la interrumpa, es cuando salta á otro cuerpo que esté próximo.

575. Los efectos físicos del rayo son el aumento de calor que produce en los cuerpos, y á veces la fusion de los metales, sobre todo cuando estos son delgados.

576. Puede considerarse como efecto químico los *tubos fulminantes*, que son unos conductos cilindricos y huecos, de superficie interior muy lisa y brillante, semejante al vidrio y que se observan desde la superficie hasta diez ó doce varas en lo interior de la tierra, cuando cae un rayo en un sitio donde hay mucha arena. Parecen producidos por la fusion de la sílice al pasar el rayo.

577. Los efectos fisiológicos, ó los que produce el rayo en los cuerpos animados, son la muerte instantánea si el choque es muy violento, por ser mucha la electricidad. Unas veces no se hallan lesiones aparentes, pero otras se encuentran fracturas en los huesos del cráneo y en diversas partes, quemaduras profundas en los puntos que dieron paso á la electricidad y combustion de los vestidos de que estaban cubiertos. Si no es tan violenta la conmocion, hay primero pérdida del sentido, que dura mas ó menos tiempo, hemorragias, quemaduras, insomnio pertinaz, y parálisis de algunas partes del cuerpo. Si la conmocion es todavía menor, se limitan los efectos á parálisis de algun miembro, ó á distintas enfermedades nerviosas. Los cadáveres de las personas que han muerto del rayo, lo mismo que los animales que por la electricidad mueren en nuestras esperiencias, entran en putrefaccion con mucha rapidéz. Lo mismo sucede con respecto á esto, que el hombre haya muerto herido del rayo ó que haya perecido por el choque de retroceso, y en este último caso no se hallan en él los otros vestigios de que hemos hablado anteriormente.

578. Aunque la atmósfera esté sin nubes, tambien tiene electricidad vitrea y segun Pouillet el origen de ella es la vegetacion y la evaporacion, que se efectuan sin cesar en la naturaleza.

579. Para preservar los edificios de los efectos del rayo ideó Franklin los instrumentos conocidos con el nombre de *para-*

rayos, cuya teoría está fundada en la de las puntas para la electricidad. Un pararrayo, en efecto viene á ser una punta de un metal muy poco fusible, cual es el platino, colocada en la parte superior de un edificio y cuya base se continua con un conductor metálico, que se sumerge en la tierra, terminando en un sitio buen conductor de la electricidad. Es indispensable que el grueso de todo el aparato sea bastante considerable, para que no se funda por el paso de la electricidad; que la punta del pararrayo sea bastante aguda y de la materia indicada; que no haya interrupcion alguna en el conductor, pues entonces entre los puntos interrumpidos saldria la chispa y produciria sus estragos el rayo. Tambien es necesario que el sitio donde termine el conductor sea un pozo que contenga agua, ó bien otros cuerpos conductores de la electricidad, y que el conductor metálico se divida en varias porciones, para que en otras tantas partes se comparta la electricidad y no produzca choque á su salida.

580. Un pararrayo bien dispuesto atrae la electricidad contraria á la de la nube; por el poder de las puntas sale por ella y va á neutralizar la electricidad superior; mas si no es suficiente para eso, atraerá el rayo y lo conducirá con seguridad hasta el sitio correspondiente. El edificio en todo esto nada padece. No es de la naturaleza de este curso entrar en pormenores sobre el modo como deben construirse y colocarse los pararrayos, las distancias á que deben estar unos de otros cuando hay muchos en el mismo edificio &c.

LECCION XXXIII.

Galbanismo.

581. Hasta aquí no hemos hablado mas que de la electricidad producida por frotacion de los cuerpos; vamos ahora á tratar de la que dimana del contacto de ellos y de las acciones químicas. Por haber descubierto el primer fenómeno un médico de Bolonia llamado Galvani, se le ha dado el nombre de galbanismo.

582. Cuando se ponen en contacto dos láminas metálicas, una de zinc y otra de cobre, la de zinc queda cargada de electricidad vitrea y la otra de electricidad resinosa. Para hacer esta experiencia delicada, es necesario un buen buen electroscopo condensador, y emplear como láminas de zinc y cobre, dos discos de estos metales aislados con mangos de vidrio. Si cubriendo con papeles pequeños humedecidos las dos caras superior é inferior de los círculos del condensador, para evitar el contacto de los metales que forman este instrumento con las respectivas láminas, se jun

tan estas y despues de separadas se aplican á los papeles, y se repite muchas veces esta operacion, teniendo cuidado con no equivocarse en el modo de tocarlas, esto es que el zinc por ejemplo toque siempre al disco superior del condensador y el cobre al inferior, se observará, levantando el disco superior de aquel instrumento, que las láminas de oro se separan por estar cargadas de electricidad resinosa.

583. Como siempre, aunque no se quiera, hay una ligera presion en el contacto de las láminas metálicas, y que la presion segun veremos, es causa de electricidad, podria creerse que la que se ha producido depende de esta causa, y para quitar este inconveniente ideó Volta una lámina de zinc soldada con otra de cobre, como representa la figura 278; y tomándola por la parte de zinc, se aplica por el cobre muchas veces al platillo inferior del condensador, teniendo cuidado de aplicar el dedo humedecido al superior, para hacerlo comunicar con la tierra. Separando despues el disco superior del condensador, se nota que se apartan las láminas de oro que se hallan cargadas de electricidad resinosa.

584. Estos efectos se pueden hacer mucho mas intensos, si humedecemos las láminas con agua ligeramente ácida ó salada, y casi siempre se emplean asi las láminas metálicas para que produzcan mas electricidad. Hay entonces accion química entre los metales y el ácido.

585. A la causa desconocida que produce la electricidad en el contacto de los dos metales y en general de dos cuerpos de diversa naturaleza, se ha llamado *fuerza electromotriz*. Aunque se ignora del todo cual sea la naturaleza íntima, sin embargo se pueden estudiar sus caractéres, que consisten en obrar instantáneamente y de un modo permanente; esto es que si á las láminas que están en contacto se les quita la electricidad, haciéndolas comunicar con la tierra, en el momento se vuelve á desarrollar nueva cantidad de electricidad opuesta en cada lámina; si se les quita de nuevo la recuperan otra vez con la misma prontitud y asi sucesivamente, sin que se pierda ni disminuya esta facultad. Esta fuerza tiene tambien la propiedad de mantenerse separadas las dos electricidades, á pesar de que ellas tienden á unirse por ser de distinta especie; pero esto es solo respecto á la cantidad de electricidad que la fuerza ha separado; pues si despues de cargadas por si mismas las láminas, damos á la de zinc mas cantidad de electricidad vitrea, y resinosa á la de cobre, se neutralizarán estas electricidades á pesar de la fuerza electromotriz, y conservarán las láminas

la que respectivamente les corresponde. Si una de las láminas está en contacto con la tierra y la otra aislada, la primera no tendrá electricidad; mas sí la otra.

586. Aunque hemos dicho que todos los cuerpos de diversa naturaleza tienen la propiedad de producir electricidad cuando se ponen en contacto, sin embargo es tan pequeña la cantidad desarrollada que apenas se puede reconocer con aparatos muy sensibles, pero no sucede lo mismo con los metales, y por eso se les ha dado el nombre de cuerpos *buenos electromotores*. No hay mas regla que la experiencia para conocer cual de los dos metales que se pongan en contacto será el que se cargue de electricidad positiva y cual de negativa, y la misma ha enseñado que unos desarrollan mucha electricidad y otros muy poca. De todos los metales prefieren los físicos para la construcción de los aparatos galbánicos al zinc y al cobre; porque son muy abundantes en la naturaleza, de poco valor y desarrollan bastante electricidad.

587. *Pilas galbánicas*. Son máquinas que sirven para acumular la electricidad que dan los metales en contacto. Toda pila galbánica consta de cierto número de cuerpos buenos electromotores como láminas de zinc y de cobre y de cuerpos buenos conductores de electricidad como agua salina ó acidulada, pedazos de paños empapados en dichos líquidos &c. A la reunión de cada dos piezas de diverso metal se le denomina *un par*. Hay varias especies de pilas y entre ellas nos valdrémos para dar su teoría de la que inventó Volta, que también se llama de columna.

Pila de Volta ó pila de columna; puede construirse de dos modos y se llaman *no aislada y aislada*.

588. *Pila de columna no aislada*. Supongamos que se coloquen dos círculos metálicos uno sobre otro, que el inferior de cobre comunique con la tierra, y que el superior sea de zinc (fig. 279). Según hemos dicho la pieza de cobre carecerá de electricidad y la de zinc se hallará con una cantidad de electricidad vitrea, que represento por $+1$; siendo este el estado de equilibrio, quiero decir, que si tuviese mas cantidad de electricidad, atravesaría el exceso de este fluido por el contacto de los dos metales, á pesar de la fuerza electromotriz que se desarrolla en dicho punto, y se iría á la tierra por la comunicacion establecida; y que por el contrario si tuviese el zinc menor cantidad de electricidad vitrea, trabajaría la fuerza electromotriz, hasta proporcionarla; y la electricidad resinosa, que en esta operacion adquiriría el cobre, se iría á la tierra y se volvería á quedar sin electricidad dicho disco de cobre. Si

encima de este par colocamos un paño humedecido, cuyas dimensiones y superficie sean las mismas que las del par, se repartirá con igualdad la electricidad entre el zinc y el paño; y de consiguiente cada uno se quedará con una porcion, que puede representarse con $\frac{1}{2}$; pero la fuerza electromotriz continuará obrando, hasta que el zinc adquiera $+1$; entonces se repartirá de nuevo con el paño, hasta que ambas piezas tengan $\frac{3}{4}$; seguirá así obrando y de un modo instantáneo y finalmente tendrán $+1$ el zinc y $+1$ el paño. El cobre habrá ido ganando cantidades de electricidad negativa, que á proporcion habrá perdido por la cadena que le hace comunicar con la tierra. Si se coloca sobre el paño una lámina de cobre, se observarán fenómenos análogos; el zinc y el paño repartirán con él igualmente su electricidad, y cada uno se quedará con $\frac{2}{3}$; pero la fuerza electromotriz seguirá obrando hasta darle al zinc $+1$ y hasta que el paño y la segunda pieza de cobre tengan la misma cantidad de electricidad que él. Colóquese ahora otra lámina de zinc sobre la segunda de cobre, y en ese contacto habrá otra fuerza electromotriz, que llamaremos segunda, la cual en virtud de su acción dará $+1$ al segundo zinc y -1 al segundo cobre, y de consiguiente como este tenía $+1$, quedará en estado natural; volverán por tanto el paño y el primer zinc á suministrar electricidad, hasta que le den al cobre $+1$ á espensas de la primer fuerza electromotriz; y como es imposible que el segundo zinc y el segundo cobre se conserven en el estado que ahora están, quiero decir, cada uno con $+1$, obrará otra vez la segunda fuerza electromotriz hasta que tenga $+2$ el segundo zinc y $+1$ el segundo cobre. Del mismo modo se probaria que si encima de la última pieza se pone un pedazo de paño y luego otro par, dispuesto como los anteriores, esto es el de cobre debajo y el zinc encima, este tendrá una electricidad igual á $+3$; y si hubiese 80 pares el último zinc tendria $+80$. De consiguiente por poca que sea la electricidad que cada par desarrolla, acumulada así en la parte superior, tendrá gran tension y producirá grandes efectos.

589. Podíamos haber empezado la pila por el zinc, en vez del cobre, como en la figura 280. Entonces la segunda pieza de cobre tendrá -2 ; y si hubiese 80 pares, el último disco de cobre poseeria -80 ; pues es claro que podria aplicarse á esta pila no aislada, el mismo raciocinio anterior.

590. Si suponemos ahora que teniendo las dos pilas no aisladas, que acabamos de describir, ponemos debajo de la primer pieza de cobre de la primera un circulo de paño, y dando

vuelta á la segunda , de suerte que lo que era parte inferior sea ahora superior, la colocamos así, debajo de la pieza de cobre con el intermedio del paño que se acaba de colocar y suprimimos las cadenas, que establecían la comunicacion con la tierra, no habra variado en nada el estado de electricidad; pues el primer cobre de la primera pila así como el primer zinc de la segunda , estaban en estado natural; y que el paño interpuesto entre ellas ha impedido que se origine una nueva fuerza electromotriz. Pues de esta manera habrémos formado una pila aislada, y vemos que la parte media de las pilas de esta clase, cuando se compongan de un número par de pares, debe estaren estado natural, que en una de sus estremidades correspondiente al zinc, habrá una cantidad de electricidad positiva igual á la que produce un par , multiplicada por la mitad del número de pares, é igual cantidad de electricidad negativa en la otra estremidad, en que está el cobre. Así si cada media pila consta de 80 pares, en la estremidad del zinc habrá $+80$, y -80 en la estremidad del cobre. A estos puntos extremos, donde hay acumulada tanta electricidad, se le da el nombre de *polos de la pila*.

591. Para mayor comodidad se colocan los pares en una especie de amazon formado (fig. 281.) de un pié de madera barnizado *a*, de donde se levantan tres columnas de vidrio *b, c, d*, unidas por la parte superior á un círculo de madera *g*. De esta suerte se sostienen los pares y no se caen , aunque haya muchos sobrepuestos. La pila de columna tiene el inconveniente de ser embarazosa para armarla, y de que el liquido que contienen los paños inferiores, esprimido por el peso de los pares superiores, y corriendo por la superficie lateral de la columna, no se mantiene separada como debiera la electricidad correspondiente á cada par, y los paños se secan con facilidad. Estos inconvenientes se obvian con la que ahora vamos á describir.

592. *Pila de Cajon*. Consta de un cajon de madera *ab* (fig. 282) cubierto en toda su superficie interna con una capa de resina; que tiene además en las caras internas de *ab, cd*, lo mismo que en su fondo, varias escavaciones hechas á distancias iguales, que sirven para introducir dos láminas soldadas, una de zinc y otra de cobre, dispuestas simétricamente, esto es, que si una lámina tiene la porcion de zinc correspondiendo á la derecha, y la de cobre á la izquierda, todas las demas se coloquen en esta posicion. Estas láminas dividirán pues el cajon en varias porciones, las cuales no deben comunicar entre sí: se echa agua acidulada en todas

ellas, teniendo cuidado no llegue su nivel á tocar el borde libre y superior de las láminas. Esta será pues una pila aislada y sus dos polos estarán en las estremidades, conociendo cual es el positivo y cual el negativo, por la clase de metal que corresponda á las cabezas de la pila. Suelen tener dos láminas metálicas, terminadas en alambres, que se introducen en las porciones estremas ó en algunas de las intermedias, segun que se quieran producir mayores ó menores efectos; pues aunque toda la pila esté cargada, si colocamos las láminas cercana una á otra, el efecto será causado solo por los pares comprendidos entre ellas. Por eso y por la facilidad de cargarla, se emplea esta pila mucho en medicina para los casos en que está indicada la electricidad galbánica, de lo que hablaremos en adelante.

593. Hay varias especies de pilas como las de tazas ó corona, de Wollaston, de Helice, &c. pero solo describirémos la de Daniell, que es muy moderna, y cuyas ventajas sobre las demas son muy grandes.

594. *Pila de Daniell*: consta de un número mayor ó menor de piezas semejantes á la que vamos á describir: *abcd* (fig. 283) es un cilindro de cobre, en el cual se coloca otro mas pequeño *ef* de barro poroso; sobre la parte superior del primero se apoya otro tercero *ik*, lleno de agujeros; y al traves de este último pasa el segundo; *lm* es una pieza de zinc amalgamado con mercurio, sujeta al fondo del cilindro interior por medio de una pieza de madera en figura de cruz. El aparato se carga echando en el cilindro de barro agua acidulada, con la octava parte de su volúmen de ácido sulfúrico. El espacio comprendido entre el tubo de barro y el cobre se llena de la misma agua acidulada saturada de sulfato de cobre, sustancia que tambien se echa en el cilindro que tiene los agujeros.

595. Cuando se ponen en comunicacion, por medio de un alambre, los dos polos de una pila aislada, hay á cada momento una recomposicion de las dos electricidades y nueva formacion de ellas, á causa de las fuerzas electromotrices; una pila que está así dispuesta se llama *pila activa*, y produce una porcion de efectos que se pueden dividir en físicos, químicos y fisiológicos.

596. *Efectos físicos de la pila*. Son producir calor y hacer adquirir á los cuerpos la propiedad de atraer el hierro ó convertirlos en imanes, así si no es muy grueso el alambre que une los polos de la pila, se le verá ponerse rojo como hecho ascua; si es grueso, solo se elevará su temperatura, y si muy delgado se fun-

dirá y caerán glóbulos enrojecidos , provenientes de dicha fusión. Si al alambre que establece la comunicación, se le aproximan limaduras de hierro las atraerá y permanecerán adheridas; pero se caerán al momento que se interrumpa la comunicación con los polos. De los efectos magnéticos de la pila hablaremos con mas detención en adelante, al tratar del electromagnetismo.

597. *Efectos químicos de la pila.* Todos los cuerpos compuestos se descomponen con la pila, si el número de pares que la forman es proporcionado á la fuerza que se necesita para dicha descomposición, y si se hace que el cuerpo compuesto complete el círculo ó esté tocando con las estremidades de dos alambres , que por las otras correspondan una al polo positivo y otra al negativo. En estos casos uno de los elementos, si el cuerpo es binario, se va al alambre del polo positivo y el otro al del negativo; el primer cuerpo elemental se llama electro negativo y el segundo electro positivo, pues es claro que estarán dotados de electricidades contrarias á aquellas por las cuales son atraídos.

598. El aparato para la descomposición del agua por medio de la pila, es sumamente sencillo. Consta de una copa de cristal *b* (fig. 284), por cuyo fondo, que es de corcho, dado de lacre, pasan dos alambres de platino *c, d*, terminados inferiormente en unos ganchos. Este aparato está sostenido por una vara de metal, que descansa en un pie *a*: de los ganchos *c, d* salen dos alambres que van respectivamente á cada uno de los polos de la pila; dentro de la copa se echa agua, con una gota de ácido, si se quiere que la descomposición se haga con mas rapidez. Se colocan dos tubos de vidrio *f, g*, cerrados por su parte superior, que hacen oficio de campanas, llenos de agua en el sitio donde sobresalen los dos alambres, en el interior de la copa; y se nota desde luego una porción de gurgugitas aeriformes, que salen de dichos alambres y suben por el agua de los tubos hasta la parte superior. Cuando la operación ha continuado por algun tiempo, se nota que el volumen de uno de los gases es doble del otro, y que el de mayor cantidad que es el hidrógeno, corresponde al polo negativo, y que el otro gas que es oxígeno está en la parte del polo positivo. Cualquiera se puede cerciorar que efectivamente son estos los gases por sus propiedades químicas, pues el primero apaga los cuerpos inflamados, inflamándose él, y el segundo activa la combustión. Aunque cada molécula de agua está formada de hidrógeno y de oxígeno, no es fácil comprender, como no estando una misma molécula en contacto con los dos alambres de platino, pueda hacerse

la descomposicion y separacion de los gases; mas esto se há explicado del modo siguiente. Concibamos una serie de moléculas *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 285), que esten comprendidas entre los dos alambres de platino *f* y *g*, cada una de estas moléculas las debemos considerar formadas de los dos gases oxígeno é hidrógeno, pero intimamente unidos entresí y ocupando todo el volúmen de la molécula; mas en virtud de la corriente de electricidad producida por la pila, el oxígeno y el hidrógeno empiezan por colocarse en tal posicion, que el primero corresponde hácia donde está el polo positivo y el segundo hácia el negativo. Despues el oxígeno de la molécula *d* se va al alambre *g*, el hidrógeno de ella se une al oxígeno de *c*, para formar otra nueva molécula de agua, y asi sucesivamente hasta que en la última *a* se queda libre el hidrógeno y se desprende por el alambre *f*. Las nuevas moléculas formadas ahora experimentan nuevo arreglo en su composicion, y luego otra descomposicion análoga á la ya explicada, y asi sucesivamente. De la misma manera puede explicarse la descomposicion por medio de la pila, no solo de los demas fluidos sino tambien de los sólidos.

599. Los óxidos metálicos se reducen y se descomponen por la pila lo mismo que el agua, el oxígeno se va al polo positivo y el metal al polo negativo; se puede hacer la experiencia con respecto á aquellos que se reducen con facilidad, como el óxido de plata por ejemplo, poniendo el óxido seco y reducido á polvo sobre una lámina de platino, que comunica con el polo positivo y tocando el óxido con el alambre del polo negativo: se ve entonces aparecer una pequeña porcion de plata, en la estremidad del polo negativo. Si no se interrumpe la comunicacion del alambre con el óxido de plata, nada mas que eso se percibe, mas si se está interrumpiendo á cada instante se ven salir chispas de color verde.

600. La potasa y la sosa necesitan una pila sumamente enérgica para descomponerse, y si es el primer alcali se vé que los glóbulos que se presentan en el polo negativo, que son de potasio, se inflaman con el contacto del aire. Para poderlo obtener puro se ha imaginado el formar una cápsula pequeña en el fragmento de potasa que se quiere descomponer, y llenándola de mercurio, colocarla sobre una lámina de platino que comunica con el polo positivo de la pila; tocando entonces al mercurio con el polo negativo, se verifica la descomposicion, el oxígeno se dirige al platino y se desprende y el potasio va al mercurio y se amalgama con él. Destilándolo con el vapor de petroleo se separa el mercurio y se obtiene puro el potasio.

601. Los oxácidos se descomponen como los óxidos, el oxígeno se va al polo positivo y la base al negativo.

602. Cuando se descomponen las sales por la pila hay fenómenos notables. 1.º Si el ácido y la base se descomponen con mucha dificultad, se separan simplemente: el ácido se va al polo positivo y la base al negativo. 2.º Si el ácido se descompone fácilmente, no solo se separa del óxido, sino que se descompone él también; el oxígeno se va al polo positivo y el radical y el óxido al negativo. 3.º Si el óxido se descompone fácilmente, su metal puro va al polo negativo y el oxígeno al positivo, en donde se combina con el ácido, si este puede tomar un grado mayor de oxigenación. 4.º Si el ácido y la base se pueden descomponer fácilmente, la descomposición total se efectúa: todo el oxígeno va al polo positivo y el metal del óxido, con el radical del ácido, van al polo negativo.

603. De los *efectos fisiológicos* de la pila, hablaremos cuando se trate de los efectos de la electricidad en los animales.

604. No todas las pilas son á propósito para ver los efectos físicos, químicos y fisiológicos; pues es de observación que para los primeros es conveniente que la pila conste de pocos pares, y que cada uno de ellos tenga mucha estension; ó en otras palabras que haya mucha cantidad de electricidad, aunque tenga esta poca tension; y para los efectos químicos y fisiológicos por la inversa lo conveniente es que haya muchos pares, aunque tengan poca superficie; ó lo que es lo mismo que sea muy grande la tension de la electricidad, aunque la cantidad de ella sea muy poca. Un ejemplo y el explicar como deben disponerse las pilas, cuando tenemos muchas de que disponer, para hacerles producir los mayores efectos posibles, aclararán mas esto. Si á dos cuerpos de los cuales uno tiene mucha mas superficie que el otro, se le dan la misma cantidad de electricidad, se esparcirá esta por toda la superficie del primero, y en cada punto hará poco esfuerzo la electricidad para salir y vencer la resistencia del aire; tal vez no se podrá sacar ni una chispa pequeña de ese cuerpo: en el otro al contrario la electricidad estará aglomerada ó reunida en los pocos puntos que presenta y en cada uno de ellos tendrá mucha tension. Se concibe que aumentándose las dimensiones del primer cuerpo, se conseguirá darle mayor cantidad de electricidad que al segundo, y sin embargo la tension será mucho menor que en este último; pues eso es lo que conviene para producir grandes efectos físicos, así como el otro cuerpo pequeño con mucha tension en su

electricidad es conveniente para los efectos químicos y fisiológicos.

605. La disposicion que se les da à las pilas segun los efectos que se desean es la siguiente. Supongamos dos pilas de columna ó de cajon &c., pues eso es indiferente, *ab*, *cd* (fig. 286), compuesta cada una de cien pares, y que de consiguiente el último par y el primero tengan una electricidad igual à cincuenta. Si se quiere producir con ellas grandes efectos físicos, habrá que unir el polo *b* con el *d*, y el *a* con el *c*, y de esa suerte hemos formado una pila de cien pares; pero cada uno tiene una dimension doble: habrémos aumentado la cantidad de electricidad, dejando igual su tension. Si por el contrario deseamos producir grandes efectos químicos ó fisiológicos, únase el polo *b* con el *c*; tendrémós asi una pila de doscientos pares, y la tension de la electricidad se habrá duplicado, pues en *a* y en *d* habrá una tension = 100.

LECCION XXXIV.

Sigue la teoria de la electricidad.

606. *Modos de electrizar el cuerpo humano.* Puede hacerse con la máquina ó con la pila. Para lo primero estando el sujeto en comunicacion con la tierra, debe sacar seguidamente chispas de la máquina; mas como en general se desean obtener de partes que no podrian servir para sacarla sia mucha incomodidad, como por ejemplo las estremidades inferiores, es necesario que el hombre esté aislado y sacarle á él chispas del sitio que convenga. Ya hemos dicho que para aislar se usa del taburete eléctrico y debe ponerse encima una silla, ó tenerla el mismo taburete para que el sujeto esté con mas comodidad. Se le hace comunicar con la máquina por medio de una varilla metálica, y pueden sacarse chispas con un escitador que comunice con la tierra ó simplemente dejarlo cargado de electricidad. Los efectos visibles son entonces el erizarse el cabello y el vello de todas las partes del cuerpo, y escitarse la transpiracion.

607. Sin sacar chispas puede aumentarse el efecto de la electricidad, aproximando puntas agudas al cuerpo humano que se halla electrizado; entonces siente el enfermo como un viento fresco en todos los sitios del cuerpo que se hallan próximos á las puntas.

608. Es poco usada la botella de Leyden y mucho menos las baterías para producir la conmoción; pues en estos casos toda la organización se resiente y las partes internas podrían padecer daños considerables.

609. La pila mas cómoda, segun hemos dicho, para comunicar la electricidad al cuerpo humano es la de cajon, porque se gradua progresivamente la acción segun convenga, separando mas el intervalo que tienen las láminas metálicas móviles, lo que equivale á servirse de mayor número de pares. Debe dirigirse uno de los alambres hácia una de las partes del cuerpo, humedecida de antemano con agua saturada de sal marina, para que se sientan mas los efectos. El otro alambre se dirige hácia otro punto, tambien humedecido, y entonces aquellas partes del cuerpo comprendidas entre ambos completan el círculo y experimenta el enfermo una porción de sacudidas sumamente próximas una á otra, y muy distintas de las producidas por la electricidad de la máquina; á veces se une la acupuntura á esta operación, esto es, colocadas atravesando el cutis, dos agujas muy finas, construidas á propósito para este efecto, tiene una de ellas unida por la extremidad no introducida uno de los alambres y con el otro se toca á la otra aguja. Deben colocarse las agujas de suerte que una corresponda al sitio por donde pasa el tronco de un nervio y la otra á las partes en que los ramos de aquel se distribuyen, especialmente si se aplica este medio terapéutico en casos de parálisis.

610. La acción de la pila, que ocasiona contracciones en los cadáveres, puede servir para hacer recobrar la acción vital á los sujetos asfixiados, sobre todo por sumersión en agua. He aqui las experiencias hechas por Aldini en Lóndres con el cadáver de un ahorcado, una hora despues de su muerte. Aplicándole los alambres correspondientes á los polos de una pila de ciento veinte pares uno en la boca y otro en un oido, habiendo humedecido de antemano estas partes con agua saturada de sal comun, se contrajeron horriblemente los músculos de la cara y se abrió el ojo izquierdo. Habiendo puesto los alambres en ambos oidos, hizo un movimiento con la cabeza; esta acción convulsiva se propagó á todos los músculos de la cara y empezaron á moverse los pár-

pados; movimientos que se hicieron mas intensos, cuando una de las extremidades del arco estaba en comunicacion con las ventanas de la nariz y la otra con un oido. Si se establecia la comunicacion entre un oido y el intestino recto, todos los músculos entraban en ligeras contracciones, de suerte que parecia que el cadáver iba á reanimarse. Estableciendo la comunicacion entre un oido y el biceps braquial, descubierto por una incision, se produjeron en el momento del contacto contracciones violentas en todos los músculos del brazo, especialmente en el biceps y en el coraco-braquial; &c. Todas estas contracciones continuaron presentándose, aunque debilitándose progresivamente, hasta siete horas y media despues de la muerte.

611. *Propiedades y efectos de la electricidad por frotacion y por contacto en la economia animal.* Cuando se electriza una parte del cuerpo, especialmente si es por medio de la pila, se experimenta una sensacion de ardor semejante á la de una quemadura. Prologada la accion se desarrolla en el sitio una rubicundez sensible y á veces hinchazon. El dolor persiste durante algun tiempo cuando se continua la experiencia, tocando siempre el mismo sitio.

612. Los efectos de la electricidad en diferentes partes del cuerpo varían segun la delicadeza del tegido que las cubre: su aplicacion á los labios es mucho mas dolorosa que en las manos, en ellas el galbanismo solo produce una especie de hormigueo ó picazon; esta sensacion que escorta y que casi se reduce á la nada cuando la parte está cubierta de pelos, como en la cabeza, es insoportable en el momento que el cutis presenta alguna escoriacion.

613. La conmocion galbánica cuando el arco conductor se dirige hácia la lengua, la nariz, y otras partes de la cara, va acompañada de una especie de chispa que se escita en los ojos. Cuando van á parar á la lengua las extremidades de los alambres, se percibe un sabor ligeramente ácido, y parece que hay alguna sustancia que lo produce. Si una de las extremidades del conductor se coloca en la faringe y la otra en el ano, se promueven evacuaciones alvinas abundantes. Y aun pueden ser bastante fuertes las contracciones del tubo intestinal, para que se produzcan los dolores de un ligero cólico.

614. Los músculos de un miembro, hácia el cual se dirige la electricidad, se contraen en general mas ó menos; y estas contracciones se repiten siempre que se saca una nueva chispa ó que se aplican de nuevo los alambres de la pila. La estension de

las contracciones musculares no está en razón directa del dolor que experimenta el enfermo, por que unas veces padece mucho y apenas se contraen los músculos y en otras por el contrario hay fuertes contracciones sin que casi sienta dolor, ó sin experimentar ni aun el mas ligero escozor. Estas contracciones se estienden comunmente á partes distantes de aquellas en que se saca la electricidad.

615. A la rubicundez é hinchazon de las partes sometidas por mucho tiempo á la acción de la electricidad, se sigue á veces flictenas pequeñas, que se pueden comparar á las ocasionadas por las quemaduras. Se perciben en dichos puntos manchas rojas pequeñas, semejantes á las picadas de pulgas; pero examinándolas atentamente con una lente, se ve que hay elevación del epidermis y un líquido amarillento dentro de las flictenas. Este líquido se absorbe al cabo de cierto tiempo ó se forma una pequeña costra ó escara, que se cae en pocos dias.

616. Tanto cuando se aplica la electricidad como el galbanismo, se aumenta la frecuencia del pulso en cinco ó seis pulsaciones por minuto. Las secreciones son mas rápidas y abundantes, principalmente la de la orina y la transpiración.

617. Las partes que han estado al influjo de la electricidad se quedan por algun tiempo muy sensibles, y con mucha facilidad para sus movimientos. Los efectos del galbanismo cuando se aplican los alambres en los oídos son estremadamente notables, si la pila es muy enérgica y se continua su aplicación por mucho tiempo. Todos los que se electrizan de este modo experimentan turbación en las ideas, dolor vivo y continuo encima de las órbitas, insomnio por muchos dias, á veces un cansancio general, cierta dificultad en mover los miembros y algun dolor en las articulaciones. Se cree que podria producirse fiebre continuando los experimentos; pero la prudencia exige no prolongarlos demasiado.

618. La electricidad y especialmente el galbanismo con el cual se han hecho mas experimentos, se opone á la putrefacción de las materias animales y de consiguiente la retarda mientras está obrando; pero en el momento que cesa se presenta con gran rapidez.

619. La electricidad ha producido buenos efectos en las parálisis y en ciertos efectos de los órganos de la vista y del oído, por la impresión que produce en el cerebro; es ademas uno de los mejores medios que se pueden emplear en la asfixias para que el individuo vuelva en sí &c. &c. En muchos de estos casos es pro-

ferible el galbanismo á la electricidad de la máquina, y en algunos sería de todo punto imposible la aplicacion de la segunda, como por ejemplo cuando se trata del órgano de la vista. El galbanismo se aplica en este caso sin inconveniente alguno.

620. *Electricidad animal.* Algunos fisiólogos han querido explicar la contraccion muscular, por una especie de fluido semejante al eléctrico que caminara por los nervios hasta llegar á la fibra muscular; y aunque esta es una verdadera hipótesis, sin embargo hay esperimentos que prueban que el simple contacto de las partes heterogéneas de nuestro cuerpo, basta para producir sacudimientos y contracciones en las fibras musculares. Los animales mas sensibles para hacer esperimentos con ellos, relativamente á las contracciones producidas por la electricidad, son las ranas. Si se parte por medio una rana viva con unas tijeras y cogiendo el medio cuerpo inferior le quitamos con prontitud los tegumentos, lo cual es fácil por carecer de tegido celular subcutáneo, y se disecan los nervios lumbares, que se hallan á los lados del pedazo de columna vertebral que ha quedado, se observará que pasando por dichos nervios una lámina de cobre y tocando despues con una punta de otra lámina de zinc los músculos de las extremidades inferiores, y con la punta contraria la lámina de cobre, se producen unas contracciones sumamente violentas, en las cuales parece que la rana da saltos. Haciendo esto casualmente con una de ellas, fué como Galvani descubrió los efectos que hemos descrito, pues teniendo preparada una con un gancho de cobre, la puso en la reja de hierro de un balcon, colgando de dicho gancho, y observó que siempre que los pies de la rana tocaban con el hierro se producian las contracciones. Galvani atribuyó este fenómeno á la electricidad animal que tuviese la rana, comparando su cuerpo con una botella de Leyden, suponiendo que los nervios y los músculos contenian distintas especies de electricidad, y que los dos metales hacian el papel del escitador metálico que une en la botella las dos electricidades. Volta hizo ver bien pronto que dicha explicacion no era admisible, pues cuando se emplea un metal, en vez de dos, para completar el círculo, no habia contracciones ó eran sumamente pequeñas; y de aqui descubrió que el contacto de dos metales de diversa naturaleza era la causa del desarrollo de la electricidad, sintiendo sus efectos los músculos de la rana. Sin embargo si bien es cierto que tenia razon en esto, tambien lo es que fué muy esclusivo en desechar toda electricidad animal, que puede ser producida por el contacto de cuerpos hete-

rogóneos, como por ejemplo los nervios y los músculos. Así es que si con una mano se agarra la columna vertebral de una rana y con la otra se hace que toque una de las piernas á los nervios lumbares, en el instante del contacto experimentará contracciones la pierna que quedó libre.

621. Este efecto se observa aunque no haya comunicacion alguna con sustancias minerales ó metálicas. Se le obtiene igualmente cuando estan atados con cordones de seda los músculos y los nervios á tubos de vidrio, que permiten aproximar estas partes entre sí manteniéndolas perfectamente aisladas.

622. Estas convulsiones se producen por el contacto de los nervios con los músculos, pero no ocasionan ninguna el contacto de nervios con nervios, ó de músculos con músculos. Las irritaciones mecánicas mas fuertes que las que pudieran producirse por el contacto de los nervios con los músculos, no producen contracciones.

623. No es indispensable que el arco animal esté únicamente compuesto de las diversas partes del mismo individuo; pues tambien se escitan convulsiones en la rana por muchas personas que esten ó no aisladas y que estan formando rueda agarradas de las manos, si las tienen mojadas. Las convulsiones se aumentan sensiblemente cuando se intraduce en el arco de los miembros porciones aun palpitantes de un animal de sangre caliente recién muerto. Por ejemplo, teniendo con una mano las vértebras cervicales de un perro, que conserven aun algunas porciones de músculos y con la otra las piernas de una rana sin tegumentos y cuyos nervios lumbares esten descubiertos, si se toca con estos nervios una parte muscular del perro, la rana experimenta contracciones muy fuertes, que se siguen una á otra con rapidez. Si por el contrario se toca una parte tendinosa, cartilaginosa ú osea no se percibe movimiento alguno.

Los fenómenos de que acabamos de hablar se van disminuyendo á proporcion que pasa tiempo; y cuando ya no se perciben puede hacerse que vuelvan á aparecer valiéndose de armaduras metálicas.

624. *Electricidad producida por la presion.* Si se comprime un disco de metal aislado por un mango de vidrio contra un pedazo de tafetan engomado, el disco toma electricidad negativa y el tafetan la positiva, siendo así que si se frotaran uno con otro habria resultados contrarios. Si se comprime entre los dedos durante un corto tiempo, un topacio, un pedazo de cuarzo, de mica,

écc. adquieren estos cuerpos electricidad, y la conservan algunos por días enteros, así la cal carbonatada da todavía señales de electricidad al cabo de once días.

625. En esta propiedad se funda un instrumento llamado *aguja eléctrica de Haiiy*, compuesto de un alambre metálico *ab* (fig. 287) que en una de sus estremidades tiene un cristal de cal carbonatada y en la otra una bola pequeña; por su parte media está apoyado en un eje vertical, y comprimiendo el cristal adquiere electricidad y puede servir de electroscopo.

626. *Electricidad producida por el calor.* El calor produce electricidad como el frotamiento, el contacto, y la presión, y se observan fenómenos notables ocasionados por él en los cuerpos cristalizados. Así cuando se calienta una turmalina se desarrollan en ella las dos especies de electricidad y cada una se va á una estremidad del cristal. Esto se demuestra con un aparato representado en la figura 288, que se compone de una lámina delgada de metal *ab*, que en su parte media tiene una chapa de ágata, para estar en equilibrio sobre una punta; dos bolas *c, d* unidas por varitas á dicha lámina, hacen este equilibrio estable aunque se ponga sobre las horquillas *f y g* la turmalina *hk*. Calentando esta adquiere electricidad de distinta naturaleza en sus estremidades, fácil de comprobar valiéndose de un cuerpo que posea una especie de electricidad, pues atraerá una de las estremidades de la turmalina y repelerá la otra.

627. *Electricidad producida por la combustion.* Si se quiere probar con respecto al carbon, no hay mas que colocar un cilindro encendido de esta sustancia, algunas pulgadas por debajo de una pieza saliente que tiene para estas experiencias el platillo ó disco superior del electroscopo condensador (n.º 564), y avivar la combustion del carbon con una vegiga que contenga oxígeno, ó aire atmosférico; entonces el ácido carbónico formado, irá á chocar con dicha pieza adicional y la cargará de electricidad positiva. Si por la inversa colocamos el pedazo de carbon encima del platillo superior, por su combustion se cargará el platillo de electricidad negativa. Vemos pues que cuando arde el carbon, este se carga de electricidad resinosa y el ácido carbónico formado adquiere electricidad vitrea. En general siempre que el oxígeno se combina con otro cuerpo hay desprendimiento de elec-

tricidad; el oxígeno da siempre la electricidad positiva y el cuerpo combustible la electricidad negativa.

Para todas estas esperiencias es mas conveniente en general otro instrumento que esplicarémos en adelante, llamado multiplicadoró galbanómetro, que es uno de los mas importantes en física à causa de su sensibilidad para descubrir pequeñas cantidades de electricidad.

LECCION XXXV.

Del magnetismo.

628. El óxido de hierro magnético llamado iman , que se extrae de las minas, posee la propiedad de atraer el hierro , el níquel y el cobalto. A esta propiedad se le ha dado el nombre de *magnetismo*, término derivado del nombre griego del iman , y á los cuerpos que gozan de ella el de *imanes*. Hay dos especies de imanes, los unos existen en la naturaleza y por eso se llaman *naturales*, otros son producidos por el arte y se denominan *artificiales*. Mas adelante diremos el modo de formarlos.

629. *Propiedades generales de los imanes.* La primera propiedad de donde segun hemos dicho, deriva su nombre , es la de atraer el hierro. Para ver bien este fenómeno y observar si todos los puntos del iman gozan igualmente de esta propiedad, lo mejor es introducirlo en limaduras de hierro; entonces se nota que se aglomeran y colocan en su superficie , del modo que está

representado en la figura 289; esto es que hay muchas limaduras en las estremidades *a* y *b* y van disminuyendo á proporcion que se aproximan á la parte media del iman ; en cuyo punto no hay ninguna. La direccion que tienen estas limaduras es tambien diversa en unos puntos que en otros; en las estremidades se dirigen perpendicularmente al iman y aun se encuentran unas á continuacion de otras, como es fácil convencerse de ello, pues se observa que lo que está formado por las limaduras tiene una longitud de algunas líneas hasta media pulgada , cuando el iman es muy poderoso; y es claro que no hay moléculas de limaduras que tengan esta longitud. Las que se aproximan á la parte media van teniendo con respecto al iman una direccion tanto mas oblicua cuanto mas cercanas están á dicha parte. Al sitio donde las limaduras de hierro están mas atraídas, que como hemos visto es cerca de las estremidades del iman, se le da el nombre de *polos* y al sitio en que no hay atraccion, puesto que el hierro no se adhiere, *línea media*.

630. La direccion que las moléculas de hierro toman en virtud de la atraccion del iman puede observarse con mas facilidad del modo siguiente. Póngase un iman en un plano horizontal , y colóquese encima un papel grueso ó carton delgado ; conviene mucho para eso lo que llaman cartulina. Echese en un cedazo limaduras de hierro y ciérnase encima de la cartulina; despues dense algunos golpes ligeros, á fin de que puedan moverse aquellas y se notarán facilmente las curvas que forman para dirigirse al iman y la direccion de ellas.

631. Si teniendo colgado verticalmente un iman , se le aplica un pedazo pequeño de hierro en el sitio correspondiente al polo, lo atraerá y la estremidad de este pedazo ó cilindro habrá adquirido todas las propiedades del anterior , esto es , atraerá y mantendrá otro pedazo de hierro; á este le sucederá lo mismo y asi sucesivamente; pero la diferencia que hay entre el iman y el hierro, que de esta suerte ha adquirido las propiedades magnéticas, es que en el momento que separemos el primer pedazo , todos los otros pierden el magnetismo y se separan unos de otros.

632. Para poder observar bien las atracciones que los imanes poco activos ó poco fuertes tienen con el hierro, se emplea el instrumento conocido con el nombre de *péndulo magnético*, cuya figura es exactamente igual al eléctrico (n.º 512), con la diferencia de que en vez de la bola de sauco, el péndulo magnético tiene un pedazo de hierro sumamente pequeño. No hay necesidad

tampoco de que esté aislado con sosten de vidrio; pero sí de que no entre en la composición del instrumento mas hierro que el pedacito mencionado.

633. Conviene saber que la atracción del iman con el hierro tiene lugar á cierta distancia y aun en el vacío, así colocando el péndulo magnético debajo de una campana en la máquina neumática y haciendo el vacío, se notará que el hierro del péndulo se dirige hácia la parte á que se aproxima un iman por fuera de la campana.

634. Esta misma experiencia demuestra que los fenómenos de atracción magnética se observan aunque haya algunos cuerpos interpuestos entre el iman y el hierro; pues el vidrio de la campana no disminuye la atracción del iman, comparándola con los efectos que produce el mismo iman sobre aquel, cuando no hay cuerpo intermedio y que esté á igual distancia. Todos los cuerpos buenos ó malos conductores de la electricidad dan el mismo resultado; esceptuando el hierro, al través del cual no se observa.

635. En estas experiencias no hay tampoco necesidad de aislar el iman, como sucedia con los cuerpos electrizados; se ven las atracciones aun cuando tengamos el iman con la mano, sin interposicion de cuerpo no conductor y lo mismo sucederia si comunicase con los otros cuerpos buenos conductores de la electricidad.

636. Siendo una ley de mecánica que la reaccion es igual y contraria á la accion, el iman no solo atraerá al hierro, sino que será atraído por este, y si no se observa que el pedazo de iman se dirija hácia la porcion de hierro á que lo presentamos es por estar retenido, bien con la mano, bien con el rozamiento, sobre el plano en que se halla situado; mas en el momento en que se suspende, de suerte que destruida la accion de la gravedad pueda girar facilmente, se notan los fenómenos que se habian previsto. Así suspendido el iman por su centro de gravedad, colgándolo de una seda, y esperando á que se quede en equilibrio, despues de óscilar se observará que cualquiera de sus estremidades á que se le acerque un pedazo de hierro, y que se deje fijo, se dirigirá hácia este. Lo mismo sucederá si está apoyada la mitad del iman sobre una punta vertical que le sirve de eje.

637. Al hacer este experimento se vé desde luego, que cuando el iman puede girar con libertad sobre el punto de apoyo ó de suspension, no permanecen sus estremidades indistintamente en cualquier punto del círculo que pueden describir, en virtud

de las oscilaciones; sino que cuando ya permanece en equilibrio, una de ellas se dirige hácia el Norte y la otra hácia el Sur. Ni tampoco la estremidad que una vez se quedó quieta mirando al Norte, por ejemplo, despues de otra nueva oscilacion mirará hácia el Sur, sino que siempre es la misma estremidad la que toma aquella direccion. A la parte que se dirige hácia el Norte se le ha llamado estremidad Norte, y estremidad Sur á la que mira al punto opuesto, al permanecer en equilibrio.

638. Si tenemos dos imanes, que conozcamos de antemano el carácter de sus estremidades, esto es cual es la que estando suspendido el iman, se dirige al Norte y cual al Sur, señalándolas para que no haya equivocacion, y despues de apoyar uno de los imanes sobre un eje por su parte media, ó de suspenderlo, aproximamos á la estremidad Norte del primero la del segundo, observaremos que hay repulsion entre ellas, y lo mismo entre las estremidades Sur de ambos. Mas si aproximamos las estremidades de nombres contrarios, notaremos atraccion y que llegan á tocarse si no se retira una de ellas. De aqui se deduce que hay dos especies de magnetismo, diferentes entre sí, puesto que nos manifiestan diversas propiedades.

639. Supongamos que la tierra sea un grande iman, tambien que tenga polos como los imanes naturales que de ella sacamos y que correspondan uno hácia el Norte y otro hácia el Sur, es claro que este gran iman será la causa de la direccion especial que toma un iman libremente apoyado ó suspendido por su parte media; y de consiguiente como los magnetismos de contraria especie son los que se atraen, la estremidad del iman suspendido ó apoyado, que se dirige hácia el Norte de la tierra, tendrá una especie de magnetismo contrario al que se halla en aquel sitio. Por eso si nos convenimos en llamar magnetismo boreal al que prepondera en el polo Norte de la tierra y austral al que prepondera en el opuesto, la estremidad del iman que hemos llamado Norte tendrá magnetismo austral y boreal la otra.

640. Como la tierra se compone de una porcion de imanes, no puede decirse que solo haya magnetismo boreal en el polo Norte y austral en el polo Sur; sino que la resultante de las acciones de todos ellos es tal, que prepondera aquella especie de magnetismo en el Norte y el opuesto en el Sur.

641. Aunque hemos dicho para esplicarnos con mas claridad, que una de las estremidades del iman suspendido se dirigia hácia el Norte y la otra hácia el Sur, esto no es enteramente exac-

to; pues segun los paises en que se haga la esperiencia y segun el tiempo en que se egecute, asi se dirigirá la primera mas ó menos hácia el oriente ó al occidente; y al ángulo que forma la direccion de la aguja con la verdadera línea Norte-Sur, se llama *declinacion*.

642. Ya hemos dicho (n.º 628) que hay medios para lograr que un pedazo de acero adquiriera propiedades magnéticas. Si á uno que no las haya adquirido todavia, y que supondremos tenga la figura de un rombo muy prolongado, se le suspende por su centro de gravedad, se logrará ponerlo en posicion horizontal; mas en el momento que se le haya dado magnetismo, volviéndolo á suspender por el mismo punto, no podrá mantenerse horizontalmente, sino que en nuestro pais la estremidad que posee el magnetismo austral estará mas baja que la opuesta: al ángulo agudo que forma dicha estremidad de la aguja con el horizonte se llama *inclinacion*.

643. El magnetismo no aumenta el peso ni las dimensiones de los cuerpos; pues no se ha podido hallar diferencia en el peso de un pedazo de acero antes y despues de magnetizado, aun valiéndose de las balanzas mas sensibles; y ademas si se coloca un tubo de vidrio cuyo calibre sea capilar, soldado con una vasija de hierro, y todo el aparato se llene de mercurio, no bajará nada la columna de este líquido aunque la vasija se magnetize.

644. No se necesita que haya contacto entre un iman y un pedazo de hierro para que este adquiriera las propiedades magnéticas; basta que no esten separados sino por una corta distancia, asi si colocamos un naipe debajo del polo de un iman, que supondremos colocado verticalmente, y aproximamos un pedazo de hierro por debajo del naipe, adquirirá polos, atraerá limaduras de hierro &c. Si debajo de la estremidad inferior de este colocamos otro naipe, sucederá lo mismo con respecto á otro pedazo de hierro, y asi sucesivamente.

645. El hierro y el acero obran de distinto modo con respecto al magnetismo; el primero adquiere al momento las propiedades magnéticas, pero las pierde con la misma facilidad; asi los pedazos de hierro de que hemos hablado en el número anterior, dejan de atraer limaduras en el momento que se separan del iman que le comunicaba esta propiedad. Una barra de acero por el contrario, tardaria mucho tiempo en iguales condiciones para manifestar señales de magnetismo, pero luego las conservaria por un tiempo indefinido: solo se consigue quitar el magnetismo á los imanes poniéndolos á un calor muy fuerte, y no vuelven á recobrarlo cuando se enfrian.

646. Si dividimos por la mitad un imán, por ejemplo uno hecho con una aguja de calceta, que es muy á propósito para esta experiencia, se notará que además de los polos que en las estremidades tenia la aguja, como se puede ver con facilidad hay ahora otros dos, uno en cada punto de la rotura. Así tenemos dos imanes con sus polos opuestos, uno boreal y otro austral. Dividiendo por medio las mitades de la aguja, sucederá lo mismo; en fin por pequeño que sea el pedazo que se corte no se logrará nunca obtener un cuerpo con una sola especie de magnetismo. Se comprueba que en las estremidades están los polos, introduciéndolas en limaduras de hierro, pues allí se aglomeran en mayor cantidad y cualquiera se convencerá de que los polos tienen diverso magnetismo, probándolos con un imán apoyado ó suspendido; pues una de las estremidades es atraída y la otra repelida. También puede observarse que cuando se divide el imán por un punto, los dos sitios de la fractura tienen magnetismos opuestos.

647. *Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.* Los imanes se atraen y se repelen en razón inversa del cuadrado de la distancia. Para probarlo se emplea la *balanza magnética de Coulomb*, aparato bastante parecido á la balanza eléctrica, compuesto de un cajón de vidrio *ab* (fig. 290), cerrado por la parte inferior y abierto por la superior, excepto por *cd*, en que hay una lámina de vidrio que sirve para que en su mitad pueda levantarse un cilindro de cristal *fg*, cuya cavidad comunica por la abertura *f* con lo interior de la caja. La parte superior de este cilindro está terminada de un modo análogo al de la balanza eléctrica, esto es, con un tornillo micrométrico, su aguja y la graduación correspondiente; de la parte inferior está pendiente un hilo de plata *hk*, que en *k* presenta una especie de estribo, donde se coloca el imán en forma de aguja con el cual se van á hacer las experiencias. De la parte inferior del estribo cuelga un volante *m*, el cual se introduce en una vasija que contiene agua, á fin de disminuir las oscilaciones de la aguja y de que quede mas pronto en equilibrio. En la parte exterior de la caja y á la altura correspondiente de la suspensión de la aguja, hay una tira de papel graduada, y cuya graduación es fácil de comprender como ha podido hacerse, suponiendo que en el cuadrado que representa el papel se haya inscrito un círculo, y que graduado este se prolonguen los radios hasta encontrar los lados del cuadrado. Para empezar las experiencias es necesario poner la aguja del micrómetro superior en cero, y que sin torcerse el hilo, corresponda también la punta de

la aguja al cero de las divisiones del cuadrado; mas como empleando agujas magnetizadas no se lograria saber hácia donde correspondia la estremidad, cuando el hilo está destorcido, por dirigirse al Norte, es necesario tener una aguja enteramente igual en dimensiones á la magnetizada, pero que no lo esté, y colocarla por su parte media en el estribo, y á fin de que ambas se coloquen en la misma posicion, tiene dado aquel un baño de cera blanda, para que quede la impresion del sitio donde corresponde. Como las agujas tienen la figura de un rombo prolongado, es fácil conocer por donde debe suspenderse. Averiguado ya cual es el sitio á donde corresponde el cero de la division inferior, se da vuelta á todo el aparato hasta que la punta correspondiente al cero esté al Norte y la opuesta al Sur; y despues se quita la aguja no magnetizada y se le sustituye la que lo está. Claro es que se conservará en posicion de equilibrio y correspondiendo la punta al cero, por lo que acabamos de decir. Ahora parece que siguiendo la esperiencia como para las repulsiones y atracciones eléctricas, no habria mas que introducir verticalmente un iman cuya estremidad inferior tuviese magnetismo austral, si queremos observar las repulsiones, y magnetismo boreal para las atracciones; pero esto no puede hacerse simplemente asi, sin haber calculado de antemano otra fuerza cual es la directriz de la tierra. Porque en efecto si introduciendo el polo austral de un iman es repelida la estremidad austral de la aguja cierto número de grados, no es sola la simple torsion del hilo la fuerza que el iman ha tenido que vencer, sino tambien el esfuerzo que está haciendo la tierra sobre dicha estremidad para volverla á colocar en el punto Norte; que es á lo que hemos llamado *fuerza directriz de la tierra*.

648. Para conocer el valor de esta fuerza es necesario empezar á torcer el micrómetro hasta tanto que se separe la aguja magnética un grado de su posicion antigua, ó que llegue al grado uno, luego torcer el micrómetro hasta que dicha aguja llegue al grado dos &c. De este modo se observará que el número de grados de torsion del micrómetro, que mide la fuerza directriz de la tierra, es proporcional al número de grados que se separa la aguja magnética de su posicion Norte Sur, de consiguiente si para separarla un grado ha habido necesidad por ejemplo de torcer 35.º el micrómetro, para separarla dos habrá necesidad de 70.º de torsion &c. Estos grados varian segun el tamaño de las agujas y la mayor ó menor cantidad de magnetismo de que estan dotadas; pero en las esperiencias de Coulomb, los nú-

meros eran los indicados arriba. Esta proporcionalidad no es cierta sino cuando la separacion inferior es de pocos grados, pero se tiene cuidado de que las repulsiones no lleguen mas que hasta ellos.

649. Con esto ya se pueden hacer las esperiencias para calcular la ley de las repulsiones magnéticas, introduciendo el iman *rs*, con su polo austral hácia la parte inferior; entonces se observará que la estremidad de la aguja magnética es repelida cierto número de grados; supongamos que sea $24.^{\circ}$; la fuerza que ha tenido que vencer estará espresada por $24.^{\circ}$ de torsion inferior y ademas $24.35.^{\circ}$ equivalente á la fuerza directriz de la tierra. Sumando el producto 840 con 24 tendrémós $864.^{\circ}$ para dicha fuerza. Se tuerce ahora el tornillo micrométrico hasta que la estremidad de la aguja magnética corresponda al grado 17; para ello supongamos que haya sido preciso hacer andar el micrómetro tres circunferencias. La fuerza total estará compuesta de $17.^{\circ}$ de torsion inferior del hilo, de $1080.^{\circ}$ correspondientes á la torsion superior, y finalmente de $17.35.^{\circ}$ ó de $595.^{\circ}$ equivalentes á la fuerza directriz de la tierra, que en todo suman $1692.^{\circ}$. Las distancias son pues como 24 á 17 y las fuerzas 864 y 1692, que estan próximamente como el cuadrado de 17 es al cuadrado de 24, ó en razon inversa del cuadrado de la distancia.

LECCION XXXVI.

Sigue la teoria del magnetismo.

650. *Teoria antigua del magnetismo.* Antes que OErsted hubiese descubierto el influjo que la corriente de la pila galbánica tiene en los imanes, y que Ampere hubiese creado la teoria entera de la electro dinamica, se esplicaban los fenómenos magnéticos admitiendo la existencia de dos fluidos, llamados uno boreal y el otro austral, los cuales existian en el hierro ó en un cuerpo capaz de adquirir la virtud magnética, y que sin salir de dicho cuerpo, ni aun moverse mas que en la misma molécula en que existian, podian producir dichos fenómenos. Era necesario admitir ademas otra fuerza llamada *coercitiva*, la cual impedia que los dos fluidos boreal y austral, se separasen entre sí, y que podia esplicar las distintas propiedades que con respecto al magnetismo tienen el hierro y el acero suponiendo que el primer cuerpo tuviese poca fuerza coercitiva y mucha el segundo. Cuando se aproxima al hierro ó al acero un iman, ó se efectuan las operaciones de que habla-

rémolos al tratar del modo de comunicar la virtud magnética, se vencia la fuerza coercitiva y podían ponerse los dos fluidos en una posición ordenada, que suponían era la siguiente. Si consideramos el pedazo de hierro *cd* (fig. 291), formado de cinco ó más moléculas en línea recta, antes de magnetizarlo estará en cada una de ellas combinado el magnetismo boreal con el austral; pero con esta operación el magnetismo boreal se dirigirá en cada molécula hácia la derecha por ejemplo y el austral hácia la izquierda. De aquí se deduce que las estremidades de dicho iman, tendrán magnetismos opuestos, como se observa realmente, y además si se divide el iman por cualquier punto, como la sección será siempre por el intervalo de dos moléculas, los fragmentos sacarán dos polos, como efectivamente sucede.

651. Muchos fenómenos del magnetismo son análogos á los de la electricidad; y ya se había hecho esta observación antes de los descubrimientos modernos. Así el experimento del n.º 644 en que un pedazo de hierro se magnetiza cuando está cercano á otro iman, es semejante al fenómeno de la electricidad por influencia: y las estremidades del cuerpo magnetizado tienen distinto magnetismo, así como en el cuerpo electrizado por influencia hay dos especies de electricidad. Pero no se puede conseguir el que haya en el cuerpo una sola especie de magnetismo, como hay una sola especie de electricidad, cuando el cuerpo comunica con la tierra.

652. Si tenemos dos cuerpos electrizados con cantidades iguales de electricidad, pero distinta en cada uno, y hacemos que el primero comunique con otro tercero, que esté aislado, le cederá á este cierta cantidad de electricidad. Si después hacemos que comunique el segundo cuerpo, este neutralizará la electricidad que ya tenía el tercero y se quedará en estado natural. Pues el mismo fenómeno puede hacerse con dos imanes: si se toma con el polo austral de uno de ellos una aguja de coser, y luego se le aplica á dicho iman otro, cuyos polos estén en sentido inverso, se verá que cuando el magnetismo del uno haya neutralizado al del otro, la aguja se desprende y cae.

653. Así como un cuerpo electrizado por influencia podía electrizar á otro también por influencia, este segundo á otro tercero &c. así también un pedazo de hierro que se convierte en iman á cierta distancia de otro, puede hacer lo mismo con otro tercero, &c.

654. Si respecto á la electricidad hay cuerpos buenos y

malos conductores, relativamente al magnetismo los hay tambien, pues el hierro y el acero presentan fenómenos análogos á los buenos y malos conductores eléctricos, aquel adquiere fácilmente las propiedades magnéticas, pero las pierde con la misma facilidad; este tarda mucho en adquirirlas, pero despues las conserva bien.

655. *Modos de imantar.* El choque y la torsion desarrollan la virtud magnética en el hierro y en el acero, pero es tan poca que los fisicos nunca se valen de estos procedimientos para hacer imanes artificiales. Las descargas eléctricas y la electricidad que proviene de la pila, cuando pasa por cuerpos de determinada figura, magnetizan por el contrario con mucha energia; pero de estos fenómenos no hablaremos ahora.

656. El método mas sencillo consiste en poner un pedazo de acero en contacto con el iman, dejándolo así por espacio de algunas horas, mas de este modo no es posible saturarlo, esto es, darle todo el magnetismo de que es capaz, pues se observa que si nos valemos de otro iman mas poderoso ó de otro método de imantar, adquirirá propiedades magnéticas mas considerables y las conservará despues de la operacion. Cuando un iman artificial está saturado, no se logra con imanes mas poderosos aumentar su accion sino momentáneamente; así es que pierde el exceso al punto que se abandona á si mismo, ó poco tiempo despues.

657. Cuando se coloca una barra de acero en la estremidad del polo de un iman, que supondremos ser el austral, la parte de la barra que estaba en contacto adquirirá magnetismo boreal, mas el otro polo austral no estará en la otra estremidad, á no ser que el iman sea muy enérgico ó la barra muy pequeña. En el caso contrario, se hallará mas ó menos lejano del otro polo y lo restante de la barra no presentará señal alguna de magnetismo.

658. *Método de la friccion.* Consiste en aplicar á una de las estremidades de la barra de acero que se quiere magnetizar, el polo de un iman, teniéndolo perpendicularmente á dicha barra, como en la figura 292, y hacerlo deslizar así por toda ella hasta la otra estremidad; cuidando de levantarlo allí y repetir la misma operacion desde el punto en que se empezó la vez primera; pues si volviésemos en sentido inverso se destruiria lo ya ganado. Es fácil esplicar lo que sucede en cada una de estas fricciones, pues si el polo del iman es el austral por ejemplo, al pasar por cada punto de la barra, irá separando los dos magnetismos propios de cada molécula, el boreal será atraído y repelido el austral: de consiguiente en el punto *b* quedará el magnetismo boreal, y luego á

proporción que se deslize, irá habiendo una descomposición y recomposición hasta llegar á la estremidad *d*, en donde se quedará el magnetismo austral. Tampoco es muy enérgico este método; por lo cual se le ha sustituido el siguiente.

659. *Método del contacto doble.* Consiste en valerse de dos polos de un mismo iman ó de distintos imanes. Para lo primero es necesario que el iman tenga una figura particular, que se llama de *herradura*, porque en efecto se parece algo á este cuerpo: *a* (fig. 293) es el polo austral, *b* el boreal de un iman de esta forma, colocado por sus polos sobre la parte media de una barra de acero, se dirige hácia una de sus estremidades, despues se vuelve al sitio donde se empezó, se vá á la otra estremidad, despues al medio y así sucesivamente, teniendo cuidado de concluir siempre en el centro, y levantar despues el iman perpendicularmente. Cuando los imanes son dos y se aplican los polos de distinto nombre, pueden mantenerse perpendiculares á la barra ó inclinados á ella mas ó menos y hacerlos deslizar sobre dicha barra, empezando por el centro y dirigiéndolos uno á cada estremidad. Nada decimos de los métodos de Knight, Aepinus, y Duhamel, por no separarnos del objeto de este curso.

660. Se aumenta mucho la fuerza magnética que se comunica á una barra de acero, aplicando á sus estremidades otras barras de hierro dulce, antes de empezar la operación; pues aquellas adquieren en el punto de contacto un magnetismo contrario al que se empieza á desarrollar en la de acero, y de esa suerte se oponen á que vuelva á efectuarse la recomposición.

661. *Armaduras.* Cuando ya está formado el iman, contribuye mucho, tanto á aumentar su acción, como á conservársela, lo que se llama *armadura*, que son unas láminas de hierro dulce que se le sobreponen; suelen tambien reunirse muchos imanes con sus polos dirigidos hácia la misma parte, por medio de *armaduras*.

662. Uno de los fenómenos mas notables del iman, consiste en que haciéndole sostener un pedazo de hierro, que tenga un gancho del cual se cuelguen sucesivamente varias pesas, no solo las sostendrá, sino que irá aumentando de fuerza por la carga; pero si de pronto se caen dichas pesas y se trata de volverlas á poner ya no podrá sostenerlas, á no ser que se vaya cargando poco á poco.

663. *Puntos consecuentes.* Sucede á veces que ademas de los polos de las estremidades, tienen otros los imanes en el espacio

comprendido entre aquellos; y á estos polos se les dá el nombre de *puntos consecuentes*. Estos se conocen fácilmente introduciendo el iman en limaduras de hierro, pues se nota que hay otras partes distintas de las estremidades en que se adhieren limaduras. También se conocen valiéndose de una aguja magnética, suspendida por un hilo ó sostenida por un eje vertical, porque pasando á una distancia conveniente, por delante de una de sus estremidades un iman, se observan atracciones ó repulsiones en aquella, no solo al presentársele los polos de este, sino tambien al acercársele diferentes puntos de su estension. Estos puntos consecuentes son perjudiciales en los imanes, porque les hacen disminuir de fuerza magnética, y ademas porque si van á servir de brújulas, para señalar la direccion Norte-Sur, no tienen tanta fuerza para tomar esta direccion.

664. Asi mismo se averigua tambien como está distribuido el magnetismo en una barra ó cuerpo cualquiera, por la mayor ó menor cantidad de limaduras de hierro que atraen sus respectivos puntos, y por la mayor ó menor atraccion ó repulsion que originan en la estremidad de las agujas magnéticas movibles, de la manera ya esplicada.

665. Puesto que segun dijimos (n.º 639) la tierra es un iman poderoso, se podrá imantar una barra de hierro dulce cuando se coloque en la posicion en que está el eje del iman terrestre, esto es la línea que vaya de uno de sus polos magnéticos al opuesto, ó lo que es lo mismo en la direccion que toma un iman suspendido por su centro de gravedad. Asi sucede en efecto y las estremidades de la barra, que debe tener una vara de longitud para este experimento, atraen las limaduras de hierro y el polo opuesto de una aguja que se les aproxime, y repelen al correspondiente á cada uno de ellos.

666. Esta accion magnética de la tierra no tiene resultante horizontal, esto es, que no es capaz de hacer andar un iman sobre un plano en esta posicion, aunque pudiese destruirse el rozamiento del iman con el plano; lo que se comprueba poniendo una aguja magnética sobre el nivel del mercurio ó en un corcho que sobrenade en agua, pues se percibirá que gira la aguja hasta colocarse en la direccion del Norte Sur magnético, pero que despues no anda por el nivel del liquido, hasta irse al borde boreal de la vasija, como debia suceder si hubiese la resultante horizontal de que hemos hecho mencion.

667. *Declinacion.* Poco diremos tocante á esta propiedad

de la aguja, porque hasta ahora no tiene su estudio aplicaciones á la medicina, aunque sí muchos á la navegacion. Cuando la aguja se dirige hácia el Oriente, en vez de señalar el verdadero punto Norte, la declinacion se llama oriental, y occidental si se dirige hácia el Occidente. Hay ademas puntos en que no tiene declinacion la aguja, esto es, en que se dirige exactamente al Norte; pero en ellos al cabo de cierto tiempo empieza á adquirir alguna declinacion la aguja y va aumentándose por muchos años hasta que vuelve á disminuir para volver á señalar el verdadero Norte, pasar á una declinacion contraria á la que antes habia tenido, y así sucesivamente: en una palabra la aguja oscila pasando por el punto Norte y cada oscilacion dura siglos.

668. La declinacion tiene tambien variaciones accidentales como el barómetro, y anuncian grandes trastornos en la naturaleza, como terremotos, tempestades, &c: tambien tiene movimiento la aguja cuando hácia el polo Norte de la tierra hay auroras boreales.

669. Una aguja magnética de figura de un rombo sumamente prolongado y suspendida por una chapa de ágata sobre un eje vertical terminado en punta, constituye la *brújula ó aguja de marear*; suele ponerse un círculo de papel unido á ella en el que estan señalados los vientos. Para que se conserve siempre horizontal la aguja á pesar de los balances del barco, tiene una suspension particular, llamada de Cardano.

670. *Inclinacion*. Ya hemos dicho (n.º 641) lo que debia entenderse por esta palabra, tratándose de un iman. Dicha inclinacion, que tambien varia con el tiempo en un mismo lugar, es tanto mayor cuanto mayor es la latitud del pueblo que se considera; así cercano á los polos debe haber un punto en ambos hemisferios en que la aguja se coloque en posicion vertical; esos son los *polos magnéticos*, que no coinciden probablemente con los polos del mundo. Por el contrario en puntos que estan próximos al ecuador terrestre, se observa que la aguja no tiene inclinacion. A la línea que forman en el globo todos esos puntos se le denomina *ecuador magnético*.

671. El aparato para conocer la propiedad de los imanes llamada inclinacion, consta de un pié *ab* (fig. 294) que tiene dos apoyos para que descansa el eje de una aguja magnética *cd*, que en uno de sus brazos presenta un anillo *m*, el cual puede aproximarse ó alejarse del eje. Un cuadrante *st*, unido al pié, sirve para calcular aproximadamente cuanta es la in-

clinacion. Se coloca el instrumento de suerte que la direccion de la aguja corte á ángulo recto la línea Norte-Sur magnética y se aproxima ó se aleja el anillo *m*, á fin de que *cd* permanezca horizontal: conseguido esto si se le hace girar $90.^{\circ}$ á todo el aparato, á fin de que la direccion de la aguja corresponda con la línea meridiana magnética y que el polo austral de dicha aguja se dirija hácia el Norte, se observará que no permanece en posicion horizontal, sino que la estremidad que se dirigia al Norte, se inclina tambien hácia bajo.

Hay aparatos mucho mas complicados para medir exactamente cual es la inclinacion, pero no corresponde su explicacion á este curso.

672. *Influjo que los cuerpos en movimiento tienen en los imanes.* Es fácil observar que cuando una aguja movable al rededor de un eje vertical, como estan por ejemplo las brújulas, tiene cerca del plano en que se mueve un círculo de cobre, las oscilaciones cesan muy pronto, siendo asi que podrian durar mucho tiempo, quitándole el círculo de metal. De este hecho dedujo Arago, que por la inversa, si estando quieto el iman se lograra que diese vueltas rápidamente el círculo metálico, empezaria á moverse la aguja. Se logra ver bien el fenómeno con un aparato sencillo, que consta de un cajon *abcd* (fig. 295), con una tapadera *abms*, cuya parte superior es de pergamino tirante: en el centro de él se coloca un pié pequeño de metal, con un eje, sobre el cual descansa una barra imantada *fg*. Paralelamente al círculo horizontal, que puede describir la barra, y muy cerca de la cara inferior del pergamino, se coloca un disco de cobre, al cual se le da un movimiento de rotacion por medio de ruedas dentadas, que engranan con *hk*, movidas por el manubrio *P*, que sale fuera de la caja. En el momento que empieza á moverse el disco, se nota que se desvia el iman de la posicion de equilibrio, en el mismo sentido que la direccion del movimiento de rotacion, y que esta separacion va siendo tanto mayor, cuanta mas velocidad tiene el disco; pero en el momento que la rapidez aumenta tanto que se ha llegado ya á separar $90.^{\circ}$ de la posicion Norte-Sur, empieza el iman á dar vueltas en el mismo sentido. Si en vez del disco de que hemos hablado, se coloca otro de la misma sus-

tancia, que no forme un plano continuo, sino interrumpido por hendeduras en la direccion de los radios, como en *a* (fig. 296) desaparece la mayor parte del influjo que tienen los cuerpos con movimiento en los imanes.

LECCION XXXVII.

Electrodinamia.

673. Si unimos los dos polos de una pila con un alambre, á fin de que se forme una corriente de electricidad, y aproximamos el alambre á una aguja magnética movable sobre un eje vertical, observaremos que la aguja se desvia de su posición de equilibrio, y si es muy chica y la corriente proviene de una pila que tenga mucha fuerza, casi se pone formando un ángulo recto con la dirección de dicho alambre. Para poder explicar mejor la posición de la aguja y hacia donde está dirigido el polo austral ó el boreal, imaginó Ampere que en el alambre que une los polos estuviese una persona con los pies hacia el polo positivo y la cabeza hacia el negativo y con la cara vuelta á la aguja. Representándosele así se halla que siempre el polo austral está á la izquierda del que se hallase en el alambre.

674. Para que se verifique esto con la pila es indispensable que esten unidos entre sí los polos, pues ni el positivo ni el

negativo separadamente tienen acción en la aguja imantada. En una palabra es necesario que la electricidad recorra el alambre que une los polos, y que se recomponga en él á cada momento (n.º 595): por eso se ha llamado *electrodinamia* esta parte nueva y tan brillante de la física. A la fuerza que según hemos visto, procede de la pila y que ocasiona el movimiento de la aguja, se llama *electro magnética*. Mientras más se aleja el alambre del imán menos perceptible es el movimiento ó separación de este y viceversa, siguiendo la ley de la razón inversa de la distancia, y esta acción se efectúa al través de todas las sustancias conductoras ó no conductoras de la electricidad, esceptuando el hierro y el acero, lo mismo que vimos sucedía á la acción magnética (634).

675. Con estos antecedentes nos hallamos en estado de comprender el mecanismo de uno de los instrumentos más importantes actualmente en la física, que es el *multiplicador ó galvanómetro*. Si suponemos que una aguja imantada *ab* (fig. 297), cuyo polo austral es *a* y el boreal *b*, esté suspendida con una seda *cd* por su parte media *d*, y que procedente de una pila cuyos polos estén unidos con un alambre, haya una corriente de electricidad que viniendo del polo positivo al negativo tenga la figura de un paralelogramo, *efghk*, cuyos lados *ef* y *gh* sean verticales y los otros *fg*, *hk* horizontales y colocados en el mismo plano que la aguja; la dirección de la corriente estará representada por las flechas que hay en la figura. En cada una de ellas imaginemos un hombre, con la cabeza en la porción aguda de la flecha y los pies en la otra extremidad, mirando á la aguja imantada, y nos convenceremos que todas esas corrientes tienden á un mismo fin, ó á mover la aguja en una misma dirección, que será la de ponerla perpendicular al plano del paralelogramo, introduciéndose el polo austral *a*, sobresaliendo el boreal *b*: de consiguiente se habrá cuadruplicado la acción que la corriente tenía sobre la aguja: si en vez de un solo paralelogramo suponemos que haya muchos, y que la corriente pase por todos ellos, diremos de cada uno lo que del *efghk*; y de consiguiente la acción se habrá hecho mucho mayor que la de una corriente sola; por esto es por lo que se ha llamado *multiplicador*. El modo de lograr que por todos esos paralelogramos pase la corriente, es el de liar seda á un alambre sumamente delgado, como están las cuerdas de ciertos instrumentos de música; con eso se consigue aislar las diversas partes de la corriente y que no comuniquen entre sí; y cubrir dando vueltas con este alambre un molde hecho de madera que tenga la misma figura del paralelogramo, y

que deje al descubierto las partes horizontales superiores é inferiores. Como la aguja *ab* es movida por la accion directriz de la tierra, puede hacerse todavia mas sensible el instrumento del modo siguiente. En una paja muy delgada *mn* (fig. 298), que está colgada de una seda muy fina, se colocan dos agujas imantadas *ab*, *b' a'* paralelas, puestas en posicion inversa con respecto á sus polos. A este aparato ya no lo mueve la accion de la tierra y se llama una *aguja astática*. Si en vez de ponerlas paralelas y encontradas, se colocan formando algun ángulo, la tierra tendrá alguna accion sobre ellas, lo cual es conveniente para el mas fácil manejo del instrumento. El galbanómetro se compone pues de un pie *cd* (fig. 299) de madera con tres tornillos para ponerlo en posicion horizontal: sobre dicho pié está el aparato *fg*, en el cual se arrolla el alambre aislado de que hemos hecho mencion, y cuyas estremidades atraviesan el pié de madera y salen al exterior en *m* y *n*: *hk* es un sosten ó varilla de metal, de cuya estremidad *k* cuelga la seda que sostiene la paja y la aguja astática: la paja pasa por la cavidad de un tubo de vidrio que hay en el centro de la pieza *fg*; *rs* es un círculo metálico graduado, cuya parte central falta para dar paso al tubo &c. El aparato está cubierto con una campana de cristal para impedir que el aire le comunique algun movimiento. Si la aguja no es del todo astática, para servirse de este instrumento se empieza poniendo el círculo de metal en posicion horizontal, valiéndose de los tornillos del pié, á fin de que las agujas, especialmente la superior, tengan libre movimiento sobre el círculo metálico. Se da vueltas á todo el aparato hasta que la punta de dicha aguja, movida todavia por la accion de la tierra, corresponda al cero de la graduacion; entonces está dispuesto para obrar. Si ahora se hace pasar una corriente de electricidad, por pequeña que sea, poniendo en comunicacion los alambres *mn*, se abservará al momento una desviacion en la aguja; unas veces en un sentido, otras en el opuesto; siendo necesario atender hácia donde se mueve al principio, porque despues hace la aguja muchas oscilaciones y no es tan fácil conocer hácia donde se efectuó la separacion.

676. Cuando se introducen los dos alambres *mn* del multiplicador en ácido nítrico, al momento se observa que hay movimiento en la aguja. Con dicho instrumento es tambien mucho mas fácil que con el electroscopo condensador reconocer que se desarrolla electricidad con el contacto de dos metales, pues si hacemos que uno de dichos alambres comunique con un disco de cobre y el otro con uno de zinc, notaremos separacion en el momento que

se hagan comunicar ambos metales por medio de un papel mojado y la separacion aumenta considerablemente si el liquido que se emplea estuviese acidulado ó contuviese sal comun. Si ponemos en comunicacion uno de los alambres del multiplicador con una cápsula pequeña de platino que contenga un ácido y el otro con unas pinzas del mismo metal que contenga una base salificable, se notará tambien la desviacion, debida en este caso al desarrollo de electricidad que hay en la combinacion química.

677. Este aparato debe experimentar alguna modificacion cuando se quiere reconocer con él el desarrollo de la electricidad por la diferencia de temperatura. En este caso el alambre aislado que forma los paralelógramos, debe ser muy grueso y dar pocas vueltas ó haber pocos paralelógramos. Asi modificado se llama *multiplicador termo eléctrico*. Si poniendo un pedazo de antimonio en contacto con los dos alambres de este instrumento se eleva un poco la temperatura de uno de los puntos de contacto, al momento se verá separarse la aguja.

678. Dijimos (n.º 596) que uno de los efectos físicos de la pila era producir magnetismo; pero es indispensable para eso dar á la corriente una figura particular; lo mejor es torcer en espiral un alambre sobre un tubo de vidrio; introducir dentro del tubo un cilindro de acero y hacer que las estremidades de la espiral comuniquen con los polos de la pila; en el momento se puede sacar el cilindro de acero y se notará que ha adquirido polos. Pero no se puede explicar donde está en dichos cilindros el polo boreal y donde el austral, sin entrar en algunos pormenores. De dos modos puede empezarse á torcer el alambre suponiendo que el tubo de vidrio no varie de posicion para hacer la espira; uno hácia la derecha y se llama entonces *hélice dextrorsum*; otro por el contrario hácia la izquierda y se denomina *hélice sinistrorsum*. Si nos valemos de la primera, que es análoga á la que presentan la mayor parte de los moluscos gasterópodos, el polo boreal del cilindro de acero estará en el sitio que correspondia al polo positivo y al contrario si usamos de la hélice sinistrorsum. Pero si al torcer el alambre sobre el tubo, empezamos primero á formar una de estas especies de hélice y luego invertimos y formamos la contraria, en el punto del cilindro de acero correspondiente al de conversion se habrá formado un punto consecuente (n.º 663).

679. Por esta propiedad que tiene la corriente de la pila se ha logrado hacer imanes de una fuerza que antes era completamente imposible. En efecto si se hace pasar una espira de alambre

con seda, como se esplicó al hablar del multiplicador (n.º 675) en un cilindro de hierro encorvado en forma de herradura *abc* (fig. 300), y que dé muchas vueltas á dicho cilindro, se observará que cuando las estremidades de los alambres comunican con los polos de una pila de algun poder, la accion magnética del cilindro es tan enérgica, que puede sostener una pieza de hierro *d*, de la cual cuelgue una tabla *f*, cargada con muchas arrobas: los imanes formados de esta suerte se llaman *electro imanes*.

680. *Rotacion de los imanes producida por la corriente voltaica.* Si se echa mercurio en una vasija de vidrio *ab* (fig. 301) y se introduce en él verticalmente un iman, en cuya parte inferior se haya colocado un cilindro de platino á fin de que sea estable el equilibrio de este cuerpo sumerjido en el fluido, se notará que empieza á dar vueltas al rededor de la vasija cuando está atravesado el mercurio por una corriente voltaica. Puede disponerse tambien el aparato de suerte que el iman empieze á girar al rededor de su eje, para lo cual basta que uno de los alambres que va á establecer la comunicacion con uno de los polos, entre en una especie de cavidad que presenta el iman superiormente, en la que se echa una gota de mercurio para establecer mejor las comunicaciones.

681. Una vez que las corrientes eléctricas tienen accion en los imanes, se deduce desde luego que los imanes tambien lo tendrán en las corrientes, y por consecuencia la tierra que obra como un iman; pero es indispensable para esto que la corriente sea movible, á fin de poder observar sus efectos. En las obras de física publicadas de veinte años á esta parte, pueden verse los aparatos ingeniosos que han inventado los físicos para lograr que las corrientes cedan fácilmente á la accion de las fuerzas que obran sobre ellas; pero el objeto de este curso me impide estenderme sobre el particular y solo me detendré en los resultados.

682. Si se pone una corriente movible representada por una circunferencia de círculo capaz de girar sobre un punto situado en la parte mas alta, á la accion de la tierra, se notará que empieza á girar sobre dicho punto y permanece en equilibrio en dos posiciones distintas, aunque en una el equilibrio es instantáneo y en la otra estable. Estas dos posiciones son aquellas en que el plano del círculo sea perpendicular á la linea Norte-Sur magnética, y la posicion de equilibrio estable existe cuando poniéndose el observador al Sur del círculo, mirando hácia él y de consiguiente al Norte, la corriente va en la circunferencia en el

mismo sentido que el minuterio de un reloj, esto es de arriba abajo pasando por el Este, ó que la corriente (que siempre se considera que va del polo positivo al negativo) se dirige en la parte inferior de la circunferencia del Este al Oeste.

683. Si se pone una corriente circular movable al influjo de la tierra, se le verá dar vueltas, unas veces en un sentido, y otras en el opuesto, según el que tenga la corriente.

684. Los imanes también tienen influjo en las corrientes, y aproximando el polo de un imán á una de ellas, se observarán atracciones ó repulsiones: y aun pueden empezar á dar vueltas con rapidez cuando son circulares dichas corrientes: unas veces favorecen el movimiento que ocasiona la tierra, que según hemos visto también da origen á la rotación de corrientes circulares, otras por el contrario se oponen á ellas.

685. Las corrientes movibles obran entre sí; aunque en general se hacen las esperiencias valiéndose de un aparato que está fijo, por donde pasa la corriente, llamado conductor fijo, y de otro que pueda moverse. Dos corrientes paralelas se atraen cuando andan en el mismo sentido, y se repelen cuando andan en sentido contrario. Dos corrientes que forman ángulo entre sí procuran ponerse paralelas y dirigirse en el mismo sentido. Cuando el conductor fijo es circular lo mismo que el movable, se nota en este un movimiento de rotación.

686. Nos es imposible detenernos en explicar cómo Ampere logró unir entre sí todos estos fenómenos por medio de una teoría sencilla, pero entraremos en algunos pormenores sobre el nuevo modo con que ha considerado el magnetismo, y con que ha podido explicar todos los hechos de la antigua teoría.

687. Si suponémos una hélice formada de alambre envuelto en seda, como *cd* (fig. 302) y que de la estremidad *a* de la espira se dirija en línea recta el alambre hasta el punto *g* en que empezó dicha espira, nos habrémos formado idea de lo que Ampere llamó *solenoides*. Cuando un solenoides se coloca de suerte que pueda moverse sobre un punto y se hace pasar una corriente por el alambre, se nota que se dirige en la misma dirección que la aguja magnética, en virtud de la acción de la tierra, esto es que una de sus estremidades se dirige hácia el Norte y la otra hácia el Sur. Si tenemos otro solenoides por el cual pase otra corriente, pero dispuesto de suerte que pueda manejarse con facilidad, lo que se logra introduciendo las dos estremidades del alambre en agujeros llenos de mercurio, que existen en el aparato donde se ha-

con las esperiencias, se notará que aproximando una de las estremidades de este solenoides á las del otro hay atraccion en un caso y repulsion en otro, enteramente semejantes á la que pudiesen tener dos imanes.

688. Viendo esta analogia, ó mejor dicho, esta identidad en los fenómenos, supuso Ampere que todos los imanes, tanto naturales como artificiales, dependian de corrientes eléctricas que giraban al rededor de sus moléculas, ya por el interior, ya por el exterior de ellas, formando una curva cerrada, que para mayor sencillez supuso ser una circunferencia de círculo; y que todos estos círculos pequeños, que envuelven á cada molécula situada en un plano perpendicular al eje del iman, podrán tener una resultante que estará bien representada por otra corriente circular mayor; y de consiguiente en último resultado se deberá considerar cada iman como una gran porcion de corrientes circulares paralelas entre sí, y perpendiculares á su eje, yendo todas en la misma direccion y teniendo su centro en el eje mismo del iman, cuando es regular la imantacion.

689. El globo de la tierra debe suponerse que tambien contenga corrientes circulares paralelas al ecuador magnético, pero en cada lugar se podrá concebir siempre que la accion de todas estas corrientes se reduzca á la accion de una sola, la cual se llama *corriente media de la tierra*; y se demuestra que en cada punto del globo la corriente terrestre está en un plano perpendicular á la aguja de inclinacion, y va del Este al Oeste.

690. Asi es muy fácil de esplicar la accion de la tierra en los imanes, considerando aquella y á estos como corrientes de electricidad. Con respecto á la declinacion ya hemos visto (n.º 687) que una corriente circular cerrada se dirige perpendicularmente al meridiano magnético; luego tambien le sucederá lo mismo á una porcion de corrientes cerradas paralelas, ó á un iman, y de consiguiente las estremidades de este deben dirigirse una al Norte y otra al Sur magnéticos. Como hemos visto que dos corrientes se atraen cuando van en la misma direccion y que la de la tierra camina del Este al Oeste, se infiere tambien que la corriente va en la cara inferior de un iman del Este al Oeste. Esto nos da medios para conocer cual de las estremidades de un solenoides deberá ser polo boreal y cual polo austral, cuando se halla en él establecida una corriente.

691. La inclinacion de la aguja se explica fácilmente tambien por la misma teoría; y con respecto á las variaciones y perturbaciones que en la teoría antigua del magnetismo no se podian explicar sino admitiendo modificaciones particulares en el estado del magnetismo terrestre, en esta teoría se les atribuye á modificaciones en las corrientes eléctricas de la tierra.

692. Las atracciones y repulsiones que presentan los imanes por sus polos, según que sean de distinto ó del mismo nombre, encuentran una explicacion sumamente plausible en la hipotesis de las corrientes; pues según lo indicado en el número 687 los polos de distinto nombre tienen sus corrientes en la misma direccion cuando se ponen uno frente de otro, y de consiguiente deben atraerse, porque las corrientes se atraen en este caso. En los polos del mismo nombre las corrientes van en direccion contraria en uno con respecto al otro y de consiguiente deben repelerse.

693. Del mismo modo se entiende muy bien en la hipotesis de las corrientes, porque cuando se divide un iman por cualquier punto resultan dos imanes, cada uno con sus polos respectivos; pues si se parte por cualquier sitio un solenoides, resultan dos solenoides, y con sus corrientes dispuestas de tal suerte que una de las estremidades corresponde á un polo boreal y la otra á un polo austral.

694. Igualmente se explican las rotaciones de los imanes por medio de las corrientes y todos los demas fenómenos; pero la explicacion es á veces difícil de entender y en otros casos solo se puede hacer, valiéndose de cálculos improprios de este curso.

695. Relativamente á la comunicacion del magnetismo, se considera en esta hipotesis que los cuerpos magnéticos ó capaces de adquirir magnetismo tienen sus corrientes, cuando estan privados de él, dirigidas confusamente en todas direcciones; y que en el momento que una causa exterior obra sobre dichas corrientes, todas se colocan de un mismo modo. Tambien es necesario admitir como en la teoría antigua, una fuerza coercitiva en el acero que mantiene las corrientes en esa direccion, despues que cesa la causa que les habia obligado á moverse, y la falta de dicha fuerza coercitiva en el hierro, por lo cual vuelven á su posicion primera con mucha facilidad.

696. Si comparamos la teoria de Ampere con la antigua del magnetismo vemos que ambas esplican una porcion de fenómenos, aunque en realidad sean muy distintas y quizas ninguna verdadera, y esta es una ocasion muy oportuna para que los que empiezan ahora á dedicarse á la carrera médica, en que tan frecuentes son las teorías, se convenzan de que por mas ciertas que parezcan, deben solo considerarse como un medio de esplicar los hechos, quedando siempre problemática la certeza de ellas.

LECCION XXXVIII.

Acústica.

697. Dáse este nombre á la parte de la física que trata del *sonido*, entendiéndose por esta palabra la impresión producida en el órgano del oído por las vibraciones de los cuerpos, transmitidas á dicho órgano por el medio que rodea al que está vibrando, y en general por el aire.

698. Es fácil convencerse de que cuando un cuerpo produce sonido sus partes entran en movimiento particular, á que se ha denominado *vibración*. En efecto si con un cuerpo sólido se da un golpe en una campana, de modo que se produzca sonido, se notará que un cuerpo duro como el filo de un cuchillo que se aproxime, recibirá de cuando en cuando choques de la campana mientras dure el sonido. Estos movimientos deben concebirse formados de un modo análogo á los esplicados al tratar de la elasticidad (n.º 153); la campana (suponiendo que consideramos la

serie de moléculas que componen un círculo paralelo al que forma su parte inferior toma primero la posición *hcnd* (fig. 303); después vuelve á la primitiva *ambh*, y pasa de ella hasta llegar á *hfmq*; vuelve de nuevo á su posición primera y después á otra que no se aleja tanto, como la *hcnd* y así sucesivamente hasta que se para. Estos mismos movimientos se notan también fácilmente en una cuerda que produce sonido. Suponiendo que su posición primitiva ó cuando esté quieta la cuerda, sea la *ab* (fig. 304) si la ponemos en la posición *acb* y luego la abandonamos á sí misma, notaremos que empieza á sonar; y en ese tiempo va á *ab*, luego á *adb*, después cerca de *acb*, y así sucesivamente.

699. El sonido se divide en dos clases muy distintas, que son *ruido y sonido musical*. El primero es producido por una ó dos vibraciones, ó por una especie de conmoción que experimenta el cuerpo la cual se disipa prontamente. El sonido musical es producido por las vibraciones ó por una serie de ruidos y se diferencia el ruido del sonido musical en que no es posible imitar el primero con instrumentos de música y el segundo sí.

700. En el sonido musical hay que considerar la *intensidad*, *el tono y la voz*. La intensidad depende de la amplitud de las vibraciones, esto es, de que se separe mas ó menos el cuerpo de su posición primitiva en cada vibración. El tono consiste en el número de vibraciones que da el cuerpo en un tiempo dado; cuando es muy considerable el sonido es *agudo y grave* en el caso contrario. Finalmente la voz depende de la naturaleza del cuerpo que vibra, y por eso aunque dos instrumentos den el mismo sonido musical, conocemos la especie de instrumento que lo ocasiona, como por ejemplo la flauta y el violín.

701. *El sonido no se trasmite en el vacío*. Para probarlo existe en el gabinete un aparato compuesto de una máquina de reloj *a* (fig. 305) con su campana, en donde toca movido por la misma máquina un martillo, cuando se baja la pieza *c*. Esta atraviesa por la parte superior de una campana de cristal, que se coloca en la máquina neumática. Como la porción inferior de este aparato es metálica y son cuerpos sólidos las partes que tocan en la máquina, podría comunicarse por estas el sonido si no se tomara la precaución de interponer entre el reloj y la máquina neumática un cojín lleno de algodón que intercepte el sonido impidiendo que se comuniquen las vibraciones. Dispuesto todo de este modo si se baja la pinza *c*, se percibirá muy claramente el sonido; pero cuando se hace bien el vacío nada se percibe repitiendo la

misma operacion. Dejando entrar poco á poco el aire en la máquina neumática, se convencerá cualquiera que á proporcion que hay aire se oye mejor el sonido. Los vapores tambien lo transmiten pues si se pone dentro de la campana de cristal un poco de eter por ejemplo en una cápsula, no llegará el caso de que deje de percibirse.

702. Los líquidos y los sólidos transmiten el sonido igualmente que el aire y los vapores: si producimos algun ruido dentro del agua, lo percibimos aunque no se haya podido comunicar sino al traves de aquel fluido. Del mismo modo si aplicando el oido á la estremidad de un madero largo, como por ejemplo una viga, hacen en la otra estremidad un ligero ruido, se oirá perfectamente aunque no lo hayan podido percibir las personas que estaban mas próximas al sitio en que se produjo el ruido, si no tenían aplicado el oido al cuerpo sólido. Pronto veremos que el sonido corre con mas velocidad por los cuerpos sólidos que por el aire.

703. *Velocidad del sonido en el aire.* Es de observacion comun que el sonido tarda algun tiempo en llegar del sitio donde es producido hasta nuestro oido, lo cual se conoce muy bien cuando la causa que produce el sonido da lugar al mismo tiempo á otro fenómeno, que pueda percibirse por la vista y hay alguna distancia entre el punto en que se actua el ruido y el parage en que está el observador. Asi cuando un buque que está algo lejos de la tierra tira un cañonazo, se percibe que pasa un tiempo bastante considerable entre ver el fogonazo y oír el estampido del cañon; cuando para una persona que estuviese á bordo estos dos fenómenos le parecerian casi simultáneos. Depende de que la velocidad de la luz es tan considerable que casi se puede decir es instantáneo el momento de su aparicion y el tiempo en que la percibimos cuando estamos colocados solo á la distancia de algunas leguas. No asi el sonido que tiene una velocidad bastante corta en comparacion de la luz.

704. El modo de averiguar cual es esta velocidad se infiere de lo que acabamos de decir: basta para ello que se coloquen dos observadores en dos puntos, cuya distancia esté medida de antemano; y teniendo dos relojes que anden exactamente iguales, tire cada cual cañonazos en épocas convenidas, observando el otro el tiempo que tarda en llegar el sonido. De las esperiencias hechas tanto en Europa como en América resulta que la velocidad del sonido es de 178 toesas por segundo proximamente. Como en

la experiencia de América tuvieron gran parte dos de nuestros sabios mas eminentes, cuales fueron D. Jorge Juan y D. Antonio Ulloa, extractarémos aqui el modo como hicieron la experiencia valiéndonos de la obra intitulada *observaciones astronómicas y físicas hechas de órden de S. M. en los reinos del Perú*. Pusieron un cañon de cuatro pies y medio de largo y de ocho à nueve libras de bala en la cumbre del monte que llaman el *Panecillo*, à cuyo pié está la ciudad de Quito y el dia 10 de Julio de 1738, D. Jorge Juan y Mr. Godin pasaron à una hacienda que está en el extremo Septentrional del llano de Añaquito, cercana al camino real de Guayamba de donde pretendian hacer la observacion; mientras D. Antonio Ulloa y Mr. Bonguer fueron à la hacienda de Saguanche, que está al lado opuesto del Panecillo, con el mismo designio quedando unos y otros con corta diferencia igualmente distantes del cañon.

Pusimos, dice D. Jorge Juan, un péndulo de medios segundos, al abrigo del viento, para que no le impidiese este hacer las oscilaciones iguales; estabamos al mismo tiempo situados de modo, que puestos debajo de él, oiamos perfectamente los golpes de los medios segundos, veiamos tambien claramente el Panecillo, y el sitio donde estaba el cañon. Nos colocamos inmediatos atendiendo, para empezar à contar cada uno para si, desde el instante de la inflamacion de la pólvora hasta oir el sonido; y despues comunicándonos las observaciones, que no se diferenciaron jamas de medio segundo, tomamos un medio entre las dos.

Se dispararon cinco cañonazos, los tres primeros hácia los otros observadores que estaban à la parte del medio dia; el cuarto hácia nosotros y el quinto se disparó puesto el cañon verticalmente; cuyas varias posiciones se le dieron por ver si resultaba de ello alguna diferencia.

Hallaron 33 segundos para el tiempo que empleó el sonido en correr la distancia desde el sitio en que estaba colocado el cañon à aquel en que estaban los observadores sin diferencia sensible en las cinco observaciones.

Finalizada la operacion, prosigue D. Jorge Juan, reconocimos que el viento era contrario al movimiento del sonido y juzgamos que podia andar dos toesas por segundo: por cuyo motivo se debe suponer que en el sitio donde observamos, el viento atrasaba el sonido dos toesas por segundo. En el Panecillo, donde estaba el cañon nos advirtieron que hacia calma; con que en este sitio no se atrasaba cosa alguna el sonido; puedese, pues, suponer

tomando un medio, que generalmente se atrasaba el sonido una toesa por segundo.

Don Antonio Ulloa desde Saguanche hizo las propias observaciones, por medio de un perpendicular de 36 pulgadas $6\frac{1}{2}$ líneas del pié de Paris de largo: colocado de suerte que, atendiendo á sus oscilaciones veia al mismo tiempo el sitio en donde estaba el cañon en el Panecillo, y fueron 38 segundos término medio: en cuyo intervalo el viento no le interrumpió su velocidad, por haberse experimentado una perfecta calma. La distancia entre el sitio del cañon del Panecillo y el parage de la primera hacienda era de 5736 toesas, y la hacienda de Saguanche distaba del cañon 6820. Partiendo estas distancias por los respectivos tiempos y atendiendo á que el viento detuvo el sonido una toesa por minuto en la primera experiencia se halla proximamente el número 178 toesas por segundo para velocidad del sonido.

705. En esta velocidad, como acabamos de ver, influye mucho la del viento y su direccion: se aumenta cuando el viento es favorable, se disminuye cuando es contrario, y en nada influye cuando su direccion forma ángulo recto con la del sonido. La velocidad de este es la misma cuando se dispara un cañon con la boca hácia el observador que hácia el lado contrario. El movimiento del sonido es uniforme y su velocidad la misma en todos los estados de la atmósfera ó alturas del barómetro. El sonido fuerte y el débil tienen la misma velocidad; la única diferencia que hay entre ellos es que el débil se aniquila y deja de oirse á una distancia mucho menor que el fuerte. Esta velocidad es igualmente la misma á todas las alturas encima de la superficie de la tierra que hasta ahora han podido observarse. Es igual viniendo el sonido de arriba abajo ó á la inversa, esto es de lo alto de un cerro al valle ó al contrario.

706. No debe confundirse con la velocidad del sonido el decremento que tiene su intensidad cuando aumenta la distancia y se transmite por el aire libre, pues esta intensidad disminuye en razon del cuadrado de la distancia; el viento no tiene influjo sensible en el decremento de la intensidad si la distancia es corta; cuando es mucha se oye menos el sonido en direccion contraria al viento que en su misma direccion, y esa diferencia se aumenta con la distancia: esta ley de la disminucion de intensidad del sonido es menos rápida en la direccion del viento que en sentido contrario. En fin, este decremento es menor perpendicularmente á la direccion del viento, que en su misma direccion. La intensidad

es mucho mayor durante la noche que en medio del día; sin que esto pueda explicarse por el ruido que siempre hay en el primer caso, extraño al que se considera, pues en ciertos parages solitarios de América en que no hay estos ruidos durante el día y sí muchos por la noche, á causa del estrépito que hacen las aves nocturnas y los insectos, el fenómeno se observa del mismo modo.

707. La intensidad del sonido no experimenta alteracion sensible cuando corre por un cilindro, segun las esperiencias de Mr. Biot. Se valió para ello de los tubos que forman los acueductos de Paris, y hacia la esperiencia con una columna de aire de 959 metros de longitud. Estando la ciudad en silencio, á horas muy avanzadas de la noche, podian hablar dos personas en las estremidades de estos tubos, distinguiéndose perfectamente las palabras por bajo que lo hiciesen, de suerte que segun Mr. Biot, solo dejaba de percibirse la voz cuando dejaban de hablar. En ese cilindro se hizo con facilidad la esperiencia de que los cuerpos sólidos transmiten con mas velocidad el sonido que los gases; pues dando golpes con una especie de martillo en las paredes del conducto, se oian dos sonidos, uno comunicado por ellas y otro por el aire, y el primero se percibia antes que el segundo.

708. El tono de los sonidos no influye en nada con respecto á la velocidad, pues es igual para los agudos que para los graves, de lo que se convencerá cualquiera, reflexionando que á no ser asi, una pieza de música oída á alguna distancia seria desagradable al oido, cuando sucede lo contrario. En las esperiencias citadas de Mr. Biot tocando una flauta en una de las estremidades del conducto, se percibia muy bien la sucesion de los distintos sonidos en la otra estremidad, lo mismo que se oia á su inmediacion. No habia mas diferencia sino que cada sonido llegaba cerca de tres segundos mas tarde en el primer caso que en el segundo.

709. El conocimiento de la velocidad del sonido y su comparacion con la que tiene la luz, puede servirnos para conocer la distancia á que se halla un objeto, en el cual se producen ambos fenómenos de lo que hemos ya hablado en el número 572.

710. La intensidad del sonido disminuye considerablemente cuando es poca la densidad del gas en donde se produce y por donde se propaga; asi en el viage aerostático de Gay Lussac á la altura de 7000 metros, su voz habia disminuido considerablemente; y se observa tambien que en los montes elevados un arma de fuego no produce el mismo ruido cuando se dispara que en la

llanura. Cuando los jugadores de manos respiran hidrógeno mezclado con aire atmosférico, se observa también que se les disminuye considerablemente el metal de la voz.

711. *Propagacion del sonido en un tubo cilindrico indefinido abierto por ambas estremidades.* Supongamos que ab (fig. 306) sea este tubo indefinido, esto es, que pueda tener la longitud que queramos, que si para la demostracion de lo que vamos á esplicar es necesario que tuviese mas de mil varas lo podemos suponer de mil y quinientas &c. Si cerca de una de sus estremidades a colocamos una lámina metálica fija por d , y movemos la parte c , separandola de su posicion primitiva y la abandonamos despues, empezará á vibrar; y si es suficientemente prolongada ó que el punto fijo d esté muy distante de la estremidad abierta a , podemos suponer que los movimientos de la porcion an sean tales, que esta porcion se mueva paralelamente á si misma. Consideremos primero el movimiento por el cual cm se aproxima al tubo cilindrico: claro es que hará entrar en movimiento el aire contenido en ab , y si fuese un cuerpo sólido el que alli estuviese encerrado, se comunicaria el movimiento á toda su masa: mas como el aire se comprime, no sucederá lo mismo, sino que solo una porcion entrará en movimiento. Sea f dicho punto: desde f hasta b todo permanecerá en el primer momento como si nada hubiese sucedido; en cuanto pase el primer impulso, que es instantáneo, también permanecerá en quietud el aire de la estremidad a ; luego el movimiento se verificará desde a hasta f , y además habrá una compresion del aire, que puesto que es nula en a y en f , tendrá su mayor intensidad en el punto g , mitad de af . El sentido del movimiento es de a á f , como está señalado en la figura por la flecha; y si queremos representarnos el estado de las moléculas de aire comprendidas entre a y f , podremos hacerlo valiéndonos de las perpendiculares levantadas en la serie de moléculas que forman el eje del tubo en dicha porcion, y que terminen en una curva tal como stf . A estas perpendiculares se le llama en matemáticas *ordenadas* de dicha curva. Al cabo del primer instante, si suponemos por ahora que no se mueva la lámina cd , irán sucesivamente entrando en quietud todas las moléculas aéreas comprendidas entre a y f , primero las inmediatas á a y despues las siguientes, empezando á entrar en movimiento las comprendidas entre f y h , desuerte que cuando la molécula k esté en quietud, otra como k' cuya distancia á f es igual á sk , empezará á moverse; asi se irá propagando el movimiento, basta que al fin del segundo instante las

moléculas comprendidas desde f á h estarán en un estado que con respecto á velocidad y composicion, podrá estar representado por las ordenadas de la curva flh , enteramente igual á la anterior stf . Ya todas las moléculas desde a hasta f estarán en quietud; y el movimiento en el tercer instante se verificará á la derecha de h y asi sucesivamente. Si queremos representarnos el estado de las diversas moléculas en cada uno de estos instantes y en el tiempo de su duracion, no habrá mas que suponer que la curva stf corre por la línea recta so , teniendo siempre en dicha línea las dos estremidades s y f , que su movimiento sea uniforme y la velocidad tal que haya andado espacios iguales á sf en cada instante.

712. Mas no es esto lo que sucede en la naturaleza; porque concluido el primer instante y cuando las moléculas desde a hasta f estan quietas y solo se mueven de f á h , como representa la figura 307, sigue vibrando la lámina cd , apartandose del tubo cilíndrico ab , en cuyo movimiento supondremos que tarde otro instante; las moléculas aereas comprendidas desde s á f deben ahora ocupar mayor espacio que el que antes tenían, de consiguiente se dilatarán y disminuirán de densidad; las dos que se hallan colocadas en s y en f no experimentaran alteracion; pero la mas rarefacta será la que está situada en x punto medio de la sf y para representar el estado de las moléculas de esta porcion no habrá mas que tirar las ordenadas de una curva igual á la flh , pero colocada en sentido inverso, como lo representa la figura 308. Al fin del segundo instante, las moléculas comprendidas entre f y h empezarán á entrar en quietud, comunicándose el movimiento á las que estan situadas á la derecha; pero á proporcion irán entrando tambien en quietud las comprendidas entre s y f y se lo irán comunicando á las que se hallan entre f y h , de suerte que el estado sucesivo de las capas de aire estará bien representado por el movimiento de la línea curva $snflh$, moviéndose uniformemente sobre la so , del modo que dijimos antes para la stf . Pero á proporcion que estas moléculas sf van quedándose quietas, continuan las vibraciones de la lámina cd y produciendo nuevas compresiones ó dilataciones en la porcion sf , las cuales se van propagando despues segun acabamos de decir. Estas diversas porciones de moléculas que á la par entran en movimiento, como las sf , fh &c., se llaman ondas, desig-

nandose ademas con el epíteto de *rarefactas* ó *condensadas*, segun el estado en que se hallan de dilatacion ó de compresion. Vemos pues que considerando toda la estension del tubo en un tiempo dado, hay puntos que permanecen en quietud, en los cuales ni hay dilatacion ni condensacion, como *s, f, h* y á estos se les llama *nodos* otros por el contrario se hallan en la mayor condensacion ó dilatacion posible y se denominan *vientres* como los *x, t*.

haber tenido que recorrer la onda la longitud $2ad$ para
que la línea recta ad y que haría $2ad$ y que haría $2ad$
de a la reflexión. A este segundo sonido, que es el
del punto a en d , el cual se divide en ad y $2ad$
y ad y $2ad$. Si suponemos que del lado contrario al observador
que está situado en d , con respecto a la pared BC , hubiera una
obstáculo contra el cual rebotara el sonido, pues también al
mismo punto d , después de otra nueva reflexión, tendríamos
que se llama un eco duplo, es un ruido producido por el
primero directamente, mas tarde por la primera reflexión, y
de a después por la que origina el otro obstáculo. También en
la reflexión y produce un eco duplo, pero la misma reflexión
que lo es, su ruido de sonido por espacio de $2ad$ y $2ad$
por: pues la onda que sale desde a hacia d y
sobre partes que están al mismo nivel de a y d
que continúa hasta otro punto en que se divide en ad y $2ad$
directamente.

LECCION XXXIX.

Sigue la acústica.

713. *Reflexion del sonido.* Cuando las ondas sonoras cho-
can con un cuerpo sólido se reflejan formando el ángulo de inci-
dencia igual al de reflexion, como vimos que sucedia en el choque
oblicuo de los cuerpos elásticos, pues las ondas sonoras deben con-
siderarse como líneas rectas formadas de aire elástico mas ó menos
comprimido.

714. Asi si un ruido cualquiera se produce en a (fig. 309)
y que una persona esté en d , y que haya un cuerpo sólido como
una pared BC , dicha persona oirá el ruido por la onda sonora que
llega directamente de a , como la ad , y ademas percibirá otra re-
petición del mismo sonido, que vendrá siguiendo la direccion md , y
llegará mas tarde que el primero al oido del observador por

haber tenido que recorrer la onda la longitud amd mayor que la línea recta ad , y que parecerá venir del punto m donde se ha reflejado. A este segundo sonido, que es una repetición del primero se llama *eco*, el cual se divide en simple y múltiplo. Si suponemos que del lado contrario al observador que estaba situado en d , con respecto á la pared BC , hubiese otro obstáculo contra el cual reflejándose el sonido fuese también al mismo punto d , después de otra nueva reflexión, tendríamos lo que se llama un eco duplo; así un ruido producido en a sería oído primero directamente, mas tarde por la primera reflexión sobre BC y después por la que origina el otro obstáculo. También puede reflejarse y producir eco un ruido que haga la misma persona que lo oye, sirviendo de sonido por ejemplo la voz del observador, pues la onda que sale desde su boca puede reflejarse sobre partes que vuelvan al mismo sitio la onda reflejada, que continua hasta otro punto en que suceda lo mismo y así sucesivamente.

715. Pero es necesario atender á la velocidad del sonido para calcular las sílabas que podrá repetir el eco, pues es claro que si las partes que lo reflejan están muy próximas al observador, llevarán hacia él las primeras sílabas de la palabra que ha pronunciado, cuando todavía no la haya concluido. Se observará entonces una especie de murmullo ó resonancia al muy poco tiempo de empezar á hablar, la cual continuará hasta que se concluya, y entonces oiremos repetir la última sílaba de la palabra final. Si los obstáculos ó puntos en que se refleja el sonido, se hallan á gran distancia, aunque no tanto que se pierda la intensidad del sonido y por eso deje de percibirse, tardará mas tiempo en llegar la repetición de las sílabas, y al concluir la palabra podrán percibirse dos, tres ó mas. Se citan casos de ecos que repetían hasta catorce ó quince sílabas.

716. En un cuarto desamueblado las paredes reflejan el sonido y producen el efecto indicado de la resonancia; los muebles impiden que esta reflexión sea tan completa y modifica el fenómeno. Cuando las habitaciones tienen sus techos en forma de bóveda, especialmente si son elípticas, se observa un hecho curioso, cual es que una persona vuelta hacia un punto de la pared, pueda hablar en voz baja con otra que esté colocada en otro punto semejante en la parte opuesta de la pieza, sin que puedan entender mas que un confuso murmullo las otras personas que se hallen allí, aunque estén muy próximas á los interlocutores. Consiste en

una propiedad matemática de que gozan las elipses y los cuerpos engendrados por ellas, llamados elipsoides, de que todas las líneas que saliendo de un foco van á parar á la línea ó superficie curva, se reflejan pasando por el otro foco.

La bocina, la trompetilla ó cornete acústico y el estetoscopio son instrumentos que estan fundados en la reflexion del sonido ó mas bien en dirigir una porcion de ondas sonoras hácia el mismo sitio.

717. *La bocina* consiste en un tubo cónico de hoja de lata *abcd* (fig. 310) con una embocadura *ac* que se aplica á la boca del que habla, el cual dirige el instrumento hácia el sitio donde quiere hablar. De esa suerte se consigue que muchas de las ondas sonoras, que á no ser por la bocina se estenderian en todas direcciones, como los radios de una esfera cuyo centro estuviese en el sitio del que habla, pasen por el interior del instrumento y lleguen á donde se desea. Nada influye la naturaleza de las paredes de aquel, pues el mismo efecto se observa cubriéndolas con paños, que no sirven mucho para la reflexion del sonido. Con este instrumento hablan los marinos desde los buques.

718. *La trompetilla ó cornete acústico* tiene varias figuras, pero en general puede considerarse tambien como un tubo cónico *ab* (fig. 311), que por su parte mas estrecha *a* termina en un tubo cilindrico *ac*, el cual se introduce en el conducto auditivo externo de la persona que por padecer de sordera necesita de este instrumento. Hablándole aunque sea en voz baja, con la boca próxima al pabellon de la trompetilla, como todas las ondas sonoras van á parar al sitio correspondiente á la membrana del tímpano, se aumenta bastante la impresion para que pueda percibirse el sonido.

719. En el mismo mecanismo está fundado el estetoscopio, que se diferencia del instrumento anterior en que el sitio correspondiente al pabellon debe ser aplanado para aplicarse á las paredes pectorales ó al sitio que se desea, y que no termina en conducto estrecho por la otra estremidad, sino en una superficie aplanada con una abertura en su centro, para acomodarse á la oreja del que ausculta. Dicha abertura debe corresponder al conducto auditivo externo.

720. *Vibraciones de las cuerdas.* Las vibraciones de las cuerdas pueden ser de dos modos *transversales y longitudinales*. Las primeras son aquellos movimientos en que entran siempre que se separan de la posicion de equilibrio que tenian cuando estaban

ensas; y de estos movimientos ya hemos indicado algo en el número 698. Las vibraciones longitudinales son producidas por las cuerdas cuando se alargan mas de lo que estaban, tirando de ellas en el sentido de la longitud y abandonándolas despues á si mismas. Las primeras son mucho mas importantes que las segundas.

721. *Leyes de las vibraciones transversales de las cuerdas.*

1.^a *El número de vibraciones está en razon inversa de las longitudes.* Esto es que si tenemos dos cuerdas, queijas por una de sus estremidades sostengan el mismo peso y sean de la misma sustancia y del mismo grueso, pero de diferente longitud, la mas corta dará mayor número de vibraciones en un tiempo determinado que la otra. No es fácil contar el número de vibraciones; pero como á proporcion que este aumenta en el mismo tiempo es mas agudo el sonido producido, consigue el oido lo que no podrian los demas órganos y por él se puede comprobar la ley: entiéndase lo mismo para las demas leyes.

2.^a *El número de vibraciones de dos cuerdas es como las raices cuadradas de los pesos ó presiones:* ó en otras palabras, si tenemos dos cuerdas de la misma sustancia, longitud y grueso, ijias por una de sus estremidades y que esten tirantes por pesos desiguales, una por ejemplo con un peso de una libra y la otra con uno de cuatro libras, el número de vibraciones que dé esta última en un tiempo determinado será doble del que dé la primera; porque la raiz cuadrada de cuatro es dos y la raiz de uno es uno. Si la relacion entre las pesas fuese de 1:9, la que existirá entre el número de vibraciones seria de 1:3 &c.

3.^a *El número de vibraciones de las cuerdas está en razon inversa de sus diámetros,* ó lo que es lo mismo, á igualdad de naturaleza y de presion las cuerdas dan tanto menor número de vibraciones en un tiempo determinado, cuanto mas gruesas son.

4.^a *El número de vibraciones de las cuerdas está en razon inversa de las raices cuadradas de las densidades de las sustancias que las forman:* lo cual quiere decir que de dos cuerdas hechas de diversas materias, cuya longitud, grueso y peso que sostienen son iguales, y que la densidad de la primer sustancia sea por ejemplo uno y de la segunda cuatro, mientras esta última dá una vibracion la primera dará dos.

722. Todas estas leyes se comprueban fácilmente con un instrumento llamado *monocordio*, por tener una sola cuerda.

Consta de un cajon *ab* (fig. 312) de madera delgada, sostenido por tres pies, con tres aberturas en una de sus caras laterales, para que tambien entre en vibracion el aire de lo interior del cajon y aumente el sonido producido por la cuerda. Esta se halla sujeta por una de sus estremidades *c* en unas especies de pinzas fijas al cajon; pasa despues por una polea *d*, y termina en un peso *f*, que sirve para ponerla tirante. Este peso se aumenta ó disminuye segun convenga. Una especie de puente *h*, movable, acorta ó alarga la longitud de la cuerda á voluntad. Al lado de ella hay una barra de metal *rs*, graduada en pulgadas y lineas para poder medir la longitud de la cuerda. Hay un juego de estas últimas de diversos gruesos y sustancias, y todas ellas pueden colocarse sucesivamente en el monocordio, por medio de las pinzas situadas en *c*.

723. Nada dirémos de las relaciones en que estan entre si el número de las vibraciones que producen los sonidos musicales que constituyen la octava, por ser esto objeto de un curso de física general, y no tener aplicaciones á las ciencias médicas; solo observaremos que ademas del sonido que naturalmente produce la cuerda cuando entra en vibracion, correspondiente á la longitud densidad, grueso y peso que la pone tirante, se observan otros varios denominados *sonidos armónicos* y que dependen de entrar en vibracion separadamente las partes de la misma cuerda. Asi cuando la *ab* (fig. 313) por ejemplo, entra en vibracion, las dos partes *ac* y *ab* vibran separadamente, del modo que está indicado en la figura con las curvas *adc* y *cfb*; y de consiguiente producen ademas del sonido principal, otro correspondiente á la mitad de la longitud de dicha cuerda, y que por lo dicho en la primera ley de las vibraciones transversales será doble mas agudo que el principal. Esto se percibe bien colocando en los puntos en que no hay vibracion como en *c*, un pedazo de papel, el cual permanece en quietud mientras la cuerda vibra, saltando otros semejantes que se coloquen en *d* y *f*.

724. *Vibraciones de las láminas.* No son únicamente las cuerdas las que pueden entrar en vibracion, tambien lo hacen las láminas, por ejemplo las de vidrio, cuando se conmueven con uu arco de violin; y hay puntos en ellas que permanecen en quietud, como es fácil convencerse esparciendo polvos muy finos sobre dichas láminas, y tocando por algunos de sus bordes con aquel cuerpo. Si suponemos que la forma de la lámina sea cuadrada, como en la figura 324, y que el arco de violin esté aplicado á la parte

media *a* de uno de sus lados, se observará que empieza á moverse el polvo hasta colocarse en la posición representada por las líneas *cd*, *fg*: es necesario para conseguirlo que la lámina esté sujeta solo por el punto *m*, y su opuesto en la otra cara. Todas las partes de la lámina, excepto en dichas líneas, han entrado en vibración, como lo comprueba el movimiento que ha tenido el polvo: y á aquellas líneas que denotan las partes que han permanecido en quietud, se les denomina *líneas nodales*. Si en vez de aplicar el arco al punto *a*, lo hubiésemos puesto en *d* (fig. 315), las líneas nodales tomarían la dirección *ab*, *cf*. Pueden variarse los experimentos de mil maneras, y siempre se observa que no se queda quieta la sustancia pulverulenta, cerca del sitio donde se aplica el arco de violín.

725. *Instrumentos de viento*. En todos los instrumentos de viento el aire es el que produce los sonidos entrando en vibración, de consiguiente es necesario que estén contruidos de modo que dicha vibración sea posible, ó que la produzca con sus labios el que lo toca: pues no obtendrá sonido si no hace mas que soplar en él.

726. Un instrumento muy sencillo cual es el *silbato* nos dará idea del modo como se hace vibrar el aire; consta del *pié ab* (fig. 316), en cuya parte inferior hay una abertura estrecha llamada el *oído*, por donde se introduce el aire, colocando entre los labios el pié del instrumento y haciendo una fuerte expiración. El aire va á chocar con el borde inferior de una abertura *cd*, llamada la *boca*, y que se compone de dos *labios* uno *e* superior y otro *d* inferior; puesto ya el aire en vibración al chocar con el labio inferior entran también todas las partes situadas en el cilindro *cafg*, y así se produce el sonido. El cilindro de que acabamos de hablar, que en general es de madera, influye en la mayor ó menor agudeza del sonido según sus dimensiones; pero la sustancia que lo forma solo contribuye á la voz; pues si fuese movable y en su lugar pusiéramos otro de carton liso exactamente igual, no se variaría el tono del sonido.

727. Mientras mas largo es el cilindro, ó en general el tubo, mas grave es el sonido, y también se hace doble mas grave cerrándolo por la parte superior, aunque se le conserven las mismas dimensiones; pues se demuestra que mientras mas longitud tiene la onda sonora mas grave es el sonido y que aquella tiene doble longitud en un instrumento cuyo tubo está cerrado que en el que permanece abierto, por ir á parar á la estremidad cerrada y reflejarse desde allí hasta la boca.

728. Si cuando un tubo abierto está dando el sonido mas grave que pueda, se echa en él con mas fuerza el aire, producirá un sonido doble mas agudo; y si entonces se destapa una abertura que hubiese en la parte media del tubo, no variará el sonido; pero si hubiera variado, transformándose en este mas agudo de que hablamos, si se hubiera destapado la abertura cuando estaba dando el sonido fundamental.

729. Para todas estas esperiencias se emplea un aparato compuesto de un cajon ó depósito de aire *ab* (fig. 317), que lo recibe de un fuelle *c*, colocado en la parte inferior, movable por medio de una palanca *d*; una varilla *fg* que se apoya en la parte superior de dicho fuelle, sirve para hacerle echar todo el aire de pronto en el depósito; *h* es el conducto que va de él al fuelle. En la parte superior de *ab* hay varias teclas, que estan tapando unos conductos que comunican con el depósito del aire, y en ellos se colocan los tubos que han de servir para las esperiencias.

730. A veces entra el aire en movimiento intestino por las vibraciones de una lámina que esta próxima á una abertura, y estos son los instrumentos que se llaman de *boquilla*. Si el tubo tiene una parte de cristal correspondiente al sitio donde está la boquilla, se verá que entra en vibracion dicha lámina por el influjo del viento. Estos tubos no tienen boca, ni oido; constan de dos partes, la inferior por donde entra el aire debe estar separada de la superior que es por donde sale, por medio de la lámina vibrante. Si los movimientos de esta permiten que el paso del aire sea fácil, el sonido es grave; y agudo en el caso contrario. Pronto veremos lo aplicables que son estas consideraciones á la organizacion del hombre.

731. En otros instrumentos llamados *reclamos*, que se componen de una caja pequeña *abcd* (fig. 318) de hueso ó marfil, con dos orificios ó aberturas pequeñas *fg*, es producido el sonido por la entrada del aire aspirado por medio del instrumento. De este hacen uso los cazadores, colocándolo entre los dientes y los labios.

732. Hasta ahora no hemos indicado medios para poder conocer el número de vibraciones que deben producirse en un tiempo dado, en un segundo por ejemplo, para que se origine un sonido musical determinado. Para ello sirven dos instrumentos que son la Sirena de Cagniard Latour y las ruedas dentadas de Savart.

733. *Sirena de Cagniard Latour*. Consta de un tubo cilindrico de metal *ab* (fig. 319) abierto por la parte inferior, que se coloca en uno de los conductos del fuelle explicado ya (n.º 722); por la otra estremidad termina en una caja de metal cilindrica, que en la cara superior tiene diez aberturas redondas colocadas en círculo y que distan unas de otras un espacio igual á la longitud de sus diámetros. Esta disposicion está representada aparte en la figura. Del centro de la cara superior de esta pieza sale un eje movable sobre dos puntos, de los cuales uno es dicho centro y otro el *d*. Unido á este eje, movable con él, y tocando á la cara con aberturas ya descritas hay otro círculo metálico con igual número de aberturas que el anterior, del mismo tamaño y dispuestas de la misma manera. Las aberturas de una y otra pieza son las estremidades de conductos cilindricos oblicuos, hechos en el espesor de las paredes y dispuestos en sentido inverso como *fg* y *hk*: el eje *cd* presenta hácia su parte superior una rosca sin fin, que engrana con un sistema de ruedas dentadas, de suerte que pone en movimiento dos agujas sobre dos cuadrantes, la una que anda un grado de los ciento en que está dividida toda la circunferencia cuando el eje dá una vuelta entera, y la otra que anda uno tambien cuando la primera ha recorrido toda la circunferencia, y que de consiguiente señala cuantos centenares de vueltas ha dado el eje. Hay un aparato especial para detener cuando se quiera el movimiento de las manillas sin que pare el eje.

734. Al dar vueltas el círculo, unas veces están tapadas todas las aberturas y otras todas descubiertas, y en ambos casos el aire que venga con fuerza por la parte *b* entrará en vibracion, y de consiguiente en una vuelta entera del eje se habrán producido veinte vibraciones en el aire. Lo mismo hubiera sucedido si el círculo superior tuviese una abertura solamente, conservando las diez el inferior; y si se le practican igual número de diez, es para que el sonido producido por dichas vibraciones aumente su intensidad. Ahora bien, si se hace entrar el aire con rapidéz por la parte inferior del instrumento, se empezará á mover la lámina circular y dar vueltas el eje, y si se acelera el movimiento se oirá un sonido, que podrá compararse con uno musical que se desee observar. Habiendo conseguido que se produzca este sonido, se mantiene por algun tiempo mas, conservándole la misma velocidad al círculo y continuando la corriente de aire con la misma intensidad, para contar el número de vibraciones que se producen por ejemplo en un minuto, lo que se efectua dejando libre el mo-

vimiento de las manillas que hasta este momento habia estado detenido por el aparato que se dijo habia para este efecto, empezando á contar el tiempo desde que echan á andar y volviéndolas á detener, pasado el minuto: viendo cuantas vibraciones ha tenido el aire, se hallará partiendo despues por sesenta el número de las que producen el sonido dado. Asi se ha hallado que se necesitan 880 vibraciones por segundo para producir el *la* del diapason ordinario; y averiguando cuantas vibraciones son necesarias para los sonidos mas graves y mas agudos que la voz humana puede formar, se ha averiguado que son de 396 á 1584 por segundo en el hombre, y de 594 á 2112 en la muger.

735. *Ruedas dentadas de Savart.* Puede concebirse con facilidad la disposicion de este aparato, imaginándose una rueda movida con un manubrio, por la circunferencia de la cual pasase una cadena sin fin, que fuese á parar al eje de una rueda dentada; y que se acerque un naípe á los dientes de ella. Dando vueltas con rapidéz al manubrio, se logrará que estos dientes pasen por el filo del naípe con gran velocidad, y produzcan un sonido musical, tanto mas agudo cuanto mas rápido es el movimiento, de consiguiente se puede averiguar cuantos son los dientes que han pasado en un segundo. A cada paso de estos hay dos vibraciones, porque el naípe se dirige primero en un sentido movido por el diente y luego por su elasticidad vuelve al mismo sitio que antes ocupaba, en lo cual hay dos vibraciones.

736. Es indispensable que un cuerpo produzca cierto número de vibraciones en un segundo para que haya sonido musical perceptible por nuestros sentidos; pues si dá muy pocas, como por ejemplo cinco ó seis, ó un número muy considerable, como 60000, deja el sonido de observarse. Todavía no han podido fijar exactamente los físicos cuales son los limites del número de vibraciones para que se produzca sonido, y aun parece que no podrá nunca hacerse, porque esto depende de la organizacion particular del individuo que observa.

737. *Organo del oido.* Los anatómicos dividen este órgano en esterno, medio é interno: el primero está formado por la oreja, comparable con una trompetilla acústica, formada de una ternilla que entra facilmente en vibracion y puede dirigir los sonidos hácia el conducto auditivo esterno, que debe considerarse como la porcion angosta de dicho cornete acústico. El fondo del conducto auditivo esterno está cerrado por la membrana del tambor.

El oído medio lo forma la caja del tambor, que en la parte esterna tiene la membrana de que acabamos de hablar, la cual es algo mayor que la abertura que cierra, y de consiguiente estaria siempre relajada, á no ser por ciertos músculos que la ponen tirante cuando es necesario. Unida á ella está el mango del martillo, formándole como un radio óseo que va del centro de dicha membrana hácia su parte superior; con el martillo se articula el yunque, al cual está unido el orbicular y á este último el estribo, cuya base viene á abocarse á la ventana oval, abertura figurada así, que presenta la caja en su cara interna. Estos cuatro huesos estan pues formando como una cadena, y ponen en relacion la membrana del tambor con la ventana oval. Tambien presenta la cara interna de la caja del tambor otra abertura, llamada ventana redonda, aunque mas bien es triangular, que está cerrada por una membrana particular. En la parte posterior de dicha caja se hallan las celulas mastoideas, que contribuyen á hacer mas fuertes los sonidos.

La caja del tambor comunica con la boca por medio de la trompa de Eustaquio; por ella se renueva el aire de dicha cavidad y se establece una presión igual entre la fuerza elástica del aire de la cara externa é interna de la membrana del tímpano. Para eso es necesario que siempre esté abierta la trompa, y cuando está obstruida por mucosidades ú otra causa, se percibe un ruido desagradable ó zumbido en lo interior del oído, que desaparece de repente en el momento que se desobstruye.

El martillo y el estribo tienen músculos, los cuales relajan ó ponen tirante la membrana del tambor.

El oído interno por su complicacion ha recibido el nombre de *laberinto* y consta de tres partes que son el vestíbulo, los canales semicirculares y el caracol. El vestíbulo está separado de la caja del tambor por la base del estribo, que se aboca á la ventana oval, y por una membrana delgada y de poca estension, que va de la base de dicho hueso á la circunferencia de la ventana. Recibe tambien las estremidades de los tres conductos llamados canales semicirculares, los cuales no presentan mas que cinco aberturas para terminar allí, en vez de seis, por reunirse las estremidades de dos de ellos en una sola. El caracol tiene este nombre por estar formado en espiral como las conchas de dichos animales, y una de las estremidades de él vá á parar á la ventana redonda. Unos filamentos nerviosos, sumamente blandos y que nadan en un líquido llamado de Coturni, se distribuyen en todas estas

partes y proceden de la porcion blanda del séptimo par de nervios.

Poco se sabe de cierto sobre el modo como se efectua la audicion. Las ondas sonoras al llegar á la membrana del tímpano la hacen entrar en vibracion; mas la integridad de esta membrana no es absolutamente necesaria para oír, y aun hay personas que habiendo perdido el oído, lo han recobrado con la puntura de dicha membrana. Esta debe ponerse tirante y aflojarse por medio de los músculos que se atan á los huesos encerrados en la caja del tambor; mas tampoco está bien determinado qué condiciones ha de tener el sonido para que se ponga tenso ó se afloje, si son los graves, ó los poco intensos para los cuales se efectua el primer fenómeno. Las vibraciones de la membrana del tímpano parecen que se comunican por la cadena que forman los huesos del oído y se transmiten al interior por la base del estribo, que se aboca á la ventana oval, y por el aire de la caja misma llegan á la membrana que cierra la ventana redonda; y que estas vibraciones por el intermedio del líquido que rodea por todas partes al nervio, se transmiten hasta él y la sensacion de allí va al cerebro.

738. *Organo de la voz.* El órgano de la voz, que es la traquiarteria y la laringe, se asemeja á uno de los instrumentos de boquilla de que hemos hablado (n.º 730). La traquiarteria, conducto cilindrico cartilaginoso y membranoso, se parece al pié de dichos instrumentos, y el aire le entra á este conducto por la parte inferior, viniendo de los pulmones. El cuerpo que vibra y cuyas vibraciones producen el sonido, son los bordes libres de la glotis abertura que existe entre los pliegues músculo membranosos que forman sus bordes. Estos bordes libres pueden estar mas ó menos tensos por músculos que existen en un órgano situado encima de la traquiarteria, denominado laringe; en cuyo centro existe la glotis. La boca, la estremidad superior de la faringe y las fosas nasales deben considerarse como la parte superior de este instrumento de boquilla, y contribuyen á modificar los sonidos, especialmente los labios y los dientes. La pequeñez de la glotis debe hacer que los sonidos sean agudos, como se observa en los niños, y por el contrario su mayor estension en las personas adultas los hace graves: mas como en todas las épocas de la vida pueden aumentarse ó disminuirse sus

dimensiones, se producen los primeros cuando se aproximan sus bordes y los segundos cuando se separan mas ó menos.

Algunos fisiólogos han asimilado el sonido de la voz al que se produce con los instrumentos llamados reclamos (n.º 731); pero todavia faltan pruebas para fortificar esta opinion.

LECCION XL.

Optica.

739. Llámase óptica la parte de la física que trata de las propiedades de la luz, y es una de las mas importantes, porque proporciona á los astrónomos y á los naturalistas instrumentos para hacer con perfeccion las observaciones, y sirven sus leyes al médico para esplicar bien el fenómeno de la vision y aun algunas de las enfermedades que padecen los ojos.

740. No puede darse una definicion exacta de lo que es luz, sin embargo no se confunde con ninguna otra cosa, y sabemos ademas que un cuerpo luminoso emite luz en todas direcciones en el espacio; que una bugia encendida, colocada en medio de una habitacion, se descubre por todas partes de ella, si no hay un obstáculo que nos la tape, y que lo mismo le sucede cuando está en medio de un campo; así como tambien percibimos el sol desde la tierra, si algo no nos lo impide.

741. Llámense *cuerpos luminosos*, aquellos que despiden luz; y son en primer lugar el sol y las estrellas fijas; los cuerpos que en combustion producen llama, algunos insectos que dan luz en la oscuridad como las luciérnagas, ciertas partes de otros animales en putrefaccion, otras sustancias llamadas fosforescentes, en fin cualquier cuerpo cuya temperatura se haya elevado escesivamente; y los que estan electrizados.

742. Aquello que partiendo del cuerpo luminoso llega al objeto iluminado, se llama rayo de luz; y es fácil convencerse de que cuando el espacio por donde debe caminar es homogéneo la direccion suya es en línea recta. Asi si ponemos algo desviados entre sí tres pedazos de madera ó carton, cada uno con una abertura pequeña, de modo que estas esten en línea recta sin valernos para ello de ninguna propiedad de la luz y colocamos un objeto luminoso en una de las extremas, percibirémos bien dicho objeto situando nuestro órgano visual en la otra estrema, por haber pasado el rayo por la abertura intermedia; pero en el momento en que variémos esta última abertura, dejaremos de percibir el cuerpo luminoso.

743. No siguen este camino los rayos luminosos cuando pasan por cuerpos ó medios de distinta naturaleza; el rayo entonces se tuerce ó se refracta, lo que podemos observar fácilmente colocando una moneda en el fondo de una vasija, y situándonos de suerte que su borde nos la oculte; pues la veremos echando agua en la vasija, á causa de haberse torcido el rayo luminoso en la superficie del agua. Del mismo modo si se introduce un cuerpo cilindrico en un liquido, se observará que parece quebrado en la superficie del fluido.

744. Los cuerpos que no son luminosos son de tres clases distintas, con respecto al modo como obran en la luz, unos dejan pasar la luz y los colores; al traves de ellos pueden verse los contornos del objeto luminoso ó iluminado, y entonces se llaman *cuerpos diáfanos*: otros no dan paso mas que á la luz, sin dejar percibir la figura de los cuerpos y se llaman *translucidos*, y los restantes interceptan del todo el paso á la luz y se denominan *opacos*. Ejemplos de la primera clase de cuerpos son el vidrio, el agua, el espíritu de vino y otros líquidos, el aire &c.; de los segundos es el vidrio cuajado, el papel dado de aceite &c. y de los terceros los metales y otros muchos; pero es de advertir que la opacidad y diafanidad de los cuerpos dependen del mayor ó menor grueso de ellos, pues los cuerpos diáfanos cuando estaa en gran masa se

vuelven translucidos y aun opacos, tal es el agua en la masa que constituye los mares; y los cuerpos opacos que pueden reducirse á láminas muy delgadas como por ejemplo el oro, dejan pasar algunos rayos de luz y se vuelven translucidos.

745. Dos hipotesis hay para explicar los fenómenos luminosos llamadas una de la *emanacion* y otra de las *vibraciones*. Según la primera la luz consiste en una materia particular, sumamente sutil que emana de los cuerpos luminosos y llega hasta los otros. Si el cuerpo que la recibe es opaco toda se refleja y lo ilumina, si translucido se refleja una parte y otra penetra su sustancia, y casi toda lo penetra si fuere diáfano.

746. En la hipotesis de las vibraciones la luz consiste en una materia fluida, imponderable y sumamente sutil que está esparcida en todo el universo y que se llama *eter*, el cual entra en vibracion á semejanza del aire en lo que hemos llamado ondas sonoras, por influjo de un cuerpo luminoso, y estas ondas van á dar á otros cuerpos y los iluminan reflejándose en ellos como lo hace el sonido. Los cuerpos diáfanos permiten que este movimiento vibratorio se propague por el interior de ellos del mismo modo que hay cuerpos que tambien entran en vibracion cuando llega á ellos la onda sonora; y en los opacos no existen semejantes vibraciones.

747. Hay fenómenos en la óptica que se explican muy bien sin recurrir á ninguna de estas hipotesis, otros pueden ser explicados igualmente por cualquiera de ellas y algunos inesplicables por ambas: pero tambien hay muchos que solo se entienden perfectamente en la hipotesis de las vibraciones; por eso casi todos los físicos modernos se han decidido por esta última. Procuraremos explicar la mayor parte de los fenómenos de óptica sin hacer uso de ninguna de ellas, valiéndonos solo del principio sentado ya, de que la luz anda en línea recta, y pueden considerarse de consiguiente los rayos luminosos como líneas de esta clase.

748. *Propagacion de la luz.* De un punto luminoso parten rayos divergentes que se estienden por el espacio, según hemos dicho (n.º 740) formando una esfera, cuyo centro es dicho punto. Si parte de estos rayos vienen á dar contra un plano, se formará un cono luminoso cuya base es el plano y su vértice el punto ya dicho; y semejante cono á el cual suele llamarse *haz luminoso*, estará formado por innumerables rayos de luz, que son de consiguiente divergentes en él, ó lo que es lo mismo que se van separando cada vez mas á proporcion que los consideramos mas lejos del punto luminoso.

749. Si en un cuarto que esté completamente oscuro, hacemos una abertura pequeña circular en una ventana cerrada que dé el sol, tendremos formado el cono de que hablamos y si se coloca un cuerpo opaco á cierta distancia ó se recibe en la pared ó en el suelo de dicho cuarto, se formará un círculo ó una elipse luminosa, segun que dicho cuerpo opaco sea perpendicular ú oblicuo á el eje del cono, cortando sus dos lados opuestos; pero si el cuerpo opaco se coloca de suerte que esté comprendido todo él en el cono de luz y hay otro cuerpo opaco detras como la pared, se percibirá un espacio oscuro que se llama la *sombra* del cuerpo, rodeado de una porcion iluminada. La magnitud, figura y sitio de la sombra depende de iguales condiciones del cuerpo que la produce y ademas de la distancia que hay entre él y el sitio en donde se recibe. Asi es que se puede determinar cual sea la sombra, conociendo estas circustancias. Pues no hay mas que tirar líneas rectas que vayan del punto luminoso á toda la periferia del cuerpo é interceptar el cuerpo formado de esta suerte por el plano ó superficie que la va á recibir; y dicha interseccion será la *sombra geométrica*; dándole esta denominacion por lo que ahora diremos.

750. Si averiguada de esta suerte cual debe ser la sombra del cuerpo, se hace despues el experimento para comprobarlo, se notará que no se observa exactamente lo calculado; esto depende de un fenómeno que estudiaremos mas adelante, que consiste en que los rayos de luz varian algo de direccion al pasar por las partes mas exteriores del cuerpo y se inclinan algo hácia el eje del cono; de que resulta que hay alguna luz donde no debia haber mas que sombra, y por el contrario alguna sombra en el sitio que deberia estar completamente iluminado.

751. Aunque la sombra geométrica varie algo de la sombra fisica, sin embargo conviene averiguar cual sea la que produzcan los cuerpos en determinadas circustancias. Si en vez de un punto es un cuerpo el luminoso, deben considerarse otros tantos conos que salen del cuerpo, cuantos puntos puedan concebirse en él; y si el cuerpo luminoso es mayor que el iluminado, se formará una especie de cono que estará formado por todas las rectas que sean tangentes á ambos: el diámetro de la sombra en este caso irá siendo tanto menor cuanto mas alejemos el cuerpo que va á recibirla, hasta que por fin desaparezca; por la inversa si el cuerpo luminoso es menor que el iluminado la sombra irá siendo cada vez mayor, mientras mas alejemos la pantalla que la reciba, si los dos cuerpos son iguales se formará con los rayos luminosos una espe-

cie de cilindro , y la sombra será la misma en magnitud á todas las distancias; y si los dos cuerpos fuesen esféricos y del mismo radio, la mitad de la esfera opaca estará iluminada y la otra media sin luz.

752. Cuando es un cuerpo y no un punto el que ilumina á otro, además del fenómeno de la inversion de que hemos hecho mencion en el n.º 750, hay que atender en la sombra, que hay partes que no reciben luz de ninguno de los puntos luminosos que constituyen el cuerpo, y otros que estan colocados hácia la periferia de ella que reciben luz solamente de algunos de dichos puntos. De aqui resulta una especie de sombra menos oscura que rodea á la mas fuerte ya esplicada , que se ha denominado *penumbra*.

753. Si un cuerpo opaco está iluminado por muchos cuerpos luminosos, dará tantas sombras cuantos sean estos.

754. Hemos supuesto hasta aqui que la abertura que se habia hecho en la cámara oscura era circular ; pero si no fuese asi sino cuadrada, tambien al recibir el cono de luz en un cuerpo opaco presentaria la figura circular; porque cada rayo que sale del sol irá formando un cuadrado pequeño, pero como el sol es esférico dichos cuadrados se colocan circularmente , semi cubriéndose unos á otros hasta formar la figura circular ; y desaparecerán á nuestra vista todos los ángulos, si la distancia á que se coloca el cuerpo opaco ó la pantalla es algo considerable. Por esa razon vemos que las imágenes del sol, aunque pasen sus rayos por el intermedio de las ojas de los árboles que forman aberturas en estrecho irregulares, son circulares con tal que el suelo sea perpendicular al eje del cono luminoso ; y elípticas cuando está mas ó menos inclinado.

755. *Decremento en la intensidad de la luz en razon del cuadrado de la distancia.* Una vez que los rayos de luz pueden considerarse como rectas que salen en todas direcciones del punto luminoso, lo mismo que sucede en el calórico (n.º 406), se deduce que como en este, su intensidad debe estar en razon inversa del cuadrado de la distancia del punto luminoso al objeto iluminado. Mas esto supone que el aire, ó el medio por el cual pasa la luz , no disminuye en nada su intensidad ; lo cual está lejos de verificarse.

756. Además de la distancia, depende la intensidad de la iluminacion de un cuerpo. 1.º De que sea uno ó muchos los puntos luminosos de que reciba luz y de consiguiente la magnitud del cuerpo luminoso, si él es transparente; y de su superficie si es o-

paco. 2.º de la cantidad de luz que tiene cada punto luminoso. 3.º de la situacion del plano iluminado con respecto á la direccion de los rayos luminosos que caen sobre él, ó lo que es lo mismo del ángulo que forman dichos rayos luminosos con el plano. La luz tendrá la mayor intensidad posible cuando estos ángulos sean rectos.

757. Llámase *photometria* el modo de medir la intensidad de la luz, ó mejor dicho de comparar entre sí las intensidades de varias luces; para lo cual hay diversos medios y entre ellos uno de los mas sencillos consiste en poner un cuerpo opaco de pequeñas dimensiones, cercano á una pared ó pantalla blanca; y colocar las luces cuyas intensidades queremos medir de tal suerte, que las sombras que produzca el cuerpo esten próximas entre sí; y que nos parezcan del mismo tinte negro, alejando ó aproximando del cuerpo las luces para conseguirlo; valiéndose ahora de la ley referida de que la intensidad de la luz está en razon inversa del cuadrado de la distancia y observando las distancias respectivas de cada luz al objeto, es fácil deducir la intensidad: asi la que produce el mismo efecto á una distancia cuatro veces mayor que otra, será doble mas fuerte.

758. *Velocidad de la luz.* Tan rápidamente llega la luz de un punto luminoso á nuestros sentidos, que antes se creia que este movimiento era instantáneo. Mas haciendo observaciones descubrió un astrónomo llamado Roemer, que tardaba algun tiempo en llegar la luz desde los satélites de Júpiter á la tierra, que unas veces está mas cerca y otras mas lejos de ellos. Estos satélites se eclipsan detras de su respectivo planeta; y por el cálculo se halla cuanto tiempo tardan en verificarse estos eclipses; mas por la observacion unas veces se anticipan, otras se retardan; y siempre la anticipacion corresponde con la proximidad del satélite á la tierra y viceversa. De esta suerte se infiere (aunque no podemos entrar en esos cálculos) que se ha podido averiguar cual es la velocidad de la luz; y resulta ser de mas de setentamil leguas por segundo. Comparándola con la del sonido, se halla que está en la razon de 976.000 á 1 próximamente, de que se deduce que á cortas distancias y cuando se va á comparar con esta última velocidad, puede considerarse cualquier fenómeno luminoso como instantáneo. Para poder formarse idea de la enorme velocidad de la luz, suelen compararla los físicos con otros fenómenos que son mas conocidos. Asi por ejemplo, sabida la distancia que hay de la tierra al sol y la velocidad con que sale una bala de la boca del cañon, es

fácil calcular que si conservase siempre igual velocidad, necesitaría la bala mas de 17 años para llegar á la superficie del sol, y la luz recorre este espacio en ocho minutos y medio. En un abrir y cerrar de ojos podria la luz dar la vuelta á la tierra, cuando el pájaro de vuelo mas veloz, tardaria cerca de tres semanas &c.

LIZ JUIII

Capítulo

LECCION XLI.

Catóptrica.

759. Llámase *catóptrica* la parte de la óptica que trata de los fenómenos de la reflexion de la luz y de las aplicaciones de las leyes con que se refleja.

760. Del mismo modo que el sonido, y los cuerpos elásticos, se refleja la luz cuando va á dar en un cuerpo opaco; y por esa luz reflejada podemos distinguir los cuerpos que no son luminosos por sí mismos.

761. Un cuerpo que fuera perfectamente diáfano, dejando pasar toda la luz por lo interior de su sustancia, no debia reflejar ninguna y seria para nosotros enteramente invisible: esto se observa solo en los cuerpos diáfanos gazeosos, cuando estan en corta cantidad; mas si hay mucha, como por ejemplo la gran porcion de aire que constituye la atmósfera, ya refleja alguna luz y nos hace la impresion del color azulado que llamamos cielo.

762. Cualquier cuerpo cuya superficie está muy lisa y pulida se llama en óptica un *espejo*. Se dividen en planos y curvos según la figura de su superficie; y estos últimos se subdividen en cóncavos y convexos. Esta concavidad y convexidad ó esta curvatura puede ser de mil maneras, como parabólica, elíptica &c.; pero á causa de la dificultad de espresar las leyes de la reflexión de la luz en muchos de estos espejos, solo consideramos los cóncavos y convexos referentes á la superficie esférica.

763. Los espejos que sirven para las experiencias de catóptrica son la superficie superior de los líquidos, especialmente del mercurio; los metales muy pulidos como el acero; el vidrio que tenga una de sus caras cubierta con una amalgama de mercurio y estaño; mas aunque este último es el mas comunmente empleado para los usos de la vida, no es muy conveniente para los experimentos, por tener dos superficies que reflejan, una la que no tiene amalgama y otra la amalgamada.

764. *Leyes de la reflexión de la luz.* 1.^a *El ángulo incidente y el de reflexión estan en un mismo plano.* 2.^a *El ángulo de incidencia es igual al de reflexión.* Es necesario entender primero lo que quieren decir estas leyes y despues explicaremos el modo de comprobarlas, tanto en los espejos planos como en los cóncavos y convexos. Supongamos primero que la reflexión se haga sobre el plano *ab* (fig. 320) y que el punto luminoso esté en *c*; el rayo que vaya de *c* á *d* se llama *rayo incidente*, y la perpendicular al plano *ab* en dicho punto *d* como la *dn*, *normal* á dicho plano; el ángulo *cdn* es el *ángulo incidente*. Suponiendo que el rayo de luz se refleje, siguiendo la dirección *dr*, á esta línea se llama *rayo reflejo* y al ángulo *rdn*, *ángulo de reflexión*. Este ángulo está en el mismo plano que el anterior y esa es la primera ley; el ángulo $cdn = ndr$ es la segunda.

765. Si la superficie sobre la cual se hace la reflexión es curva, se llama normal la perpendicular al plano tangente tirado al punto en que el rayo incidente cae sobre la superficie, y las otras denominaciones se quedan iguales á las de la reflexión sobre los espejos planos: así si *ab* (fig. 321) es la superficie curva y *c* el punto en donde cae el rayo incidente *ic*; tirando por dicho punto un plano tangente *df* y levantando en *c* una perpendicular á dicho plano, tendremos la normal *cN*; *icN* es el ángulo de incidencia y *Ncr* el de reflexión.

766. Para comprobar las leyes dichas, hay un aparato compuesto de un círculo de metal ó de madera *ab* (fig. 322), gradua-

do en 360 partes iguales y movable por su centro c , sobre un eje vertical que le sirve de pié, cg ; á los lados de dicho centro hay dos especies de medios canales, que se miran uno á otro, donde se introducen sucesivamente láminas metálicas planas, cóncavas y convexas, que van á servir de espejos. En la circunferencia hay una pieza movable f , que puede adaptarse en cualquier sitio de ella por medio de un tornillo que la sujeta: dicha pieza presenta un cilindro hueco, por donde entra el rayo de luz en tal direccion que va á dar en el centro del espejo; en h hay una pantalla donde se recibe el rayo despues de la reflexion; y es fácil comprobar de este modo que los ángulos de incidencia y de reflexion fed ; dch estan en un mismo plano y son iguales; y que no varia esta ley cuando se sustituye al espejo plano, uno cóncavo ó convexo.

767. *Consecuencias de las leyes de la reflexion en los espejos planos.* Una vez que el ángulo de reflexion es siempre igual al de incidencia, se infiere que si son muchos los rayos que se reflejan, que el espejo es plano y que dichos rayos son paralelos, conservarán el paralelismo despues de la reflexion y que los convergentes y divergentes conservarán su convergencia ó divergencia.

768. Si a (fig. 323) es un punto luminoso, de él saldrán una infinidad de rayos divergentes ab , ac , ad , af , que irán á parar al espejo plano gh y despues se reflejarán; mas si nos colocamos en un sitio tal como m á observarlos, todos los que nuestra vista pueda percibir nos parecerá que proceden de un punto a' , que está en la perpendicular tirada por el punto a al espejo gh y á una distancia ra de dicho espejo, igual á la que hay de a al mismo cuerpo. Fácil seria demostrar esto por geometria, pero sin detenernos en ello diremos que la imágen del punto a se ve detras del espejo en el sitio indicado, y ciertas causas de que hablaremos en adelante, nos hacen conocer que dicha imágen no es el verdadero punto luminoso.

769. Si en vez de un punto fuese un cuerpo luminoso, diriamos lo mismo de los rayos que salen de cada punto del cuerpo, y de consiguiente veremos detras del espejo la imágen de todo el cuerpo, con la única diferencia de ser simétrica con él, esto es, que la parte derecha del objeto se ve á la izquierda en la imágen, y viceversa. De consiguiente los objetos verticales como los árboles, los hombres &c. deben aparecer en un espejo horizontal, verticales tambien, pero con las copas y las cabezas hácia bajo; asi es como se ven los barcos, los edificios &c., en el agua. Tambien se deduce que en un espejo plano que esté inclinado con el horizonte en

45.º, los objetos que estan verticalmente situados deben aparecer horizontales y viceversa; pero cuando se observa un hombre que está en pié con un espejo colocado del modo dicho, aunque lo vemos horizontal, no podemos nunca figurarnos que esté acostado, porque la contraccion muscular necesaria para mantenernos de pié ocasiona cierta figura en nuestros miembros, tan distinta de la que tienen cuando hay relajacion, que no nos podemos equivocar.

770. Cuando hay un cuerpo colocado entre dos espejos planos, se percibe en cada uno de ellos una serie de imágenes que pueden distinguirse muy bien haciendo que el cuerpo sea una luz cualquiera. Depende esto de que las formadas en uno de los espejos se reflejan en el otro. Sean por ejemplo *ab*, *cd* (fig. 324) los dos espejos planos, *m* un punto luminoso colocado entre ellos. Se formará primero una imagen en *n* por la reflexion sobre el espejo *cd*; siendo $mr = rn$; y otra en *s* por la reflexion sobre el espejo *ab*; pero *n* se refleja ahora sobre *ab*, y produce una imagen *n'*; asi como *s* lo hace tambien sobre *cd* y produce *s'* &c.: Para distinguir bien cuales son las imágenes producidas por la reflexion de otras, el mejor medio es colocar en *m* un cuerpo con dos caras de distinto color, una verde que mire al espejo *cd* y otra amarilla que corresponda al *ab*; pues entonces veremos que *n* es verde por ser la imagen de aquella cara del cuerpo, *s'* amarilla &c.; *s* es amarilla, *n'* verde &c.

771. Si los espejos planos en vez de ser paralelos forman un ángulo, se multiplican las imágenes de un cuerpo colocado entre ellos, tanto mas cuanto menor es el ángulo: asi si los dos espejos forman entre sí un ángulo de 90.º ó la cuarta parte de la circunferencia, se percibirán cuatro imágenes; si el ángulo es la quinta, sexta, séptima parte &c. de dicha circunferencia el número de imágenes será cinco, seis, siete &c.

772. Por lo demás las imágenes no tienen la misma intensidad de luz que el cuerpo, pues para eso era preciso que los espejos estuviesen perfectamente bruñidos; á fin de que no se perdiese ninguna luz en la reflexion. Esto último nunca sucede, pues por pulido que esté un espejo si lo colocamos en medio del suelo de una cámara oscura, y hacemos que sobre él caiga un rayo de luz, notaremos que aunque la mayor parte de ella sigue el camino enuuciado por la ley de la reflexion, hay ademas otros rayos que se reflejan en todas direcciones y que hacen que podamos percibir el sitio de la reflexion del rayo, desde cualquier punto de la cámara; lo cual seria imposible si no fuese por estos rayos reflejados irre-

gularmente por las eminencias y cavidades que siempre tiene el cuerpo.

773. *Reflexion de la luz en los espejos esféricos cóncavos y convexos.* Ya hemos sentado (n.º 765) el principio fundamental de la reflexion en superficies curvas; pero en la esfera el problema se simplifica mucho, por la facilidad de hallar cual es la normal de cualquier punto de la superficie. En efecto dicha normal es el radio ó la recta que va del centro al punto de la superficie que se considera.

774. Si la direccion del rayo incidente en el espejo esférico es la del radio, despues de la reflexion retrocede el rayo por el mismo sitio por donde vino.

775. *Reflexion sobre los espejos esféricos cóncavos.* Sea *abd* (fig. 325) el espejo cóncavo, esto es, que está pulido por la porcion que en toda la esfera hueca de que podemos suponer que formaba él parte, correspondia hácia el centro: y sea *c* el centro de dicha esfera. Llámase *abertura del espejo* el ángulo *acd* formado por dos radios tirados á los puntos opuestos del borde del espejo; la línea *ad* se llama el *diámetro*, *bc* el *eje* del espejo; el punto *b* es su *centro de figura*.

776. Todos los rayos que son paralelos al eje, como el *mn* despues de reflejarse en el espejo cóncavo esférico cortan al eje *bc*. Para averiguar cual será la direccion del rayo reflejo, no habrá mas que tirar el radio *nc*, que segun hemos dicho será la normal, y formar al otro lado de ella un ángulo *cnr* igual al *mnc*. Si los rayos incidentes paralelos estan muy cerca del eje, cortan á este casi en el mismo punto todos; y á ese punto, no matemático, en que se reunen se le da el nombre de *foco del espejo*. Tal es por ejemplo *f* y á la distancia *fb* se llama *distancia focal*. Es fácil hallar este foco; no hay mas que averiguar cual es el punto en que corta al eje un rayo reflejo que provenga de un incidente paralelo al eje y muy próximo á él. Y como todos cortarán al eje próximamente en el mismo sitio, aquel punto de interseccion será el foco.

777. Como los rayos solares vienen de una distancia tan inmensa, cual es la que hay de la tierra al sol, pueden considerarse como paralelos, cuando se observa solo la porcion comprendida en el espejo; por eso disponiendo adecuadamente este, se conseguirá que dichos rayos sean paralelos al eje, y se unirán todos en el foco, produciendo en dicho sitio un calor sumamente intenso, capaz de encender los cuerpos combustibles.

778. Por el cálculo y por la esperiencia resulta que en los

espejos de que hablamos el foco está situado en la mitad del eje; y puede hacerse el experimento con los mismos rayos del sol, colocando un pedazo de papel pequeño (á fin de que no intercepte muchos rayos incidentes) en dicho sitio, pues se verá que se inflama con gran facilidad.

779. No solamente los rayos que son paralelos al eje, sino todos los demas que sin tener esta propiedad son paralelos entre sí, al caer en el espejo cóncavo se reflejan de suerte que todos se cortan en el mismo punto y á una distancia del espejo igual á la distancia focal principal; mas no se interceptan en un mismo punto del eje, sino en una parte contraria con respecto á él de aquella en que estaban antes de la reflexion; así los rayos paralelos ab , dg (fig. 326) que están situados encima del eje se reúnen debajo de él en el punto f , y la distancia fc es igual á la mitad del radio.

780. Una vez que los rayos paralelos convergen cuando se reflejan sobre un espejo cóncavo, los que son convergentes deben aumentar la convergencia, y disminuir la divergencia los que sean divergentes; y estos últimos pueden hacerse paralelos ó aun convergentes, despues de la reflexion. Si el punto de que emanan los rayos es el mismo foco, despues de la reflexion se harán paralelos. Si la distancia del punto luminoso al espejo es mayor que la que hay de este al foco, se harán convergentes; si dicha distancia es menor, permaneceran divergentes, aunque menos que lo estaban.

781. Si los rayos que salen de un punto luminoso y que se reflejan en un espejo cóncavo, se reúnen en un sitio, se formará en él la imagen del punto luminoso; lo que podrá observarse colocando allí una pequeña pantalla: la mejor en este caso es un pedazo de vidrio deslustrado.

782. Si nos dan la posicion del punto luminoso relativamente al espejo, será fácil hallar el sitio de la imágen. Sea por ejemplo abd (fig. 327) el espejo cóncavo, c su centro de curvatura ó el centro de la esfera de que forma parte, m el punto luminoso; tiro la recta mc y la prolongo hasta el espejo; el rayo de luz que siguiera esta direccion deberia volver por la misma recta despues de reflejado, tiro otro rayo cualquiera mg , y busco como se reflejará este, lo que se hallará fácilmente formando un ángulo igual al incidente mgc , cual es el cgh ; este punto h , interseccion de los dos rayos luminosos, será donde se forma la imágen del punto m .

783. Lo mismo se puede hacer con respecto á un cuerpo, pues no es mas que una porcion de puntos luminosos; así si que

remos averiguar cual será la imágen que la flecha ab (fig. 328) producirá en el espejo mns , siendo c el centro de dicho espejo, no habrá mas que tirar la acd y la ag , esta última arbitrariamente, y formar el ángulo $cga' = cga$; a' será la imágen de a ; haciendo igual construccion con respecto á b , hallaremos su imágen b' y de consiguiente la imágen de la flecha será $a'b'$, siempre invertida, esto es, lo que estaba colocado en la parte superior, ahora está en la inferior y viceversa; y en este caso mas pequeña que el cuerpo.

784. *Consecuencias.* De los principios sentados relativamente á los espejos cóncavos esféricos es fácil deducir, que si el objeto está entre el foco y el espejo, los rayos se cruzarian detrás del espejo, si se prolongase la direccion que llevan despues de la reflexion; y el sitio donde esto se verificaria se llama *foco virtual*. Si el objeto está en el foco, como los rayos despues de la reflexion son paralelos, y de consiguiente nunca se cortan, no hay imágen. Si está entre el foco y el centro de curvatura del espejo, la imágen aparece delante del centro, inversa y mayor que el objeto, y tanto mayor cuanto mas cerca está dicho objeto del foco. Estando colocado el objeto en el centro, la imágen aparece en el mismo centro, en posicion inversa y del mismo tamaño que el objeto. Si el cuerpo está colocado á gran distancia del espejo, aparece la imágen menor que él, invertida y casi en el foco. Todos estos fenómenos son muy fáciles de comprobar, valiéndose de la luz de una bujía y recibiendo su imágen en un pedazo de vidrio estrecho, cuya estremidad se haya deslustrado con arena.

785. Los cuerpos cuyo centro están en la misma linea recta que el del espejo, producen en él una imágen perfecta, aunque de distinta magnitud, si la abertura del espejo es de pocos grados: si tiene muchos hay confusion en las imágenes; y á esto se ha llamado *aberracion de esfericidad*.

786. *Reflexion en los espejos esféricos convexos.* Todos los rayos paralelos al eje que van á dar en la superficie de un espejo convexo, divergen despues de la reflexion como si todos salieran de un punto situado detrás del espejo, sobre la prolongacion del eje. Sea por ejemplo el espejo convexo abc (fig. 329); bgh su eje; $mn, m'n'$ rayos paralelos al eje. Si g es el centro de la figura del espejo, tiremos los radios gm, gm' , que serán las normales, y prolongándolos d, m, n , d', m', n' será los ángulos de incidencia, $mr, m'r'$ los rayos reflejados, los cuales si se prolongasen irian á parar al punto f , detrás del espejo. Este punto, donde se cortarian los rayos si idealmente se prolongasen, y que está en el eje, es á lo que se ha llamado *foco virtual*.

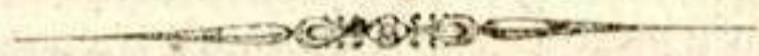
787. Asi como en el espejo cóncavo los rayos paralelos entre sí, aunque no lo sean al eje, se hacen convergentes despues de la reflexion (n.º 779), asi en el espejo convexo todos los rayos paralelos entre sí, se vuelven divergentes despues de la reflexion.

788. Los rayos divergentes al dar en un espejo convexo divergen mas despues de la reflexion. Los convergentes pueden salir paralelos, si su direccion es tal que prolongados vayan todos á pasar por el foco virtual; pero en general ó salen divergentes ó disminuyen su convergencia.

789. Con respecto á las imágenes que dichos espejos producen, pueden espresarse las condiciones de ellas en estas palabras. En un espejo convexo, cualquiera que sea la posicion del objeto, la imagen aparece detras del espejo; nunca está invertida, es menor que el objeto y tanto menor, cuanto mas pequeño es el radio de la convexidad del espejo. Nunca es mayor la distancia que hay desde la imagen aparente á la superficie del espejo, que la mitad del radio correspondiente á la convexidad de dicho espejo. A no ser que el objeto tenga su centro en la misma línea que el espejo, la imagen está siempre algo torcida.

790. *De los espejos cilindricos y cónicos.* Estos espejos producen efectos, que en parte son como los de los planos y en otra como los de los curvos, cóncavos ó convexos, segun la figura que los cilindricos ó cónicos tengan, pues es evidente que pueden ser unos y otros, los cilindricos y los cónicos, cóncavos ó convexos.

791. Las imágenes en estos espejos presentan la particularidad de ser semejantes y de las mismas dimensiones que los objetos en ciertos sentidos; y aumentadas ó disminuidas en otros: mas como apenas tienen uso en la práctica, bastan las pocas palabras que hemos mencionado sobre este asunto.



LECCION XLII.

Dióptrica.

792. Según indicamos en el número 743 cuando la luz atraviesa medios heterogéneos, esto es, cuando los rayos de luz pasan del aire al agua ó al vidrio; de este al agua &c. se separan de la dirección que traían; y á esto se ha dado el nombre de *refracción*. Así si suponemos que *ab* (fig. 330) sea el nivel de una cantidad de agua contenida en una vasija, y que *cd* sea un rayo de luz que venga atravesando por el aire, al pasar por el agua no seguirá dicho rayo la *dg*, prolongación de la *cd*; sino que se desviará de dicha dirección tomando la *dh*: si en el punto *d*, tiramos una perpendicular á la superficie de nivel del agua, como la *mn*, esta será la *normal*, el rayo *cd* se llamará *rayo incidente* y el *dh* *rayo refracto*, el ángulo *cdm*, formado por el rayo incidente con la parte de normal *dm*, ángulo de *incidencia*, y el *hdn*, que está formado por el rayo refracto *hd*, con la parte de normal *dn*, ángulo de *refracción*. Si ha-

ciendo centro en d con un radio cualquiera se describen los arcos de círculo st , gl , que corten á los rayos incidente, refracto y á la normal ó á sus prolongaciones, y desde los puntos t y g se bajan las perpendiculares tz , gx á la normal, se dá el nombre de *seno del ángulo de incidencia* á la recta tz y *seno del ángulo de reflexion* á la gx . Esta refraccion se llama *simple*, para distinguirla de otro modo de refractarse la luz denominado *doble*, de que se hablará mas adelante.

793. *Leyes de la refraccion simple.* Si un rayo de luz pasa oblicuamente de un medio poco denso á otro que lo es mas, en general se aproxima á la normal, ó lo que es lo mismo el seno del ángulo de incidencia es mayor que el de refraccion; y por el contrario es mayor este último seno, ó el rayo se desvia de la normal si pasase oblicuamente de un medio denso á otro que lo sea menos. Asi al pasar del aire al agua se aproxima á la normal el rayo, y se separa al pasar del agua al aire.

794. *El ángulo de incidencia y el de refraccion estan en un mismo plano.*

795. Si ambos medios permanecen constantes, como por ejemplo aire y agua, el seno del ángulo de incidencia está siempre en la misma razon con el seno del ángulo de refraccion, cualquiera que sea la oblicuidad del rayo incidente. Asi si el rayo pasa del aire al agua siempre es el seno del ángulo de incidencia al de refraccion como 4 á 3; y viceversa de 3 á 4 si pasa del agua al aire. Entre el aire y el vidrio dicha razon es de 3 á 2. Al cociente que resulta de partir el seno del ángulo de incidencia por el de refraccion se llama *indice de refraccion*, el cual segun acabamos de ver será $\frac{4}{3}$ para el aire y el agua, y $\frac{3}{2}$ para el aire y el vidrio.

796. Hemos tenido cuidado de indicar que las leyes de la refraccion se verificaban en general segun la mayor ó menor densidad de los medios; porque no es exacto decir que siempre siguen esta ley. En efecto aunque el agua es mas densa que el alcohol, el rayo de luz se aproxima á la normal cuando pasa del primer cuerpo al segundo, siendo asi que debia suceder lo contrario; del mismo modo el espiritu de trementina tiene mayor fuerza refringente que el agua. Parece que en general cuando un cuerpo es muy combustible, la fuerza refringente es considerable y mayor que la que correspondia á su densidad. Por esta observacion dedujo Newton que el diamante debia ser muy combustible, lo cual ha sido confirmado despues por los experimentos de la química.

797. Si un rayo cae perpendicularmente sobre la superfi-

cie de separacion de los dos medios, no se refracta; sino que sigue en la misma direccion atravesando el segundo medio.

798. *Del ángulo limite.* Sea ab (fig. 331) la superficie de separacion de dos medios, del aire situado en C y del agua en D por ejemplo: si consideramos el rayo ms , que forma con la normal ns un ángulo muy próximo á 90° , hallarémolos que se refracta segun la direccion st , aproximándose á la normal, como hemos indicado; y por la inversa, si saliese del agua en la direccion ts , tomaria en el aire la sm , pues es de observacion que la luz sigue exactamente el mismo camino del primer medio al segundo, que del segundo al primero, con tal que se conserven iguales las respectivas inclinaciones de los rayos. Si fuese otro rayo como ts , el que saliese del agua, su direccion en el aire seria la sm' , no presentando dificultad alguna la salida de los rayos comprendidos entre ts y la parte de normal sn' . Mas por el contrario si quisiéramos averiguar como podria salir un rayo tal como $t''s$, algo separado de ts y que forma con la normal sn' un ángulo mayor que el formado por la ts , verémolos que es imposible que lo efectuara por encima de sm , ni en la direccion sb , pues este está mas próximo á sm que lo correspondiente á la ley que debe seguir la refraccion; y asi lo que la esperiencia enseña que hace el rayo, es reflejarse como si ab fuese un espejo, formando el ángulo de reflexion $t'''sn'$ igual al de incidencia $t''sn'$. En este caso no sucede como en los otros espejos que se pierde una parte de la luz, dirigiéndose en otras direcciones; sino que toda se refleja; por lo cual se ha dado á este fenómeno el nombre de *reflexion total*; y el ángulo Rsn' , formado por la normal sn' y un rayo Rs , que supoadrémolos se refracte siguiendo la direccion sb , se le denomina *ángulo limite*; los rayos que se separan mas que él de la normal se reflejan en vez de refractarse. De aqui se infiere que si toda la superficie del agua tuviese una cubierta, escepto un agujero colocado en s , no se verian aplicando la vista á dicha abertura mas que los cuerpos colocados en el espacio RsR' . La esperiencia se hace de esta suerte: ab (fig. 332) es un cajon de madera, que en su fondo y cerca de c tiene una abertura, por donde pasa un tubo de vidrio abierto por su parte superior é inferior y unido á los bordes de la abertura, á fin de que no pueda salir liquido alguno del que se echa en el cajon: en cierta altura de lo interior de dicho tubo se coloca una luz: la parte opuesta del cajon bg tiene su cara de vidrio, á fin de poder mirar desde alli el nivel del liquido, este llena completamente el cajon y puede variarse segun se quiera; supongamos que sea agua: u-

na tabla $ahkl$ sirve de tapadera movable y cuando su borde hl está de suerte que la recta cm tirada desde la luz á la mitad del borde, forma con la normal mn un ángulo igual al que hemos llamado ángulo límite para el aire y el agua, ya no es posible divisar la luz en toda la porción hgl : se divisa sí el resplandor que comunica á las moléculas de agua que están próximas: si nos ponemos á mirar en x hácia el nivel del líquido, hallaremos la imagen de la luz en m , como si allí hubiese un espejo plano; y es fácil convencerse de que el ángulo xmn es entonces igual al emn , como sucede en los espejos.

799. Si muchos rayos paralelos pasan de un medio á otro heterogéneo, separados por una superficie plana, despucs de la refraccion conservarán su paralelismo; puesto que la relacion que hay entre los ángulos de incidencia y de refraccion es igual para todos: asi ad , bf , cg (fig. 333), se refractarán siguiendo las direcciones paralelas dh , fk , gl .

800. Los rayos divergentes divergen menos si pasan de un medio menos refringente á otro que lo sea mas; lo inverso sucede en el caso contrario; esto es, si pasan de un medio mas refringente á otro que lo sea menos. Asi se pueden explicar muchos fenómenos que dependen de la refraccion de los rayos de luz en medios que están separados por superficies planas. Los mas consisten en que un punto luminoso ó un objeto cualquiera aparece mas cerca de la superficie refringente cuando pasa la luz en direccion oblicua de un medio refringente á otro que lo es menos. Asi en la figura 334 el punto a , que está en el fondo de una vasija llena de agua hasta cd , aparecerá como situado en a' al que lo mire en g . De eso depende el que el fondo de una vasija que está lleno de agua aparece mas alto que antes de llenarse: que una moneda que estaba oculta por el borde de la vasija vacía se vea cuando se llena de liquido; que un palo introducido verticalmente en una porcion de agua parezca mas corto que antes de su introduccion; que si es oblicuamente como se ha entrado el palo en el agua, la parte sumergida no aparezca en la misma direccion que la restante, sino quebrada y mas alta &c.

801. No solo parece el objeto mas cerca, cuando los rayos de luz para venir de él á nuestro órgano de la vista, tienen necesidad de atravesar de un medio mas denso á otro que lo es menos, sino que tambien nos parece aumentado en su volumen.

802. *De los prismas.* Dos caras pulidas é inclinadas entre si que terminan un medio diáfano, es lo que en óptica se llama

prisma; y la línea de union de estas dos caras ó el vértice del ángulo diedro que forman, toma el nombre de *vértice del prisma*; y *base* es un plano cualquiera opuesto al vértice; *ángulo refringente del prisma* es el formado por las dos caras, ó la medida del ángulo dicho indicado; en fin llámase *seccion principal* una cualquiera hecha en un plano perpendicular al vértice.

803. Los prismas mas comunes son de cristal, de la forma que el nombre indica y triangulares; y segun la especie de triángulo que resulte, haciendo en ellos idealmente la seccion principal, asi se denominan *equilateros, isosceles, escalenos &c.*

804. Sea *abc* (fig. 335) la seccion principal de un prisma: si un rayo de luz entrase por un punto de la cara *ac* y saliese por otro de la *ab*, el ángulo *bac* seria el refringente del prisma; asi como seria *c*, si las caras por donde pasase el rayo fuesen las *ac*, y *bc* &c. Si suponemos que un rayo de luz, como el que se recibe por la abertura estrecha de una cámara oscura, llegase á la seccion *abc* del referido prisma, estando comprendido en el mismo plano de dicha seccion, continuará en él y saldrá por la otra cara, si se lo permite el tamaño del ángulo de refraccion. Por eso no hay nunca que considerar mas que un triángulo en vez de un prisma para determinar en que direccion se refractará el rayo, y como saldrá, ó cual será su *emergencia*, segun se dice en óptica.

805. Conocido el índice de refraccion (n.º 795) para el aire y el cristal es fácil ver cual debe ser la direccion que siga el rayo *mn* despues de las dos refracciones que tiene que experimentar, esto es la primera en la cara *ac* viniendo del aire al atravesar el cristal, la segunda al pasar del cristal al aire por la cara *ab*: asi tirando la normal *rs*, en el punto *n* á dicha cara, veremos que el rayo no continua por la prolongacion de la *mn*, sino que se aproxima á la normal *rn*, siguiendo la *nt*; teniendo los senos de los ángulos *snm* y *tnr* la relacion espresada por el índice de refraccion correspondiente. Al llegar el rayo *tn* á la cara *ab* tampoco seguirá la línea de puntos, que es su prolongacion, sino que como pasa del cristal al aire se separará de la normal *tz*, tirada en el punto *t* á la cara *ab* y saldrá en la direccion *tq*. Como nosotros juzgamos siempre de la posicion de un objeto, suponiéndolo en la prolongacion del rayo luminoso que de él recibimos, resulta que el que estuviese mirando desde *g* al objeto *m*, lo juzgaria situado en *m'*, esto es separado de su verdadera posicion y levantado hácia el vértice del prisma. Tambien lo veria con una porcion de colores como los del arco iris, de cuyo fenómeno nos ocuparemos mas adelante.

806. *Condiciones de la emergencia en los prismas.* No todos los rayos que entran por una de las caras del prisma experimentan la emergencia por la refracción, pues algunos se reflejan en totalidad; y para conocer cuales son estos hay que atender 1.º á la naturaleza de la sustancia del prisma, con el fin de averiguar cual es el ángulo límite entre el aire y aquella sustancia; pues varia según las diversas calidades del vidrio: 2.º á la dirección que llevan los rayos con respecto á la primera cara del prisma que han de atravesar. 3.º al ángulo refringente del prisma.

807. Si el ángulo refringente del prisma es doble del ángulo límite, ninguno de los rayos que entran por la primera cara del prisma saldrá por la segunda. Si el ángulo refringente es igual al ángulo límite, todos los rayos que caen entre la normal y la base del prisma pueden emerger por la segunda cara, pero no los demás. En fin si el ángulo refringente es menor que el ángulo límite, muchos de los rayos recibidos en la primera cara, entre la normal y el vértice, salen por la segunda cara y otros no.

808. *De las lentes.* Llámense así unos cuerpos de vidrio que tienen una ó dos caras formando parte de una superficie esférica cóncava ó convexa.

809. Hay dos especies de lentes, unas *convergentes* y otras *divergentes*. Las primeras son mas gruesas en su parte media que en su borde circular; y por la inversa las segundas. Las convergentes se subdividen en *biconvexa* como *a* (fig. 336), formada por dos superficies convexas: *plano convexa* como la *b*, de cuyas caras una es plana y la otra convexa; y el *menisco convergente c*, que tiene una de sus caras cóncavas y la otra convexa, pero que el radio de curvatura de la parte convexa es menor que el de la porción cóncava. Las lentes divergentes se subdividen en otras tres, la *bicóncava a* (fig. 337) ó cuyas dos superficies son cóncavas, la *plano cóncava b*; en que una de ellas es plana y la otra cóncava, y el *menisco divergente c*, que tiene cóncava una de sus superficies y convexa la otra como en el menisco convergente; pero que se diferencia de él, en que el radio de curvatura de la convexidad es mayor que el de la concavidad.

810. Llámase eje de una lente la línea que pasa por el medio de ella y es perpendicular á ambas caras, como por ejemplo la *mn*, en las figuras 336 y 337.

811. *Propiedades de las lentes convergentes.* Todos los rayos incidentes que están próximos al eje de la lente, se refractan

de tal suerte que despues de la emersion si estan muy próximos entre sí, cortaran al eje casi en el mismo punto. A ese punto se le dá el nombre de *foco de la lente*; y al espacio que media entre él y la lente, el de *distancia focal*.

Sea por ejemplo *ab* (fig. 338) una lente biconvexa, *dg* el eje, *hk*, *lm*, rayos paralelos á dicho eje; el rayo *gn* que entra en la lente perpendicular á una de sus caras, sale del mismo modo sin experimentar refraccion alguna en la direccion *zd*. Para averiguar el camino que seguirá el rayo *hk*, sea *c* el centro de curvatura de la superficie convexa *anb*; *ch* será la normal á dicha superficie, *ohk* el ángulo de incidencia; el rayo refracto deberá aproximarse á la normal, por pasar la luz del aire al vidrio, sea *hp* dicho rayo; para averiguar cual es el rayo emergente, suponiendo que *c'* es el centro de curvatura de la superficie *azb*, habrá que tirar la normal *c'p*, y *hp* debe considerarse ahora como rayo incidente, con respecto á la superficie *azb*; mas como dicho rayo pasa ahora del vidrio al aire, en vez de seguir la misma direccion que traia, y que está señalada con puntos en la figura, se alejará de la normal, como la *pf*, y cortará al eje en el punto *f*: lo mismo le sucedera al rayo *lm*, que es paralelo al primero y equidistante del eje; pero otros que sean tambien paralelos al eje y no disten mucho de él, si no lo cortan exactamente en el punto *f*, lo harán en un sitio muy próximo.

812. El foco y la distancia focal se hallan fácilmente por el cálculo y aun gráficamente; pero tambien se puede averiguar con la experiencia de recibir rayos del sol que caigan perpendicularmente sobre una de las caras de la lente; pues como segun hemos visto (n.º 777) dichos rayos pueden considerarse como paralelos; y como los ponemos ahora paralelos al eje de la lente se reunirán en un punto del eje que será el foco, y alli producirán un círculo pequeño sumamente luminoso, que se agranda y no ilumina tanto cuando se considera antes y despues de dicho foco. Un papel, un vidrio deslustrado, pueden servir para recibir la imágen del sol; y se observa que en dicho punto el calor se aumenta considerablemente, y aun arde un cuerpo combustible que en él se coloque. La distancia del papel ó del vidrio á la lente en este experimento es la distancia focal.

813. No solo los rayos que son paralelos al eje, sino tambien aquellos que sin esta circunstancia son paralelos entre sí, cuando caen en una lente convergente, se refractan

de modo que despues de la emergencia se cortan á una distancia de la lente igual á la distancia focal: mas no se cortan en el eje, sino á un lado de este, opuesto á aquel por donde venian; por debajo del eje si los rayos estaban por cima &c. De que los rayos paralelos convergen cuando atraviesan una lente convergente, se infiere que los convergentes aumentarán de convergencia, y los divergentes ó se pondrán convergentes ó paralelos; ó á lo menos disminuirán de divergencia. Si el punto radiante del cual emanan está situado en el foco de la lente, saldrán paralelos despues de la refraccion; si se halla á mayor distancia de la lente que el foco, se hacen convergentes; y si estuviese á una distancia de la lente menor que el foco, permanecerán los rayos divergentes, pero con menor divergencia que la que traian.

814. Ya hemos dicho que en el foco de una lente biconvexa se forma una imágen del sol, cuando se espone á sus rayos, y que esta puede recibirse en un papel ó vidrio; pues lo mismo sucede con cualquier punto luminoso ó cuerpo que emita ó refleje luz; y se observa la imágen del cuerpo, aun sin necesidad de plano que la reciba, si se coloca uno á mirarla en el sitio en que los rayos, despues de haberse cruzado, divergen de nuevo, esto es, á mayor distancia de la lente que la del foco. Se puede nctar en las lentes convergentes lo que se dijo (n.º 783) respecto á las imágenes producidas por los espejos cóncavos. No siempre los rayos divergentes se refringen tanto despues del paso por la lente que lleguen á cruzarse, y por eso no se forma un punto matemático como imágen de un punto luminoso. Esta imágen aparente se llama *imágen física*.

815. Si el objeto está en el foco de la lente no se forma imágen. Si está situado á una distancia sumamente grande de la lente, de suerte que casi sean paralelos los rayos que caigan sobre ella, la imágen aparece en el foco, invertida y menor que el objeto. Si la distancia de este á la lente no es muy grande, pero menor sin embargo que la distancia focal, la imágen aparecerá á mayor distancia de la lente que la del foco, y tanto mayor será esta distancia, cuanto mas cerca esté el objeto de la lente. La imágen será invertida y su magnitud dependerá de que el objeto esté mas ó menos lejano del foco; mientras mas lejano, mas chica será la imágen y viceversa.

816. Cuando el objeto está entre el foco y la lente no

hay verdadera imàgen, esto es, no se puede hallar con un papel el sitio en que se forma; pero es menor que el objeto y no està invertida. Todos estos fenómenos pueden verse fácilmente con una lente biconvexa y una bujia encendida.

817. Si los dos radios que van del centro de curvatura de la lente à las partes extremas de ella forman un ángulo de muchos grados, la imàgen es confusa; y à esto se le da el nombre de *aberracion de esfericidad*. Se evita colocando un *diafragma* delante de la lente, à fin de que no reciba esta mas rayos que los que estan próximos à su eje. El diafragma es simplemente una pieza circular, formada de una materia opaca y negra, con una abertura pequeña en su centro, que corresponde al eje de la lente, para que pasen los rayos por aquella.

818. *Propiedades de las lentes divergentes*. En ellas los rayos paralelos se vuelven divergentes y emergen así despues de la refraccion; y aquellos que ademas de ser paralelos entre sí lo son al eje y distan poco de él, divergen de suerte que prolongando su direccion, se reunen casi en un punto en el eje mismo, esto es, que parece que todos salen divergentes de de aquel punto. Este se llama *foco virtual*.

819. Para formarnos idea de esto, supongamos la lente bicóncava *ab* (fig. 339), cuyo eje es la recta *mn*; y consideremos los rayos *dg*, *hk* paralelos y próximos al eje. Un rayo como *nt*, que siga la direccion del eje no se refractará; para hallar la emergencia de *dg*, sea *c* el centro de la primer superficie cóncava *dth*, *c'* el de la segunda; *cd* será la normal à la primer superficie; *edg* el ángulo de incidencia; el rayo despues de la refraccion debe aproximarse à la normal *dz*, y de consiguiente seguirá una direccion como *ds*, fácil de averiguar conociendo cual es la relacion entre los senos de incidencia y de refraccion para el aire y el vidrio, ò la sustancia de que està formada la lente: tirando ahora la *c's*, normal à la segunda superficie, y prolongándola, el ángulo *osd* será el de incidencia para la segunda superficie; como ahora el rayo de luz sale del vidrio al aire, deberá alejarse de la normal *c's* y seguirá en vez de la prolongacion de *sd*, la direccion *sq* por ejemplo: lo mismo puede decirse del rayo *kh*, que emergerà en la direccion *yu*: si se prolongan por la imaginacion estos rayos se cortaràn en el punto *f*, que será el foco virtual.

820. En las lentes de que hablamos los rayos que caen siendo divergentes, divergen mas despues de la emergencia ; y los convergentes , ó se hacen paralelos, ó divergentes , ó convergen menos, como en los espejos convexos.

821. En las lentes divergentes la imágen siempre está hácia el lado en que está el objeto, es menor que él y directa.

LECCION XLIII.

Sigue la óptica.

822. *Descomposicion y recomposicion de la luz.* La luz blanca del sol está compuesta de rayos de diversos colores. Para probarlo supongamos que en una cámara oscura se haya practicado una pequeña abertura, por donde se introduzca un rayo de sol que vaya á dar á la distancia de algunos pies, sobre una pantalla formada por un lienzo blanqueado; formará en dicha pantalla un círculo de luz blanca, como *a* en la figura 340; pero si ahora se interpone un prisma *bcd* cuya base *cd* esté hácia bajo y cuyo ángulo refringente, para la inclinacion del rayo, permita la emergencia (n.º 806) se percibirá en el punto *m* de la pantalla en vez de un círculo blanco, una imágen oblonga, limitada superior é inferiormente por líneas curvas, cuyos lados son paralelos y rectos, y cuya longitud es notablemente mayor que el diámetro del círculo

blanco. Esta imágen, llamada *espectro solar*, no es blanca; está por el contrario formada de siete colores llamados *colores del espectro* y colocados siempre en este orden: rojo, naranjado, amarillo, verde azul celeste, azul de añil, y violeta, y el color rojo siempre está mas próximo que ninguno al sitio en donde estaba antes el círculo iluminado. Si se invierte el prisma, de suerte que la base *cd* corresponda á la parte superior y el vértice *b* á la inferior, el espectro se forma por encima del círculo; y los colores en posicion simétrica á la anterior, esto es, el color rojo en la parte inferior y el violeta en la superior. Para que el espectro solar se forme mejor y que sus colores sean mas vivos, conviene reconcentrar muchos rayos, colocando en la abertura por donde entra la luz, una lente biconvexa.

823. Si en vez de pantalla se recibe el espectro solar en una lente biconvexa, se observará que en el foco de ella se reunen todos los rayos coloreados, y que mas alla del foco divergen de nuevo, de suerte que el rayo de color que estaba situado en la parte inferior ahora se halla en la superior y viceversa. Si se coloca una pantalla en el foco de la lente aparecerá un círculo blanco; si mas allá del foco se observará el espectro con sus colores en un orden inverso.

824. Haciendo aberturas en la pantalla en que se recibe el espectro, para que por una de ellas pase luz de un solo color, rojo por ejemplo, se observará recibiendo este rayo en otro prisma y dirigiéndolo á otra pantalla, que solo se presenta un círculo de color rojo; sin que ni en la figura, ni en los colores, se parezca en nada al espectro solar.

825. Si se colocan dos prismas de suerte que cada uno de ellos forme su respectivo espectro, y por medio de pantallas con aberturas se separa de cada uno un rayo de color distinto, rojo por ejemplo del uno y amarillo del otro; y despues se unen estos rayos de distinto color, resultará el color naranjado, y si luego este rayo naranjado se hiciese pasar por otro prisma, se descompondria en los dos rojo y amarillo de que habia provenido.

826. Al separar sucesivamente del espectro rayos de distinto color, del modo dicho en el número 824 se puede observar fácilmente que cuando se les hace atravesar una lente biconvexa, para hallar cual es el foco, no se encuentra en todos este á la misma distancia; la mayor corresponde al rayo de luz roja y la menor al de luz violeta.

827. De todas estas esperiencias se puede deducir que la

luz blanca consta de varias especies de luz de color, mezcladas entre sí de cierto modo: esto tambien se logra demostrar pintando en un círculo los varios colores del espectro, colocados unos á continuacion de otros y ocupando proporcionalmente el mismo espacio que en él; pues cuando se le da vueltas con rapidez á este círculo, que debe estar atravesado por un eje en su centro, se observa que todos los colores se reducen al blanco; al menos así lo perciben nuestros sentidos.

828. La propiedad que segun hemos visto tienen los prismas de descomponer la luz y ocasionar los colores diversos ya esplicados, hace que cuando se mira un objeto cualquiera con un prisma lo veamos con unas franjas de colores por los lados, que el objeto realmente no tiene. Si el prisma está con su base horizontal y el ángulo refringente hácia arriba, veremos que los bordes horizontales son los que tienen los colores del arco iris. Igual fenómeno sucede si en vez de prismas empleamos lentes.

829. *Acromatismo.* Llámase acromático un prisma cuando ocasiona la desviacion de los rayos de luz de que hemos hablado en el número 822 sin producir coloracion alguna en el objeto hácia el cual se mira; y se dice que una lente es acromática cuando la imágen que se produce en su foco no tiene mas color que el propio del objeto. Esto no puede conseguirse sino valiéndose de dos ó mas prismas, dos ó mas lentes de distinta naturaleza, con los cuales se logra que el espectro formado por el primer vidrio lo haga desaparecer el segundo; pues es de observacion que las dos cualidades de desviar los rayos y de formar el espectro, ó la *fuerza refringente* y la *dispersion*, como se dice en física, son distintas y que pueden hallarse sustancias, que teniendo la misma fuerza refringente ocasionen muy distinta dispersion; las dos especies de cristal llamadas por los ingleses *crovnglass* y *flintglass*, estan en ese caso. Estas pocas palabras sobre el acromatismo, cuestion muy difícil de óptica, nos serán suficientes para entender bien la vision.

830. *Funcion de la vision.* Indicarémos únicamente la disposicion anatómica del globo del ojo, porque los pormenores de su organizacion corresponden á otra asignatura. El globo del ojo en el hombre es casi esférico, pero tiene por su parte anterior una porcion de otra esfera de radio meor, correspondiente á la córnea trasparente. El órgano está formado de membranas y de humores: las membranas son 1.º la *esclerótica*, que es la mas exterior, que viste todo el globo del ojo excepto por el centro de la parte ante-

rior; es de naturaleza fibrosa y color blanco azulado: 2.º la *córnea trasparente*, colocada por delante del globo del ojo, formando la porcion de esfera de radio menor que la esclerótica no viste; está por la circunferencia intimamente unida á esta última membrana: 3.º la *coroides* está por la parte interna de la esclerótica, y no se estiende á la córnea; es de color negro y forma como la cámara oscura del ojo: 4.º el *iris*, membrana de figura circular, que tiene en su centro la abertura denominada *pupila* y que por su circunferencia corresponde al sitio en que la córnea se une con la esclerótica; el iris separa una de otra las dos cámaras del ojo, la anterior de la posterior y 5.º la *retina*, membrana que parece formada por la expansion del nervio óptico; y que se estiende desde dicho nervio hasta el cristalino, tapizando la cara interna de la coroides.

Los humores del ojo son principalmente 1.º el *acuoso* que llena las dos cámaras del ojo. 2.º el *cristalino*, que es un cuerpo trasparente, colocado entre el humor acuoso y el vítreo, y que tiene la forma de una lente biconvexa, formada de láminas elipsoideas concéntricas, superpuestas unas á otras y 3.º el *vítreo* que es una masa blanda, perfectamente trasparente y que ocupa las tres cuartas partes posteriores de la cavidad del globo del ojo.

Sentada esta sucinta descripcion anatómica, pasemos ahora al mecanismo de la vision. Para que un objeto sea visible, es necesario que lo sean los puntos de que se puede considerar formado. Dirémos pues como llega á lo interior de nuestro órgano la luz que sale de un punto luminoso ó que refleja luz, y suponiendo que lo mismo sucede para todos los puntos del cuerpo, habrémos esplicado el modo como lo percibimos.

De cualquier punto de un objeto luminoso ó iluminado, como por ejemplo de *a* (fig. 341), salen una porcion de rayos divergentes, que van á parar al ojo, formando un cono luminoso *bac*, cuyo vértice está en el punto visible y su base en el ojo; pero no todos estos rayos sirven para hacer perceptible el objeto, sino solo aquellos que pueden atravesar por las pupilas. Estos rayos divergentes, experimentan tres refracciones principales al pasar por las partes transparentes del órgano, la primera por el humor acuoso, situado en las cámaras anterior y posterior, la segunda por el cristalino y la tercera por el vítreo; tambien hay otra refraccion al atravesar los rayos por la cornea trasparente; pero como las dos caras anterior y posterior de dicha membrana son paralelas, y una convexa y otra cóncava, es tan corta la refraccion, que puede considerarse como nula. Si el punto *a* está colocado en el eje del cris-

talino, el rayo central que siga la direccion de ese eje no se refractará, é ira á parar á la retina: los rayos comprendidos entre *bad* y *gac*, que caen sobre la córnea opaca, no sirven para la vision como hemos dicho; de los que van á la córnea trasparente, unos se reflejan y producen la imágen de los objetos para otro que esté mirando los ojos del individuo. De aquí esa imágen pequeña de nuestro semblante, que observamos cuando miramos los ojos de otra persona, y que nos parece hallarse situada en su córnea trasparente. Los rayos que atravesando la córnea van á parar á la cara anterior del iris, tambien son reflejados y nos hacen ver los colores distintos que tiene esta membrana, segun los sugetos; y de aquí las denominaciones de ojos azules, negros &c. Los rayos que van á atravesar la pupila estan muy poco distantes del eje del cristalino, especialmente si el objeto se halla á una gran distancia del ojo; los otros rayos si hubieran entrado en las lentes refringentes, hubieran producido lo que hemos llamado aberracion de esfericidad (n.º 817) y el iris debe considerarse como un diafragma que intercepta los rayos demasiado divergentes; mas como la pupila se agranda ó disminuye de estension segun convenga, tiene una gran ventaja esta membrana á los diafragmas de los instrumentos de óptica. El cono que entra por una pupila, experimentando una refraccion de poca consideracion al atravesar el humor acuoso, se halla despues con el cristalino, y como esta es una lente biconvexa y que tanto dicho humor acuoso como el vitreo tienen menor densidad que él, deben los rayos experimentar los mismos efectos que cuando siendo poco divergentes atraviesan una lente biconvexa, que por sus dos caras corresponde al aire atmosférico, esto es, que despues de atravesar la lente, se hagan convergentes, se crucen y vayan á producir su imágen en un punto. El sitio en que se reunen puede ser en la retina misma ó delante de ella, ó tener los rayos tal direccion que prolongándolos irian á cruzarse detras de dicha membrana. En el primer caso se percibirá el punto *a'* con claridad; en el segundo volverán á hacerse divergentes despues de cruzarse en el sitio de union y la imágen ocupará un espacio mayor en la retina, será un círculo en vez de un punto; y lo mismo sucederá en el tercer caso, aunque por opuesta causa. Pero en los dos últimos no se distingue con claridad el objeto.

831. Si fuese un objeto estenso el cuerpo luminoso ó iluminado, como *ab* (fig. 342) se deberia hacer el mismo raciocinio y la misma construccion anterior con cada punto, para hallar su imágen en la retina; el cono *acd* produciria la imágen *a'* y el cono

cbd la *b'*; y es fácil convencerse de que la imágen está efectivamente invertida, por medio de experimentos, pues si se adelgaza la parte posterior de un ojo recién sacado de la órbita y se dirige hácia objetos que esten muy bien iluminados, se les verá en posición invertida en la porcion de membranas adelgazadas restantes. Se puede hacer muy bien lo dicho con un ojo de buey y la luz de una bugia en un cuarto oscuro.

832. Es necesario advertir que esta imágen no produce la vision como imágen, sino ocasionando impresion la luz en la retina, y propagándose aquella impresion por el nervio óptico, á lo que se llama el sensorio comun; y á esta impresion corresponde aquella imágen, pues sería ridículo suponer que el alma estaba mirando la imágen pintada en la retina; para eso sería necesario que tuviese otro ojo, para la imágen producida en este segundo otro tercero y así sucesivamente al infinito.

833. Los diversos humores del ojo tienen una accion acromática, puesto que no vemos los objetos con los colores del arco iris, como sucede en las lentes y en los prismas; y no se sabe todavía á punto fijo de que depende esta cualidad, si de las curvaturas de los medios que atraviesa la luz para llegar á la retina, ó de las diversas capas de que está formado el cristalino y que lo asemejan á una lente acromática; sin embargo en los que pierden este órgano por la operacion de la catarata no se observa mas que una imperfeccion de la vision, llamada presbicia de que hablaremos pronto y no la coloracion de los objetos.

834. Apesar de tener dos ojos y de producirse en ambos la imágen de los cuerpos, y de consiguiente una impresion en la retina de cada órgano, no percibimos mas que un objeto; esto se ha esplicado ó bien por el entrecruzamiento de los nervios ópticos que se reunen delante de la silla turca, y que producen una sola sensacion en el cerebro, aunque reciban dos impresiones; ó porque los ejes ópticos del ojo se reunen en el objeto cuando lo miramos y nos debe parecer único. Pero es cierto que si se comprime uno de los ojos vemos dobles los cuerpos. Cuando un objeto está cercano, no se ve del mismo modo con entrambos ojos, y para convencerse de ello basta observar un objeto con el ojo derecho por ejemplo, tapándose el izquierdo, y observar á que punto corresponde una pantalla que está fija por detras de dicho objeto; veremos que no es el mismo punto donde corresponde si lo miramos con el ojo izquierdo, cerrando el derecho.

835. Tambien nos parecen duplicados los objetos cuando

están muy próximos á los ojos, en cuyo caso es sumamente grande el ángulo que los dos ejes ópticos forman reuniéndose en el objeto.

836. Hay en la retina un punto que no es afectado por la imágen que producen los cuerpos y que corresponde al sitio por donde entra el nervio óptico; como es fácil probarlo con el siguiente experimento. Pongáse en un papel con tinta tres círculos de una línea de diámetro, cuyos centros estén en línea recta y á la distancia de dos pulgadas entre sí. Colóquese el papel á 10 pulgadas poco mas ó menos del ojo izquierdo, de modo que el círculo del medio corresponda á este ojo y ciérrese el derecho. De esa suerte se verán los tres círculos. Diríjase despues el ojo izquierdo al círculo derecho, é inmediatamente desaparecerá el círculo de enmedio y se continuará viendo el de la izquierda. Esta esperiencia puede hacerse tambien colocando sobre una mesa dos obleas blancas, separadas entre sí la distancia de un pié, y situados sus centros en una línea que sea paralela al plano anterior del cuerpo del observador. Si despues cerrando el ojo izquierdo nos situamos á la distancia de media vara de las obleas, con el ojo derecho colocado enfrente de la oblea izquierda, veremos las dos; mas si nos retiramos hácia atras, conservando siempre el plano anterior del cuerpo una posicion paralela á la precedente, bien pronto dejamos de percibir la oblea derecha, que vuelve á aparecer en el momento que nos separamos mas hácia atras. Calculando en todos estos casos cual es la direccion del rayo que va del círculo ó la oblea, que momentáneamente se hace invisible, á la pupila, se halla que corresponde al sitio en que el nervio óptico se une á la retina. Este punto se llama *punctum cæcum*.



LECCION XLIV.

Sigue la óptica.

837. Para que un cuerpo pueda verse distintamente es necesario que los rayos divergentes que de él salen se unan en un espacio determinado de la retina; de consiguiente si los puntos de donde emanan rayos luminosos están situados á diversas distancias del ojo, los rayos que vengan de todos esos puntos no tendrán la misma divergencia y no podrán unirse todos en la retina. De que se infiere que no es posible ver distintamente y á la par muchos objetos que están desigualmente lejanos del ojo. Si la imagen de uno de ellos cae exactamente en la retina, la de los mas lejanos corresponderá delante ; y la de los mas próximos detras de esta membrana. El modo que tenemos de percibir bien estos objetos, si la distancia total de ellos á los ojos no es muy grande , consiste en examinarlos no de una vez, sino sucesivamente; y á fin de lograr esto hacemos experimentar al órgano cierta modificacion , mas fá-

cil de sentir que de explicar. Se hace la experiencia del modo siguiente. En una lámina de cristal póngase con una pluma un punto de tinta, y colocándola á la distancia de diez pulgadas de los ojos, mírese al través del cristal objetos muy lejanos. Se observará entonces que la mancha de tinta se vé confusa: fijemos ahora la vista en la mancha; se notará en primer lugar que ya la confusión de la vision es para los objetos lejanos, que antes veíamos distintamente, y en segundo que conocemos que el globo del ojo ha experimentado alguna mutacion del estado en que se encontraba cuando mirábamos los objetos lejanos.

838. Para que puedan verse distintamente los objetos cercanos, cuando el globo del ojo estaba considerando los lejanos, se necesita teoricamente hablando, ó que se prolongue el diámetro antero-posterior del ojo, para que sea mayor la distancia que hay de la córnea á la retina, ó que aumente de convexidad el cristalino, ó la córnea; ó que sucedan todas estas mutaciones: asi como son indispensables algunos ó todos los fenómenos contrarios para ver con claridad los objetos lejanos. Nada se sabe de positivo sobre cual es la mutacion ó variacion que experimenta en estos casos el órgano de la vista.

839. Cuando los ojos están bien organizados, tienen la propiedad de poder distinguir con claridad los objetos cercanos y los que estan á mucha distancia, aunque no simultáneamente, como acabamos de indicar; pero hay ojos que solo ven distintamente las cosas que tienen próximas, y otros por el contrario las distantes. Las personas que tienen la primera organizacion se llaman *miopes*, las segundas *prébitas*. En los ojos de los miopes los rayos que vienen de un punto luminoso se unen antes de llegar á la retina; en los prébitas despues de dicha membrana. Por eso los miopes tienen que aproximarse los objetos, á fin de que los rayos luminosos que salen de cualquier punto se hagan mas divergentes y se unan mas tarde, y los prébitas por el contrario los alejan para que diverjan menos los rayos del cono luminoso que salen del objeto.

840. Cuando el ojo está bien conformado la distancia á que debe estar un objeto pequeño, como los caracteres de un libro, para que los distinga bien, es la de ocho á diez pulgadas; los miopes necesitan una distancia mucho menor y los prébitas mayor.

841. El defecto de los miopes depende ó de que es mayor que lo necesario la distancia que hay entre la retina y el cristalino, ó de que esta lente es mas convexa de lo que debia ser; ó de la gran

densidad de los humores del ojo; pues todas estas causas contribuyen al mismo resultado. El defecto de los présbitas depende de una causa opuesta. Como el cristalino va siendo menos convexo á proporcion que adelantamos en años, los viejos suelen ser présbitas; la miopia por el contrario mas bien es propia de la juventud. Pero en ambas enfermedades puede tener influjo el hábito de colocar el órgano de la vision en la disposicion necesaria para recibir los rayos que vienen de objetos cercanos ó lejanos. Para corregir la miopia se usan de lentes divergentes, colocadas delante de los ojos, que aumentando la divergencia de los rayos luminosos, los llevan á reunirse á la retina; y estos vidrios solamente los necesitan los miopes para ver los objetos lejanos. Los présbitas por el contrario usan de lentes convergentes, que aumentan la convergencia de los rayos, para examinar objetos que estan á distancias cortas.

842. La catarata depende de la opacidad del cristalino ó de su membrana propia, que impide el paso de los rayos luminosos y ocasiona la ceguera. Cuando se quita del eje óptico este cuerpo opaco se recobra la vision; pero á los operados les queda la presbicia, por faltar la lente que contribuye mas á la refraccion de los rayos luminosos.

843. Por la vision se juzga de la magnitud de los objetos, de la distancia á que estan entre sí y del observador, de su figura y color, del lugar en que se hallan, y de su movimiento ó quietud.

844. La *magnitud* aparente de un objeto depende del ángulo visual, esto es, del formado por dos lineas que siendo tangentes á las porciones mas distantes entre sí del cuerpo, van á pasar por los bordes de la pupila, para cruzarse mas profundamente; *abc* (fig. 343) es el ángulo de que se trata, y mientras mayor es, mas tamaño debe tener la imágen formada en la retina. De lo dicho se infiere que el mismo objeto, colocado á mayor distancia del ojo, debe tener menor magnitud aparente; pues entonces es menor el ángulo visual, y tambien lo es su imágen. Por ejemplo si el cuerpo *ac* lo colocamos en *a'c'*, el ángulo visual será ahora el *a'bc'*, que es menor que el *abc*. Se deduce tambien que dos cuerpos de desigual tamaño podrán tener la misma magnitud aparente, si se coloca mas cerca del ojo el menor, y á tal distancia uno de otro, que tengan el mismo ángulo visual: *ac* y *a''c''* se hallan en ese caso. Muchos ejemplos de estos encontraremos en la naturaleza; asi para nosotros el sol y la luna tienen casi el mismo tamaño aparente, aunque el diámetro de aquel sea 392 veces mayor que el de es-

ta; lo cual depende de que las distancias de aquellos astros á la tierra, estan entre sí en la razon de 400 á 1.

845. Conocido el verdadero tamaño de un objeto, juzgamos de la distancia á que se halla de nosotros por la magnitud de la imágen aparente ó del ángulo visual; pero esto es cuando la distancia es grande, pues en las pequeñas, como por ejemplo de algunos pies, no se observa que el mismo objeto nos parezca á la distancia de treinta pulgadas, doble del tamaño que aparece á la de sesenta. La causa de esto es el hábito que tenemos de reconocer con facilidad cuales la verdadera magnitud de los cuerpos que se hallan á distancias tan pequeñas; y aunque las imágenes de los objetos no nos parezcan como debian ser, con respecto á la distancia, tampoco nos equivocamos. Pero en el momento en que juzgamos de un caso, al cual no estamos acostumbrados, nos hallamos propensos á cometer error. Por ejemplo no nos parece un hombre mucho menor á la distancia de 80 pies que á la de 10; pero si nos parecerá mucho mas pequeño si lo miramos en lo alto de una torre de los mismos 80 pies de altura, porque estamos acostumbrados á mirar objetos que estan cercanos á nosotros y á corregir nuestros juicios si son errados, aproximándonos á los objetos, y no podemos hacer lo mismo con aquellos que están elevados á una altura tal como 80 pies.

846. Si el ángulo visual, ya por ser realmente muy pequeño el cuerpo ó por su gran distancia á nuestros órganos, es muy pequeño y no tiene mucha intensidad la luz que nós viene del cuerpo, dejamos de percibirlo. Regularmente desaparecen los cuerpos cuando su distancia es cinco mil veces mayor que su diámetro.

847. Todo lo que hemos dicho de la magnitud aparente de los cuerpos es aplicable á la distancia aparente que dos objetos tienen entre sí. Esta depende de la distancia que tienen las imágenes pintadas en la retina y de consiguiente del ángulo visual con que se ve la distancia entre los dos objetos. Esto nos explica porque en una alameda, ó serie de árboles formando líneas paralelas, nos parece que estan mas separados los que tenemos mas próximos, y que se van acercando entre sí hasta juntarse, aquellos que se hallan á una gran distancia de nosotros: y lo mismo sucede á dos paredes paralelas &c. Si *abcde* y *a'b'c'd'e'* (fig. 343) representan las filas de árboles, que forman la calle, y que el observador está en *h* los ángulos *aha'*, *bbb'*, *chc'* &c. representarán los ángulos visuales de las distancias *aa'*, *bb'*, *cc'* y es fácil ver que estos ángulos van

siendo tanto menores, cuanto mas lejanos esten de h los puntos que representan los árboles.

848. La distancia á que está de nosotros un objeto, la calcula nuestro entendimiento valiéndose de racionios. Si el globo del ojo fuese un punto y si no miráramos mas que con un ojo, no seria posible tener conocimiento ni idea de la distancia á que están los cuerpos, por solo la vision. Hemos dicho ya (n.º 838) que el ojo experimenta diversa sensacion cuando recibe rayos de cuerpos que estan próximos, que cuando estan lejanos; y este es uno de los modos que tenemos de apreciar las distancias. Ademas mirando el punto ó el objeto con ambos ojos, se dirigen los ejes de ambos órganos hácia aquel punto ú objeto, y de consiguiente el ángulo que formán entre sí será tanto menor, quanto mas lejano esté el cuerpo. Si los dos cuerpos son a y b (fig. 344) c , d los ojos del observador, el primer ángulo formado por los ejes será cad y el segundo cbd , menor que el primero, y tanto menor quanto mas lejano esté el punto b . Otras muchas circunstancias contribuyen tambien á ponernos en estado de calcular las distancias de los objetos, como su magnitud aparente, si es conocida la magnitud real, la intensidad de la luz ó la mayor ó menor claridad con que los vemos, la colocacion de ellos respecto á otros cuerpos &c. y estamos ya tan habituados á estos racionios, que apenas podemos distinguirlos de las sensaciones inmediatas. Cuando faltan algunas de estas condiciones, nos engañamos con mucha facilidad respecto á las distancias. Esto sucede cuando los objetos estan tan lejos que puedan considerarse como paralelos los ejes ópticos dirigidos á ellos, ó cuando miramos solo con un ojo, ó que no haya cuerpos intermedios con los cuales podamos comparar: en este último caso la distancia nos parece siempre menor que la verdadera.

849. Ya hemos dicho (n.º 834) que cuando detras del objeto habia un plano, nos parecia que correspondia el cuerpo á un punto de dicho plano; y este punto varia segun la diversa posicion en que nos pongamos á mirar el objeto y variará á tanto mas quanto mas cerca estemos de él.

850. La figura aparente del cuerpo depende del modo como vemos la distancia de los diversos puntos del objeto, y de aquella á que parece estar de nosotros cada uno de sus puntos; y como en todos estos datos caben muchas ilusiones, lo mismo será respecto á su figura aparente. Asi si una línea recta es muy prolongada, nos aparecerá como un arco de círculo, á causa de que todos los puntos de la línea nos parece que estan igualmente distan-

tes de nosotros. Por la misma razon un observador que se halla colocado en un sitio elevado, cree hallarse en el centro de un plano circular; por eso el cielo nos parece como una semi esfera hueca en cuyo centro estamos colocados; el sol y la luna tienen la apariencia de circulos en vez de esferas &c.

851. Conocemos el movimiento de los cuerpos por medio de la vision, á causa de que sus imágenes en la retina corresponden sucesivamente á distintos sitios; y por eso tenemos la misma impresion si es el objeto el que se mueve ó por el contrario si está quieto y el ojo es el que se halla en movimiento. Si un objeto se mueve de *a* hácia *c* (fig. 345), la imàgen pintada en el ojo procederá en direccion contraria, corresponderá á *a'* cuando esté en *a* y á *c'* cuando se halle en *c*: mas si estando el cuerpo quieto en *d* (fig. 346), movemos los ojos en direccion contraria ó de *a'* á *c'* recorrerá el punto la misma línea que antes. Hay sin embargo varias circunstancias que no nos dejan duda del movimiento de los cuerpos, tal es la variacion que experimenta el ángulo visual y el cambio de iluminacion, pues cuando un cuerpo se apróxima al observador crecen el ángulo visual y la iluminacion, y lo inverso sucede en el caso contrario.

852. Por lo dicho se esplica como el que va corriendo en un coche ó andando en un barco, le parece que los árboles y los demas objetos se mueven en direccion contraria: y si vira la nave y da una vuelta, todos los objetos que están en tierra parece que describen un círculo; asi nos figuramos que el sol, la luna y las estrellas dan vuelta en veinté y cuatro horas, cuando es la tierra la que experimenta el movimiento de rotacion &c. Aunque un cuerpo esté moviéndose puede aparecer como en quietud, si el espectador anda en la misma direccion y con igual velocidad, y aun puede creerse que anda en contraria direccion que la verdadera, si se mueve el que lo mira en la misma direccion pero con mayor velocidad.

853. Si el movimiento de un cuerpo es muy lento no lo percibimos, por la misma causa que no vemos un cuerpo que se presenta con un ángulo visual sumamente pequeño. Ejemplo de esto es el horario en los relojes.

854. La impresion ó sensacion de la luz dura algun tiempo en nuestro órgano visual; y en eso consiste que una cuerda encendida en una estremidad, si se fija por la otra y se le dan vueltas con rapidez, nos da la sensacion de un anillo de fuego, y asi se esplica tambien la esperiencia del n.º 827, en que el círculo donde

se hallaban pintados los colores primitivos producía la sensación de un círculo blanco; porque sabiendo ya que cuando todos los colores del espectro solar se hallan reunidos, dan nacimiento al blanco, es fácil concebir que la porción pintada de rojo, debe ocasionar en la retina la impresión de un círculo rojo, el naranjado de otro círculo naranjado y así sucesivamente; y todos ellos reunidos la impresión del color blanco.

855. Así se explica también el fenómeno de los colores accidentales, que consiste en lo siguiente. Si se está mirando por mucho tiempo un objeto, que tenga mucho resplandor y se cierran después los ojos ó se dirigen hacia un plano, aparecerán varios colores que varían según los colores del objeto &c. Por ejemplo si se está mirando por mucho tiempo un cuadrado rojo pintado en un fondo blanco, aparecerán líneas de un verde pálido cerca de los bordes del cuadro; y si después se dirigen los ojos hacia otro sitio del mismo plano blanco, se verá un cuadrado verde.

856. La impresión hecha por un objeto en la retina se extiende más allá de la imagen real, y esta extensión es tanto mayor cuanto más viva es la luz; así dos círculos iguales en tamaño, pero que uno sea negro y esté sobre un fondo blanco, y que el otro sea blanco y se halle colocado sobre un fondo negro, no aparecen del mismo diámetro; el segundo parece mayor que el primero.

LECCION XLV.

Sigue la óptica.

857. *Aplicaciones de las leyes de la refraccion de la luz á los instrumentos de óptica.* Ya hemos indicado el uso que tienen las lentes convergentes para la vision de los presbitas y miopes. Ahora diremos cuatro palabras de aquellos instrumentos que son aplicables á las observaciones de las ciencias auxiliares á la medicina, cuales son los microscopios simple, compuesto y solar.

858. *Microscopio simple.* Este instrumento se reduce á una lente convergente, en que el foco está muy próximo á la lente misma, y que sirve para ver cuerpos muy pequeños. Para manejar la lente con mas comodidad se suele poner en una especie de cilindro aplanado, que presenta un diafragma ennegrecido, con una abertura pequeña en su centro para mirar por alli; el objeto que se desea observar se coloca en la parte opuesta y á una distancia del microscopio menor que la distancia focal principal. Es fá-

¶il conocer cual será el efecto producido, pues si suponemos que a (fig. 347) es la lente del microscopio simple y bc el cuerpo que se desea observar; averiguando cual será la dirección de los rayos cm , cn que salen de la punta c de la flecha después de atravesar la lente, hallaremos que son mr , ns , los cuales se reúnen prolongándose en c' , donde se formará la imagen virtual del punto c ; del mismo modo hallaríamos que el punto b se verá en b' ; luego la flecha bc se percibirá en $b'c'$, mayor que su tamaño real y no invertida.

859. *Microscopio compuesto.* Si delante de una lente biconvexa de muy pequeña distancia focal mn (fig. 348); se coloca un objeto bc , que esté situado más lejos de ella que dicha distancia, se formará del otro lado de la lente una imagen del cuerpo, invertida y mayor que ella, tal como $b'c'$. Si nos ponemos ahora á mirar esta imagen con un microscopio simple, como rs , dispuesto de modo que la imagen $b'c'$ esté más cerca de la lente rs que la distancia de su foco, se verá la imagen en $c''b''$, invertida con respecto á la bc y mucho mayor que ella; tal es la teoría del microscopio compuesto. La lente mn se llama el objetivo, la rs , el ocular, y todo lo que vamos á decir ahora en la descripción del instrumento, sirve para quitarle los muchos defectos que tendría si se usase con esta sencillez. Lo primero es colocar las lentes de suerte que tengan el mismo eje, lo que se consigue montándolas en un tubo; y á fin de hacer variar la distancia entre el objeto y el ocular, para que se acomode á la vista de diferentes personas, se compone el tubo de varios cilindros que pueden encajar unos en otros. Tiene también su superficie interior ennegrecida; y hay en él varios diafragmas, para que intercepten los rayos que provengan de las porciones de las lentes próximas á sus bordes. Empleando solo dos lentes resultan las imágenes con franjas de los colores del espectro hácia sus lados y para evitarlo y conseguir el acromatismo, se coloca otra lente biconvexa entre el ocular y el objetivo; y se emplean además en vez de una sola lente para objetivo, muchas lentes sobrepuestas unas á otras. El microscopio compuesto que posee el gabinete está representado en la figura 349. Los objetos transparentes que se quiera observar con él, se ponen entre dos láminas de vidrio que se colocan después en el porta objeto a ; y para que se perciban con más claridad es conveniente echar entre las láminas una gota de agua. A fin de aclarar bien el objeto hay un espejo cóncavo b , situado hácia la parte inferior del instrumento, el cual se dirige de modo que los rayos reflejados vayan á

parar á la porcion de las láminas de vidrio que contienen dicho objeto. Si este es opaco se coloca sobre un círculo de marfil ennegrecido, y se ilumina por medio de una lente biconvexa, cuyo foco está próximamente en el sitio donde va á ponerse el cuerpo opaco. La disposicion del microscopio permite aproximar ó alejar el ocular del objetivo y dirigir el instrumento á todos lados, á fin de poder recorrer el sitio ocupado por el objeto, y formarse idea clara de su figura &c.

860. *Microscopio solar.* Consta de un tubo *ab* (fig. 350), con dos lentes biconvexas, una colocada en *a* y otra en *b*; la estremidad *a* se pone en la abertura estrecha *o* de una cámara oscura, por donde entra un rayo de sol, el cual se dirige horizontalmente como lo está el tubo *ab*, por medio de un espejo *mn*, situado fuera de dicha cámara y al cual se le pueden dar varios movimientos por unos tornillos, á fin de que esté en la posicion necesaria para que el rayo se dirija en la direccion espresada; en *cd* delante de la lente *b* se hallan dos vidrios, entre los cuales se colocan los cuerpos que se desean observar; y la distancia que hay entre los objetos y la lente *b*, ha de ser menor que la distancia focal principal de ella: de esta suerte los rayos paralelos del sol, reconcentrados por la primer lente *a* y ampliados por la segunda *b*, van á formar una imagen en la pantalla *rs*, que debe colocarse á alguna distancia: cuanto mayor sea esta, tanto mas grande aparecerá el objeto, pudiéndose así aumentar arbitrariamente el tamaño de las imágenes; pero es de advertir que en llegando á cierto limite pierden mucho de su claridad.

861. *Anillos de color.* Si colocamos una lente biconvexa de gran diámetro, sobre un plano de vidrio y comprimimos fuertemente entre sí estos dos cuerpos, se percibirán una porcion de anillos de diferentes colores, concéntricos unos á otros, y cuyo centro es el punto de contacto de la lente con el plano. Esta experiencia se hace con un aparato sencillo, el cual consta de una lente rodeada de un aro metálico, aplicada sobre un vidrio que tiene la misma disposicion; y unos tornillos que presentan los aros, permiten efectuar mayor ó menor compresion: si se hace llegar á la lente un rayo de luz blanca y se coloca el espectador de modo que pueda recibir la luz refleja, verá una mancha negra en el punto de contacto, y los anillos de color concéntricos á la mancha; pero si se coloca el aparato de suerte que pueda percibir el rayo transmitido al traves de la lente y del plano de vidrio, observará un círculo blanco en el punto de contacto y una porcion de anillos de

color concéntricos al primero; pero que no tendrán los mismos colores que en el caso anterior.

Estos anillos no varian, aunque aumenten de grueso la lente y el plano, ó que sea distinta la naturaleza de la sustancia de que estan compuestos; se forman en el intervalo que estos dos cuerpos dejan entre sí, y varian de sitio cuando el punto de contacto es diverso.

862. *Difraccion ó descomposicion de la luz, cuando pasa tocando á la superficie de los cuerpos.* El modo de obtener el fenómeno y de poderlo observar con facilidad, consiste en valerse de un aparato, compuesto de un pié *a* (fig. 351), que sostiene una lámina metálica *fg*, con dos piezas movibles *c* y *d*, las cuales pueden dejar entre sí una abertura *bm*, cuyos bordes se separan mas ó menos segun convenga. Dejando entrar un rayo de luz en la cámara oscura y haciéndolo pasar por la hendedura *bm*, si se recibe despues en una pantalla colocada á cierta distancia, se observarán una porcion de rayas que tienen los colores del espectro solar. Estas rayas ó fajas se observan tambien en otras muchas circunstancias, como en la parte exterior de la sombra de un cuerpo &c.; pero la naturaleza de este curso no permite entrar en pormenores.

863. *Refraccion doble.* Dijimos en el n.º 792 que la refraccion se dividia en simple y doble; y que las leyes que entonces ibamos á esponer eran las de la refraccion simple. Digamos ahora algo del fenómeno de la doble.

864 Si en vez de liquido ó de vidrio, que nos sirva de medio para hacer pasar el rayo de luz, empleamos un pedazo de cal carbonatada romboidal, conocida tambien con el nombre de espato islándico, se obsevará que un rayo de luz como *ab* (fig. 352) al atravesarlo, da origen en general á dos rayos, uno *bc* que sigue las leyes generales de la refraccion y que se llama el *rayo ordinario*; y otro como *bc'* llamado *rayo extraordinario*; en el cual ni se halla el ángulo de incidencia en el mismo plano que el de refraccion, ni tampoco los senos de los respectivos ángulos estan en una misma relacion para todas las incidencias.

865. Por esta razon si se mira al traves de un cristal de espato islándico un cuerpo cualquiera, como por ejemplo un punto hecho con tinta en un papel, se ven dos puntos mas ó menos separados entre sí; y moviendo el cristal de modo que haga una revolucion completa, se ve que tambien dan vueltas los dos puntos. Si en vez de un punto es una raya en línea recta la que observamos, notarémos que en general se ven dos rayas; pero dando vuel-

tas al cristal, como hemos indicado anteriormente, hay momentos en que las dos rayas se sobreponen y no percibimos mas que una.

866. Los cristales que gozan de la propiedad de la refraccion doble se dividen en cristales de un eje, y cristales de dos ejes; cuya division se funda en que todo cristal de esta clase tiene siempre una ó dos posiciones, en las cuales no se divide en dos el rayo de luz. A esas direcciones se les ha dado el nombre de *ejes ópticos del cristal*, ó simplemente el de *ejes*. Aquellos cristales en que no hay mas que una direccion en que tal suceda se denominan *cristales de un eje*, y los que tienen dos direcciones de indivisibilidad, *cristales de dos ejes*.

867. *De los cristales de un eje y de su seccion principal.* Tomemos por ejemplo la cal carbonatada; se sabe por mineralogía que la forma primitiva de esta sustancia es un romboide, como está representado en la figura 353; esto es, que podemos considerar á un cristal de cal carbonatada, cualquiera que sea su figura, como compuesto de una infinidad de moléculas, que todas tengan la forma romboidal, y dispuestas paralelamente unas junto á otras. Nada sabemos de cierto sobre las dimensiones de estas moléculas, solo el que son muy pequeñas. La línea *ab* que une los vértices obtusos de estos romboides, es lo que se llama *eje cristalográfico*. En un cristal de esta clase hay una infinidad de ejes, correspondientes á la infinidad de moléculas que lo forman; pero todos esos ejes son paralelos, puesto que en la cristalización regular los romboides están colocados paralelamente á sí mismos. Así es que para conocer el eje de un cristal, no hay mas que determinar la posición de una de las moléculas primitivas constituyentes. Y la esperiencia ha demostrado esta ley general que hasta ahora no tiene escepcion: *que en los cristales de un eje, el eje de doble refraccion ó el eje óptico, coincide siempre con el eje cristalográfico.*

868. Para comprobar este hecho se puede cortar un pedazo del cristal cuyas dos caras opuestas sean perpendiculares al eje cristalográfico *ab*, y se verá que nunca se divide en dos el haz luminoso cuando atraviesa la lámina perpendicularmente á sus caras, esto es, si atraviesa el cristal siguiendo su eje cristalográfico; pero si el rayo se presenta oblicuamente, ya no penetra en la direccion del eje, y entonces se divide en dos, uno el rayo ordinario y otro el extraordinario.

869. Nada diremos del rayo ordinario, porque no presenta su marcha dificultad alguna, siguiendo las leyes generales de la

refraccion simple, pero el otro sigue un camino muy notable en dos casos; cuando se halla en la *seccion principal* y en la *seccion perpendicular al eje*.

870. Llámase *seccion principal* en los cristales de un eje, el plano tirado por el eje perpendicularmente à una cara cualquiera natural ó artificial; asi cada cara de un cristal tiene su seccion principal. Se halla por esperiencia que el rayo estraordinario permanece en el plano de incidencia, como el ordinario, siempre que el plano de incidencia coincide con la prolongacion de la seccion principal; en este caso particular el rayo estraordinario está sometido à la ley de la refraccion de que el plano de incidencia y el de refraccion son uno mismo; pero no sigue la otra ley de la refraccion. Para comprobar lo que acabamos de decir basta dar vueltas en su plano à un cristal de caras paralelas, y seguir el movimiento de la imágen estraordinaria; pues se verá que en el círculo que describe al rededor de la imágen ordinaria, pasa dos veces por el plano de incidencia; y que esto sucede cuando dicho plano coincide con la seccion principal de la cara de entrada.

871. Llámase *seccion perpendicular al eje*, cualquier plano que se tire ó que se conciba tirado en lo interior del cristal, perpendicular al eje; cuando el rayo tiene por incidencia este plano, no solo el de incidencia y de refraccion son uno mismo, sino los senos de incidencia y de refraccion conservan entre sí una relacion constante: en una palabra entonces el rayo estraordinario, sigue las leyes de la refraccion simple. El cociente que resulte de partir el seno del ángulo de incidencia del rayo estraordinario en este caso, por el seno del ángulo de refraccion, tiene el nombre de *índice de refraccion estraordinario*. Cuando el índice ordinario es mayor que el índice estraordinario el cristal se llama *negativo*, y *positivo* en el caso contrario.

872. *Cristales de dos ejes*. En estos no hay rayo ordinario; quiero decir que ninguno de los rayos que nacen de la division de un rayo incidente sigue las leyes generales de la refraccion; asi es que el camino que sigue la luz es mucho mas complicado en estos cristales que en los de un eje; por eso no insistiremos en este asunto, y si hemos hablado de la refraccion doble y de los diversos cristales que hay con respecto à ella, es porque estas nociones son indispensables para la mineralogia y para la química.

LECCION XLVI.

Sigue la óptica.

873. *Polarizacion de la luz.* Cuando en un cristal dotado de la refraccion doble y cuyas dos caras opuestas sean paralelas, se recibe un rayo de luz solar, los dos rayos refractados tienen la misma intensidad. Si se hace que estos dos rayos atraviesen otro cristal semejante al anterior, cada uno se divide en otros dos, ó lo que es lo mismo habrá cuatro rayos que emerjan de este último; pero las intensidades de ellos serán muy diversas; y si miramos un objeto al traves de estos dos cristales, se nos presentará cuadruplicado: mas si dejando quieto el primer cristal, hacemos girar el segundo, se observará que en cuatro posiciones distintas no se perciben mas que dos imágenes del objeto en vez de cuatro, que estas distintas posiciones forman ángulo recto entre sí y corresponden á los casos en que las dos secciones principales (n.º 870) son paralelas ó perpendiculares entre sí. Vemos pues que los rayos de luz que han atravesado un cristal de refraccion doble, adquieren propiedades nuevas, que los diferencian de los que directamente vienen de los cuerpos luminosos.

874. Fenómenos análogos se observan en la luz cuando se hace que se refleje en los cuerpos pulidos, con determinada incidencia. Por ejemplo si un rayo luminoso cae formando un ángulo de $35^{\circ} 25'$ sobre una lámina de vidrio pulido, que esté ennegrecida por la cara opuesta, despues de la reflexion no dará mas que un rayo refracto en un cristal de refraccion doble, cuando la seccion principal del cristal sea paralela ó perpendicular al plano de reflexion.

875. Se da el nombre de *polarizacion* á esta nueva propiedad de la luz, porque para esplicar el fenómeno en el sistema de la emision, se admiten que las moléculas luminosas tienen dos polos análogos á los del iman, y que la reflexion sobre el vidrio en el ángulo indicado hace dar vuelta á todas las moléculas luminosas del rayo reflejo, en la misma direccion, de tal modo que el eje de cada una de ellas, ó el eje que une sus polos, sea paralelo al plano de reflexion. A la luz que ha experimentado esta modificacion se llama *luz polarizada*, y *plano de polarizacion* al de la reflexion, que ocasiona en la luz el fenómeno de que se trata.

876. Cuando se recibe un rayo polarizado, ó lo que es lo mismo reflejado por una lámina de vidrio formando con ella un ángulo de $35^{\circ} 25'$ sobre otra lámina, de suerte que forme con ella el mismo ángulo, se observan particularidades notables, haciendo girar la segunda lámina al rededor del rayo polarizado, sin variar nunca el ángulo que forma con él; en efecto la intensidad de la luz reflejada por esta segunda lámina, varía sin cesar, llegando al máximo cuando el segundo plano de reflexion es paralelo al primero; y no se refleja luz alguna cuando los dos planos de reflexion son perpendiculares entre sí. En este caso desaparece el rayo en la segunda lámina.

877. Llámase *ángulo de polarizacion* de una sustancia, el ángulo que debe formar el rayo luminoso con una superficie plana y pulida de dicha sustancia, para que se polarize el rayo reflejo; y como hemos visto es de $35^{\circ} 25'$ para el vidrio.

878. Llamando A el ángulo de polarizacion y l el indice de refraccion, tenemos segun la ley de Brewster

$$\text{tang } A = \frac{1}{l}$$

Tambien puede polarizarse la luz por refraccion en cuer-

pos que no gozan de la refraccion doble ; pero nos es imposible entrar en la esplicacion de esos fenómenos.

879. *Polarizacion circular.* Cuando se da un corte perpendicular al eje en un cristal de refraccion doble , de la clase de aquellos que hemos denominado de un eje (n.º 866) y es atravesado perpendicularmente por un rayo polarizado en una direccion determinada, el plano de polarizacion no varia de posicion en general despues de la emergencia; pero algunas sustancias tienen la propiedad de hacer que varie el plano de polarizacion del rayo que las atravesaba. Hay cuerpos que hacen dar vuelta al plano de polarizacion primitivo de derecha á izquierda, otros de izquierda á derecha; y á este fenómeno se ha llamado polarizacion circular, de que se hace mencion aqui porque es aplicable á la química.

880. *De los colores de los cuerpos.* Los colores de los cuerpos dependen de la luz; y si esta fuese homogénea ó no estuviese formada de rayos de distinta naturaleza, todos los cuerpos no tendrían mas que un color. Asi por ejemplo con una luz roja todos los cuerpos parecen rojos, con la verde todos verdes , con la sola diferencia que el cuerpo que tiene en la luz blanca cierto color , aparece cuando está iluminado por rayos del mismo color, con uno mas vivo que los demas. El color determinado de un cuerpo , el rojo por ejemplo, depende de que refleja la mayor parte de los rayos rojos de que se compone la luz antes de descomponerse y absorbe los otros. Un cuerpo blanco será aquel que no descompone la luz y la refleja toda; el negro por el contrario el que la absorva toda y no refleje ninguna; mas como entonces no lo veríamos , se infiere que debe reflejarse alguna, y que no habrá cuerpos perfectamente negros en el sentido fisico de esta voz. La sombra perfecta por falta de luz aparece negra.

881. Los diversos matices de colores se originan de la mezcla de dos ó mas rayos reflejados, ó de que se refleja una parte de la luz blanca no descompuesta, mezclada con los demas rayos.

882. Hay algunos cuerpos diáfanos que reflejan una especie de rayos y transmiten otra; y asi tienen distinto color vistos por reflexion ó por refraccion. Un ejemplo de esto es la tintura del palo nefritico; el aire atmosférico tambien parece que transmite gran porcion de luz blanca sin descomponerla y que refleja otra cantidad de luz azul.

883. Si la luz heterogénea que se refleja de un cuerpo se refracta por alguna porcion del mismo cuerpo que está colocada en su superficie, podrá tener distintos colores segun el sitio de

donde se mire. Esto es lo que sucede á los cuerpos que se llaman tornasolados. En general casi todos los objetos cuando estan iluminados por el sol tienen colores que varian segun la posicion del observador.

884. Si se aplica sobre la superficie de un cuerpo alguna sustancia muy dividida, de suerte que lo cubra todo, ya no podrá reflejar el cuerpo la misma especie de luz que antes; y mostrará el color que tiene la materia con que se ha bañado: esto es lo que se llama vulgarmente pintar un cuerpo; y colores las sustancias con que se ha cubierto.

885. Si estos colores se mezclan entre sí, puede ser que resulte otro color intermedio y que solo se perciba uno aunque haya muchos; así por ejemplo de la mezcla del amarillo con el azul resulta el verde: esto se explica porque la luz de color amarillo juntándose con la luz de color azul, produce en nuestro órgano la misma sensacion que la luz de color verde.

886. Si á los tres colores rojo, amarillo y azul, se unen el blanco y el negro, se podrán formar mezclándolos en distintas proporciones todos los colores que se quieran.

887. *De los efectos caloríficos de la luz.* Los rayos solares segun enseña la esperiencia, no solo iluminan los cuerpos, sino que tambien los calientan; y estos efectos se notan principalmente cuando se reunen muchos rayos solares en un espacio pequeño, como sucede con los espejos cóncavos ó las lentes convergentes; por eso los primeros se suelen tambien llamar *espejos ustorios* y las segundas *lentes ustorias*.

888. El efecto de los espejos ustorios puede conseguirse, aunque sean planos los espejos, con tal que se coloquen de modo que despues de la reflexion los rayos de luz vayan á parar al mismo punto. El conde de Buffon hizo el experimento con 128 espejos de medio pie de longitud y anchura cada uno; y fueron tan enérgicos los efectos producidos, que inflamó la madera á la distancia de ciento cincuenta pies; el plomo se fundió á la distancia de ciento treinta pies; y la plata á los sesenta.

889. Con las lentes ustorias se han conseguido tambien efectos análogos; pero es necesario que tengan grandes dimensiones; y como esto es difícil se ha ideado formarlas de dos segmentos esféricos cóncavos, unidos por sus bordes circulares.

890. Lo mas notable en los efectos calcríficos de los rayos solares es que los de distinto color tienen tambien diversa intensidad. El mejor modo de observarlo es recibir un rayo de luz por la

abertura estrecha de un cuarto oscuro, y presentarle un prisma á fin de que se forme el espectro solar; si con un termómetro sumamente sensible, y valiéndose de las precauciones necesarias para la exactitud del resultado, se halla qué temperatura producen los diversos rayos del espectro, se percibirá que no es igual en todos; que el rayo violeta es el que ocasiona una temperatura menos elevada y que desde allí va aumentando hasta un sitio, que ya está fuera del espectro, pero próximo á los rayos rojos.

891. De estas esperiencias han deducido los físicos, que además de los rayos luminosos emanan del sol otros rayos caloríficos, que no pueden aunque se condensen convertirse en luminosos; y puesto que dichos rayos se encuentran principalmente fuera del espectro solar y del lado de los rayos rojos, se infiere que son menos refrangibles que los rayos luminosos.

892. Se puede tambien probar directamente que los rayos de calor que procede de un foco cualquiera, aunque no sea luminoso, experimentan refraccion cuando atraviesan un prisma; y tambien se reflejan totalmente como le sucede á la luz, cuando el rayo de incidencia forma un ángulo con la normal á la cara del prisma superior al ángulo límite.

893. *De otras acciones que tiene la luz en los cuerpos.* Además de la accion de iluminar y calentar los cuerpos, tiene en ellos la luz otro influjo, que para proceder con orden dividiremos en el que ejerce en aquellos que pertenecen á los inorgánicos, y en el que tiene en los orgánicos.

894. *Accion de la luz en los cuerpos inorgánicos.* El nitrato de plata por ejemplo, que es blanco, se ennegrece con la accion de la luz; lo mismo le sucede á otras muchas sales que permanecen sin variar de color en lugares oscuros. El cloro pierde su color espuesto á la luz; el ácido nítrico se descompone en parte; y de blanco que era se pone amarillento, otros muchos fenómenos químicos se esplican tambien por la accion de la luz. En ella está fundado el arte del daguerrotipo.

895. *Accion de la luz en los cuerpos organizados.* Las infusiones de algunas plantas pierden en poco tiempo sus colores cuando se hallan espuestas á los rayos del sol. Las plantas que se erian en parajes en donde no puedan recibir la luz mas que por un sitio, se inclinan hácia aquel punto, y hácia él dirigen sus ramas. Por la accion de la luz sale de las plantas el oxigeno y se esparce en la atmósfera.

896. La luz muda tambien los colores de las plantas y á

ella deben estas el color verde. Asi que estan en la oscuridad, por mucho tiempo se ponen pálidas y al fin casi blancas; lo que sucede aunque continuen recibiendo el mismo calor que antes, á lo menos segun podemos juzgar por los termómetros.

897. Obra la luz en las sustancias animales, aun despues de haber cesado la vida, pues algunas se ponen mas blancas por la accion del sol, como el marfil, y los huesos; y parece tambien que por su influjo se retarda la putrefaccion. En los animales vivos pone mas oscuro el color, como se observa fácilmente en los hombres que se esponen continuamente al sol. Los habitantes de los pueblos frios son blancos, los de los paises templados morenos, los de los calientes de color verdoso ó negro. Con respecto á la salud es evidente por la observacion que es sumamente perjudicial el vivir en un lugar oscuro; que la luz tiene una accion estimulante en la economia animal, y quizá otro influjo en la constitucion de la atmósfera; y que es mal sano respirar continuamente un aire privado de luz, por esta sola causa. La luz tiene ademas en el cuerpo del hombre la accion de elevar la temperatura, pero no es posible descubrir la diferencia que haya entre esta elevacion producida por los rayos del sol y la que procede de los cuerpos calientes que no emanan luz. Es evidente ademas que la accion de la luz produce en la retina una irritacion especial, que se trasmite á toda la economia: esto se conoce muy bien en ciertas enfermedades en que no puede el enfermo soportar la luz, aunque sus ojos no esten afectados visiblemente.

898. En ciertas acciones quimicas y tal vez en la organizacion no tiene el mismo influjo cualquiera clase de luz, sino que es diverso el que comunican los rayos violados del espectro solar, que el que ejercen los rojos.



INDICE

de las materias contenidas en esta obra.

	<u>Páginas.</u>
Leccion 1. ^a . Definiciones, propiedades generales, estension, instrumento para medirla	9
Estension.....	11
Nonio ó Vernier.....	13
Comparador.....	15
Tornillo micrométrico.....	16
Esferometro de Cauchoix.....	»
Máquina para dividir.....	17
Leccion 2. ^a . Impenetrabilidad y divisibilidad.....	19
Impenetrabilidad.....	»
Divisivilidad.....	21
Leccion 3. ^a De la porosidad y de la inercia.....	25
Porosidad.....	»
Inercia.....	28
Leccion 4. ^a De la movilidad y del movimiento, me- cánica, division, nociones de estática	30
Movilidad.....	»
Nociones de estática.....	31
Paralelógramo de las fuerzas.....	32
Dada una fuerza descomponerla en otras dos.....	33

	<u>Páginas.</u>
Leccion 5. ^a Siguen las nociones de estática.....	34
Resultante de dos fuerzas paralelas.....	35
Centro de fuerzas paralelas.....	36
Momento de una fuerza y origen de momentos.....	»
Leccion 6. ^a Siguen las nociones de estática , gravedad ó pesantez.....	37
Ley de la gravedad.....	38
Plomada ó hilo á plomo.....	39
Centro de gravedad.....	»
Medio mecánico de hallarlo.....	»
Equilibrio de los cuerpos atravesados por un eje horizontal.....	40
Equilibrio de los cuerpos apoyados.....	41
Aplicaciones.....	»
Leccion 7. ^a Continuacion de las nociones de estática. Maquinaria.....	44
Palanca.....	»
Aplicaciones.....	47
Balanza.....	48
Romana.....	50
Balanza de báscula.....	51
Leccion 8. ^a Sigue la maquinaria.....	52
Plano inclinado.....	»
Polea.....	55
Moton ó polipasto.....	56
Leccion 9. ^a Sigue la maquinaria.....	58
Torno.....	59
Tornillo.....	»
Cuña.....	60
Leccion 10. ^a Sigue la maquinaria.....	62
Principio general para hallar la ley de equilibrio en las máquinas compuestas.....	»
Ruedas dentadas.....	63
Rosca sin fin.....	»
Cric ó gato.....	64
Del rozamiento.....	65
Leccion 11. ^a Nociones de Dinámica.....	68
Ley del movimiento uniforme.....	69

	<u>Páginas.</u>
Cantidad de movimiento.....	70
Leyes del movimiento uniformemente variado.....	»
Velocidad final.....	72
Aplicacion á la gravedad.....	»
Plano inclinado de Galileo.....	74
Máquina de Awood.....	»
Leccion 12. ^a Siguen las nociones de Dinámica.....	78
Movimiento curvilíneo.....	»
Fuerza centrífuga.....	79
Bomba de Hesse.....	81
Péndulo.....	82
Leccion 13. ^a Siguen las nociones de Dinámica.....	87
Choque de los cuerpos.....	»
Elasticidad.....	»
Choque de los cuerpos blandos.....	88
Choque de los cuerpos elásticos entre sí	90
Choque de los cuerpos elásticos contra un plano.....	91
Comunicacion del movimiento.....	92
Leccion 14. ^a Aplicaciones de la dinámica á los mo- vimientos del hombre.....	94
De los movimientos voluntarios en par- ticular.....	95
Del acto de andar.....	»
Del salto.....	97
Del salto vertical.....	98
Del salto tangencial.....	104
Del acto de correr.....	»
Movimientos de sustentacion, prepul- sion, traccion, constriccion y diduc- cion.....	105
Leccion 15. ^a Nociones de hidrostática.....	107
Equilibrio de los líquidos.....	»
Presion de arriba abajo.....	108
Presion de abajo arriba.....	110
Presion lateral.....	111
Vasos comunicantes.....	112
Nivel de aire.....	»

	<u>Páginas.</u>
Propiedades de los sólidos sumergidos en los fluidos.....	113
Principio de Arquímedes.....	»
Cuerpos flotantes.....	114
Equilibrio de los gases.....	115
Leccion 16. ^a Sigue la hidrostática.....	117
Densidades.....	»
Densidades de los cuerpos sólidos.....	118
Densidades de los líquidos.....	119
Densidades de los gases.....	121
Areómetros de volúmen constante.....	122
Areómetros de volúmen variable.....	123
Volúmetros.....	124
Leccion 17. ^a Sigue la hidrostática.....	126
Tubos capilares.....	»
Endosmosis y exosmosis.....	132
Leccion 18. ^a Nociones de hidro dinámica.....	133
Teorema de Torricelli.....	134
Modo de obtener el nivel constante....	135
Contracción de la vena fluida.....	136
Propiedades particulares de los cuerpos.....	137
Ductilidad.....	»
Maleabilidad.....	138
Tenacidad.....	»
Dureza.....	139
Leccion 19. ^a Del aire.....	140
Globos de Magdebourg.....	141
Barómetro.....	142
de taza ó de cubeta.....	144
de sifon.....	145
comun.....	146
de cuadrante.....	»
Aplicaciones á la economía animal.....	148
Leccion 20. ^a Sigue la teoría del aire.....	150
Ley de Mariotte.....	»
Aerostatos.....	151
Máquina neumática.....	152
Leccion 21. ^a Sigue la teoría del aire.....	160

	<u>Páginas.</u>
Embolo para condensar el aire.....	160
Máquina de compresion.....	161
Fuente de compresion.....	»
Fuente de Heron.....	162
Bomba de tonelero.....	»
Fuente intermitente.....	163
Lámpara de hidrógeno.....	»
Manómetros.....	164
Diablillo cartesiano.....	»
Compresibilidad de los líquidos.....	165
Sifon.....	166
Tubos de seguridad.....	168
Leccion 22.^a Sigue la teoría del aire.....	170
Bombas.....	»
Aplicaciones á la economía animal de las nociones de hidrostática é hidro dinámica.....	173
Tension de los líquidos en las vias cir- culatorias.....	175
Leccion 23.^a Del calórico.....	177
Construccion del termómetro.....	179
Termómetro de aire.....	184
Termómetro diferencial.....	»
Termóscopo de Rumford.....	»
Termómetros de máximo y mínimo....	185
Leccion 24.^a Sigue la teoría del calórico.....	187
Dilatacion de los gases.....	»
Dilatacion de los líquidos.....	189
Dilatacion de los sólidos.....	191
Pirómetros.....	192
de Wegwood.....	»
de Brongniart.....	»
de Borda.....	»
Péndulos compensados.....	194
Termómetro de Bregnet.....	195
Leccion 25.^a Sigue la teoría del calórico.....	196
Irradiacion del calórico.....	»
Irradiacion aparente del frio.....	199
Leyes de la irradiacion.....	200

	<u>Páginas.</u>
Reflexion y absorcion del calórico.....	201
Transmision del calorico radiante al traves de los cuerpos sólidos y li- quidos.....	202
Conductibilidad de los cuerpos para el calórico.....	203
Conductibilidad de los cuerpos sólidos para el calórico.....	»
Conductibilidad de los líquidos.....	204
Conductibilidad de los gases.....	205
Aplicaciones.....	»
Leyes del enfriamiento de los cuerpos..	206
Leyes del enfriamiento en el vacío.....	»
Leyes del enfriamiento de los cuerpos que estan rodeados de gases.....	208
Capacidad de los cuerpos para el calor.	«
Leccion 26.^a Sigue la teoría del calórico.....	210
Calórico específico.....	»
Método de Lavoisier y Laplace.....	»
Método de las mezclas.....	212
Método del enfriamiento.....	213
Modo de medir el calórico producido por la combustion.....	214
Mutacion de estado de los cuerpos.....	215
Fusion.....	»
Conversion de los líquidos en vapores...	216
Leccion 27.^a Sigue la teoría del calor.....	221
Vapores.....	»
Fuerza elástica de los vapores.....	221
Tension máxima de los vapores.....	222
Medida de la fuerza elástica del vapor del agua entre 0.º y 100.º C.....	223
Medida de la fuerza elástica del vapor del agua á temperaturas inferiores á cero grados.....	224
Medida de la tension del vapor del agua á temperaturas inferiores á cien gra- dos.....	»
Densidad del vapor del agua.....	226

	<u>Páginas.</u>
Mezclas de gases y vapores.....	227
Mutacion de estado de sólido á gaseoso.	»
Mutacion de estado de líquido á sólido.	228
Mutacion de estado de vapor á líquido.	229
Leccion 28. ^a Sigue la teoría del calórico.....	231
Correcciones que deben hacerse en las densidades de los cuerpos relativamente á las temperaturas , á la presión atmosférica y á ejecutarse en el aire las pesadas de los cuerpos.....	»
Del calor animal.....	232
Causas de enfriamiento que tiene el cuerpo humano.....	237
Aplicaciones de la teoría del calor á la terapéutica.....	238
Higrometría.....	239
Leccion 29. ^a De la electricidad.....	242
Distribucion de la electricidad entre los cuerpos que se tocan.....	245
Hay dos especies de electricidad.....	246
Leyes de las atracciones y repulsiones eléctricas.....	247
Pérdida de la electricidad.....	249
Distribucion de la electricidad en los cuerpos conductores.....	251
Comunicacion de la electricidad.....	»
Teoría de la electricidad.....	252
Leccion 30. ^a Sigue la teoría de la electricidad.....	254
Electricidad por influencia.....	»
Un cuerpo electrizado por influencia electriza á otro tambien por influencia.....	255
Un cuerpo cargado de electricidad puede tambien electrizarse por influencia.....	256
Máquina eléctrica.....	257
Electrómetro de cuadrante.....	258
Electróforo.....	259
Electrósopo.....	»

	<u>Páginas.</u>
Leccion 31. ^a Sigue la teoria de la electricidad.....	262
Electricidad disimulada.....	»
Botella de Leyden.....	264
Botellas de cascada.....	266
Baterias eléctricas.....	267
Leccion 32. ^a Sigue la teoría de la electricidad.....	269
Condensador.....	»
Pistoleta de Volta.....	271
Electricidad de las nubes.....	272
Efectos del rayo.....	274
Leccion 33. ^a Galvanismo.....	277
Pilas galbánicas.....	279
de columna.....	»
de cajon.....	281
de Daniell.....	282
Efectos físicos de la pila.....	»
Efectos químicos.....	283
Leccion 34. ^a Sigue la teoría de la electricidad.....	287
Modos de electrizar el cuerpo humano.	»
Propiedades y efectos de la electricidad por frotacion y por contacto en la economia animal.....	289
Electricidad animal.....	291
Electricidad producida por la presion.	292
Electricidad producida por el calor....	293
Electricidad producida por la combus- tion.....	»
Leccion 35. ^a Del magnetismo.....	295
Propiedades generales de los imanes...	»
Ley de las atracciones y repulsiones magnéticas.....	300
Leccion 36. ^a Sigue la teoria del magnetismo.....	303
Teoría antigua del magnetismo.....	»
Modos de imantar.....	305
Armaduras.....	306
Puntos consecuentes.....	»
Declinacion.....	307
Inclinacion.....	308
Influjo que los cuerpos en movimiento	

	<u>Páginas.</u>
tienen en los imanes.....	309
Leccion 37. ^a Electro dinamica.....	311
Rotacion de los imanes producida por la corriente voltaica.....	315
Teoría de Ampere del magnetismo....	317
Leccion 38. ^a Acústica.	320
El sonido no se trasmite en el vacío....	321
Velocidad del sonido en el aire.....	322
Propagacion del sonido en un tubo cilíndrico indefinido abierto por ambas estremidades.....	326
Leccion 39. ^a Sigue la acústica.....	329
Reflexion del sonido.....	»
Bocina.....	331
Trompetilla ó cornete acústico.....	»
Estetoscopio... ..	»
Vibraciones de las cuerdas.....	»
Leyes de las vibraciones transversales de las cuerdas.....	332
Vibraciones de las láminas.....	333
Instrumentos de viento.....	334
Sirena de Cagniard Latour.....	336
Ruedas dentadas de Savart.....	337
Organo del oído.....	»
Organo de la voz.....	339
Leccion 40. ^a Optica.....	341
Propagacion de la luz.....	343
Decremento en la intensidad de la luz en razon del cuadrado de la distancia	345
Velocidad de la luz.....	346
Leccion 41. ^a Catóptrica... ..	348
Leyes de la reflexion de la luz.....	349
Consecuencias de las leyes de la refle- xion en los espejos planos.....	350
Reflexion de la luz en los espejos esfé- ricos cóncavos y convexos.....	352
De los espejos cilíndricos y cónicos.. ..	355
Leccion 42. ^a Dióptrica.....	356
Leyes de la refraccion simple.....	357

	<u>Páginas.</u>
Del ángulo límite.....	358
De los prismas.....	359
Condiciones de la emergencia en los prismas.....	361
De las lentes.....	»
Propiedades de las lentes convergentes.	»
Propiedades de las lentes divergentes..	364
Leccion 43. ^a Sigue la óptica.....	366
Descomposicion y recomposicion de la luz.....	»
Acromatismo.....	368
Funcion de la vision.....	»
Leccion 44. ^a Sigue la óptica.....	373
Leccion 45. ^a Sigue la óptica.....	380
Aplicaciones de las leyes de la refraccion de la luz á los instrumentos de óptica.....	»
Microscopio simple.....	»
Microscopio compuesto.....	381
Microscopio solar.....	382
Anillos de color.....	»
Difraccion ó descomposicion de la luz, cuando pasa tocando á la superficie de los cuerpos.....	383
Refraccion doble.....	»
De los cristales de un eje y de su seccion principal.....	384
Cristales de dos ejes.....	385
Leccion 46. ^a Sigue la óptica.....	386
Polarizacion de la luz.....	»
Polarizacion circular.....	388
De los colores de los cuerpos.....	»
De los efectos caloríficos de la luz.....	389
De otras acciones que tiene la luz en los cuerpos.....	390
Accion de la luz en los cuerpos inorgánicos.....	»
Accion de la luz en los cuerpos organizados.....	»

ERRATAS.

Páginas.	Lineas.	Dice.	Léase.
41	24	<i>mnpq</i>	<i>mnph</i>
»	»	<i>gq</i>	<i>gh</i>
46	15	2EF,	2CF,
»	21	AP	BP
50	28	á cualquier	en cualquier
57	20	$\frac{01}{1}$	$\frac{1}{10}$
100	10	movimiento	momento
116	10	oza-g	goza-
179	24	yelo	hielo
180	17	o haria	lo haria
»	18	lbo	bo
188	27	millonésimas	cienmilésimas
210	1	XXVII	XXVI
238	27	calor	color
239	7	Higrometr a	Higrometria.
241	10	estan	esten
244	8	electrizarán	electrizaran
366	41	pone/	poner
277	11	buen buen	buen
290	38	efectos	afectos
338	21	la cara	las caras
375	29	(fig. 343).	(fig. 342A)
377	33	á tanto	tanto

Erratas de las láminas.

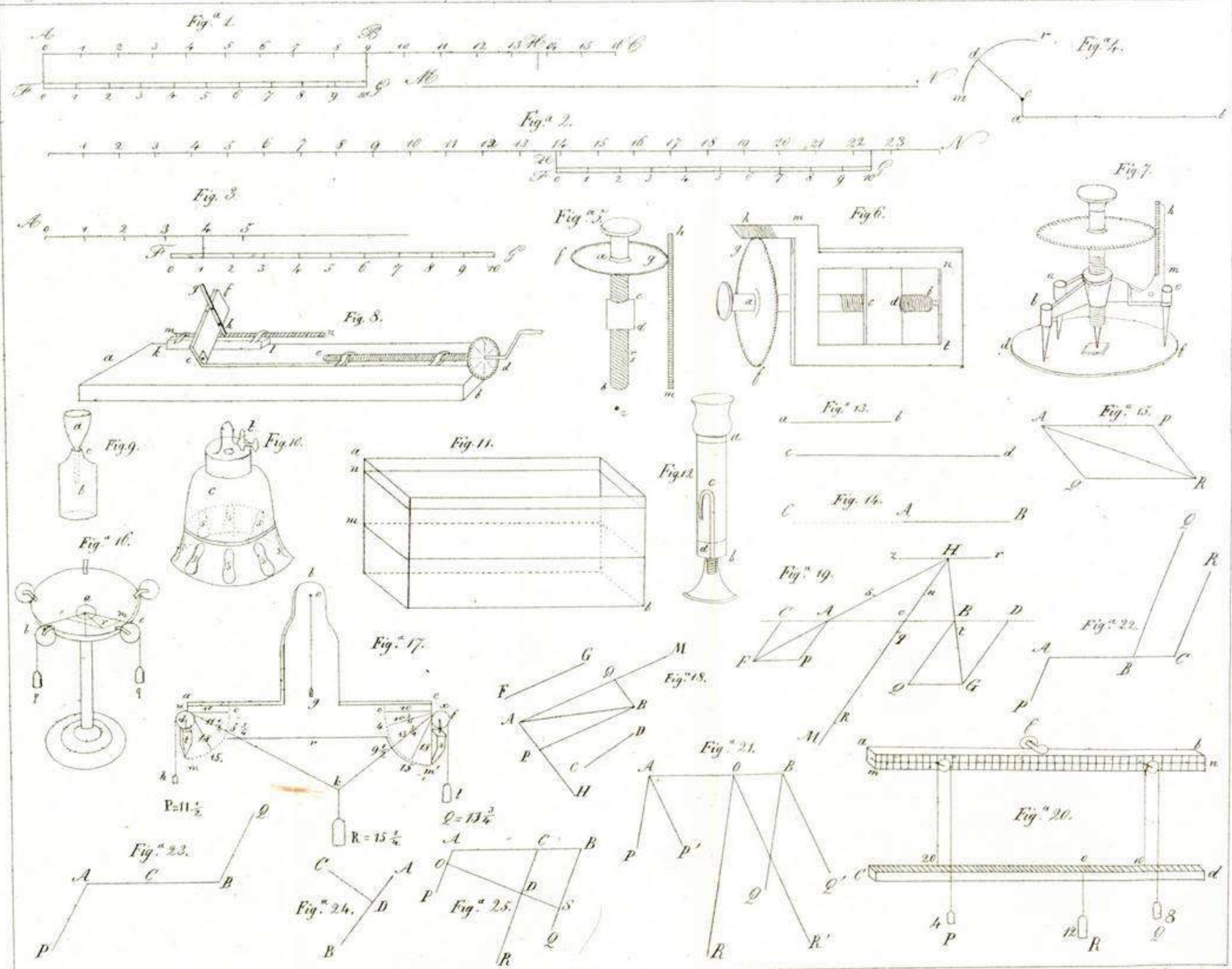
Láminas.	Figuras.	
1. ^a	10	falta la letra <i>d</i> en el aro de la campana.
»	16	falta la letra <i>d</i> en la estremidad de la línea que divide en dos partes iguales el ángulo <i>bac</i> .
11	275	falta la letra <i>d</i> en la estremidad del tubo derecho.

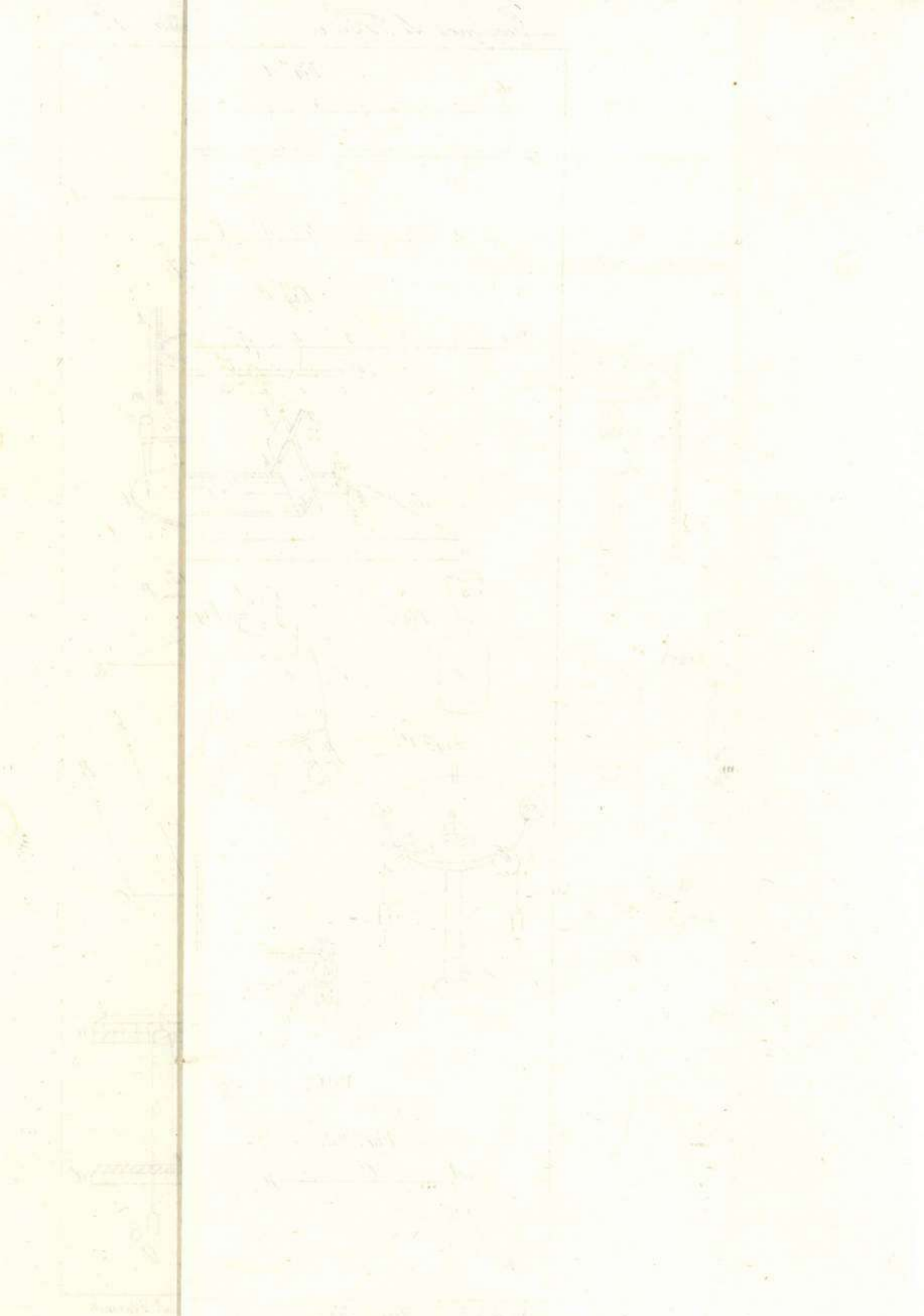
LISTA DE LAS PLANTAS

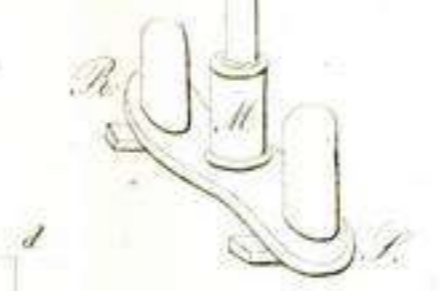
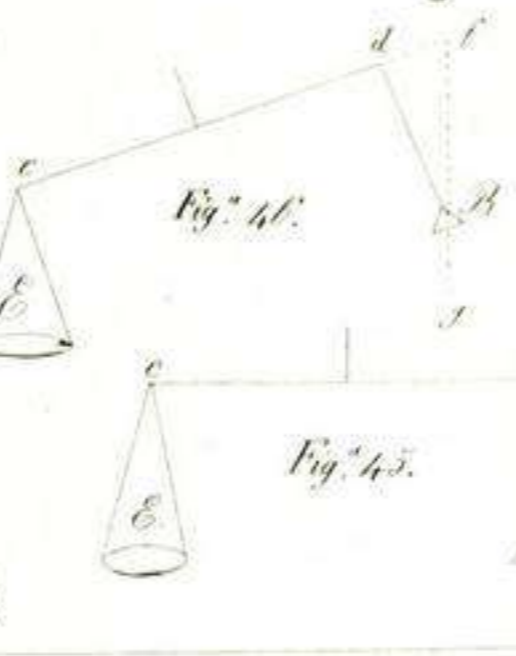
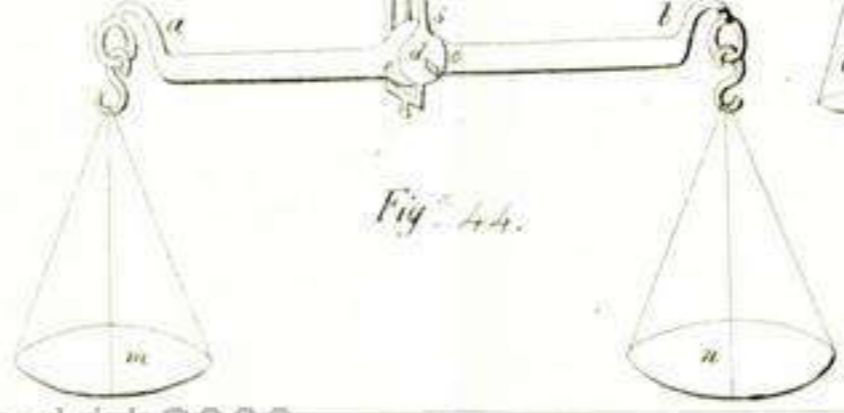
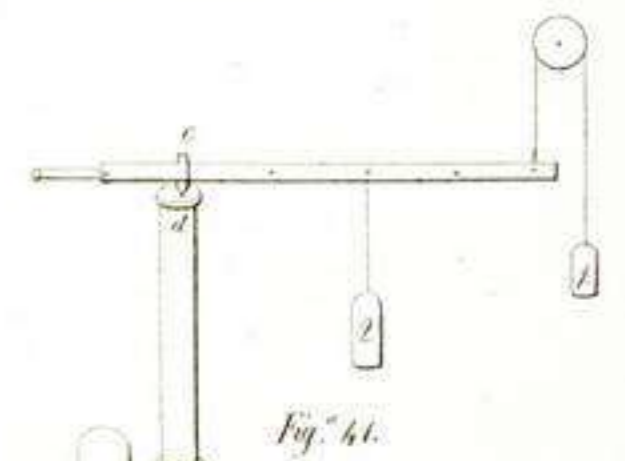
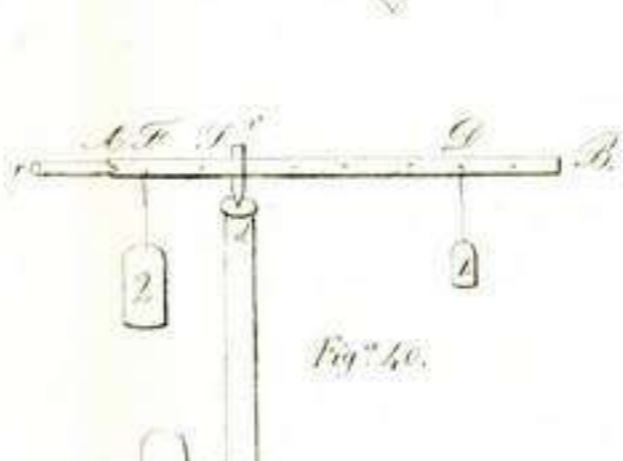
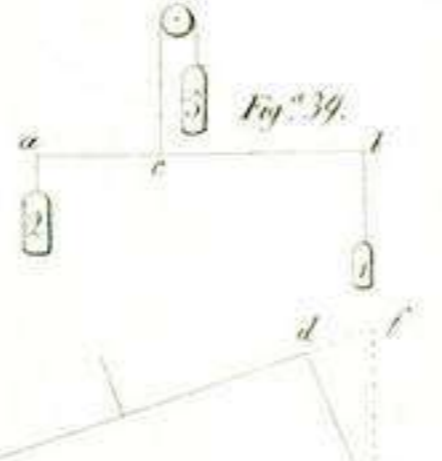
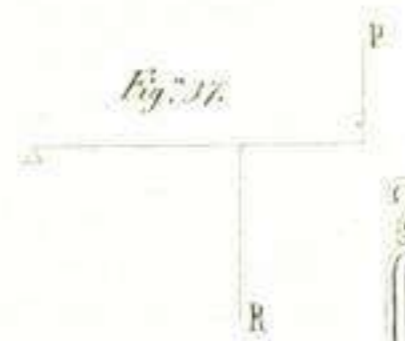
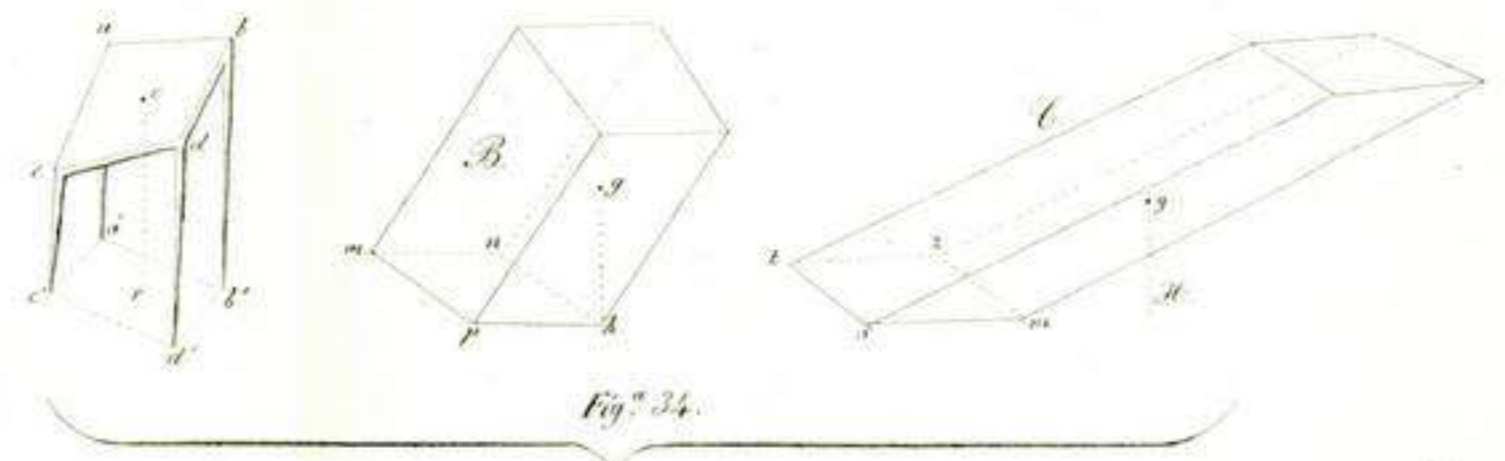
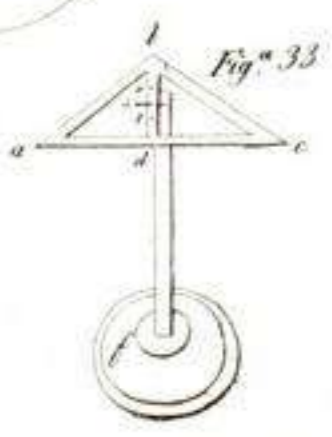
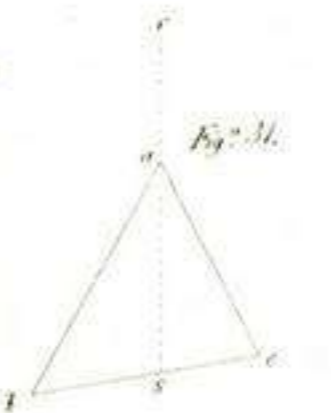
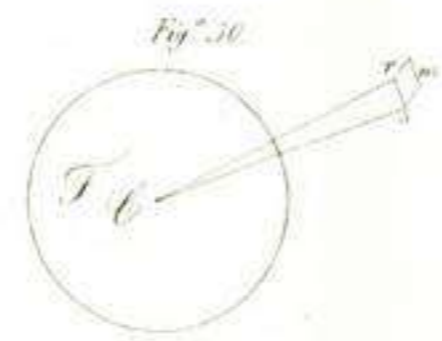
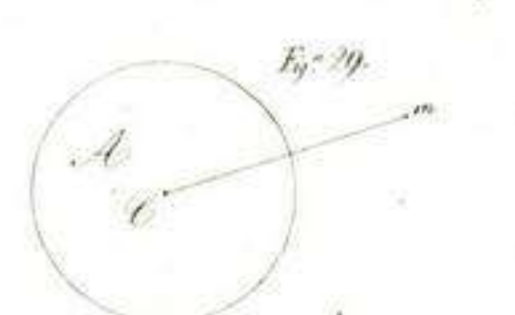
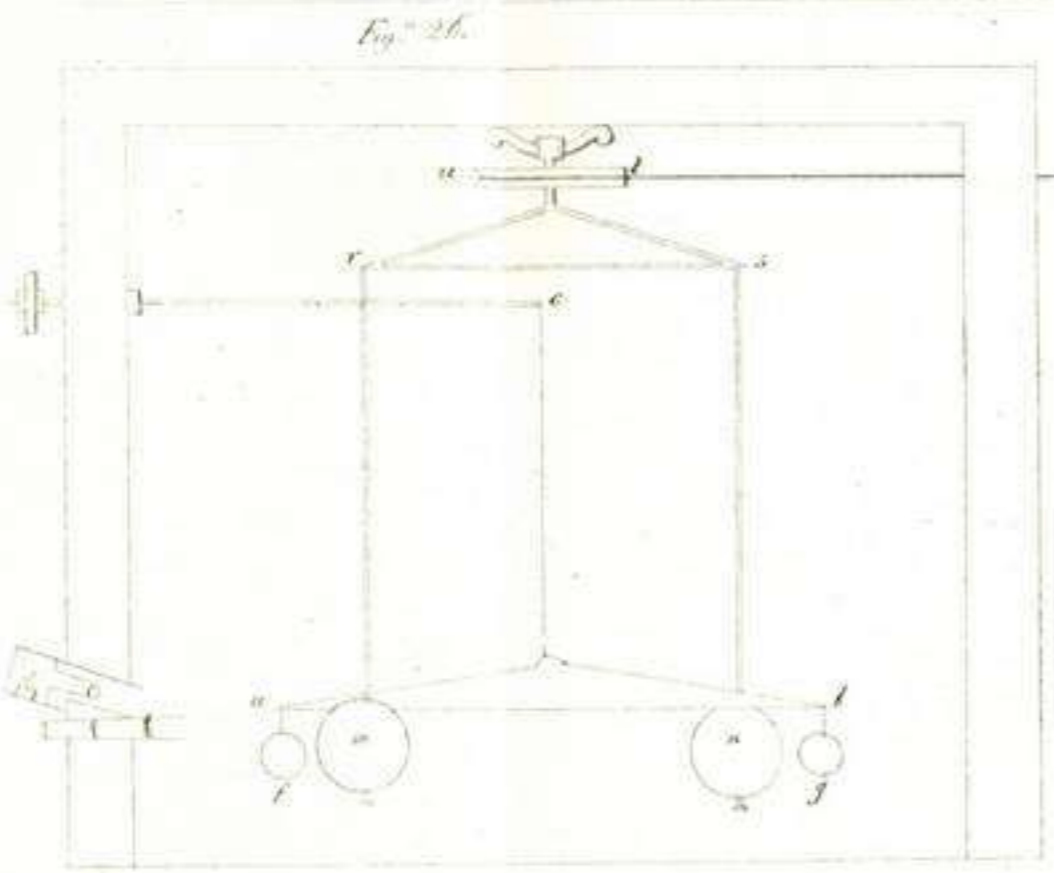
Plantas	Alturas	Distancias
1	24	14
2	25	15
3	26	16
4	27	17
5	28	18
6	29	19
7	30	20
8	31	21
9	32	22
10	33	23
11	34	24
12	35	25
13	36	26
14	37	27
15	38	28
16	39	29
17	40	30
18	41	31
19	42	32
20	43	33
21	44	34
22	45	35
23	46	36
24	47	37
25	48	38
26	49	39
27	50	40
28	51	41
29	52	42
30	53	43
31	54	44
32	55	45
33	56	46
34	57	47
35	58	48
36	59	49
37	60	50
38	61	51
39	62	52
40	63	53
41	64	54
42	65	55
43	66	56
44	67	57
45	68	58
46	69	59
47	70	60
48	71	61
49	72	62
50	73	63
51	74	64
52	75	65
53	76	66
54	77	67
55	78	68
56	79	69
57	80	70
58	81	71
59	82	72
60	83	73
61	84	74
62	85	75
63	86	76
64	87	77
65	88	78
66	89	79
67	90	80
68	91	81
69	92	82
70	93	83
71	94	84
72	95	85
73	96	86
74	97	87
75	98	88
76	99	89
77	100	90

Resumen de las plantas

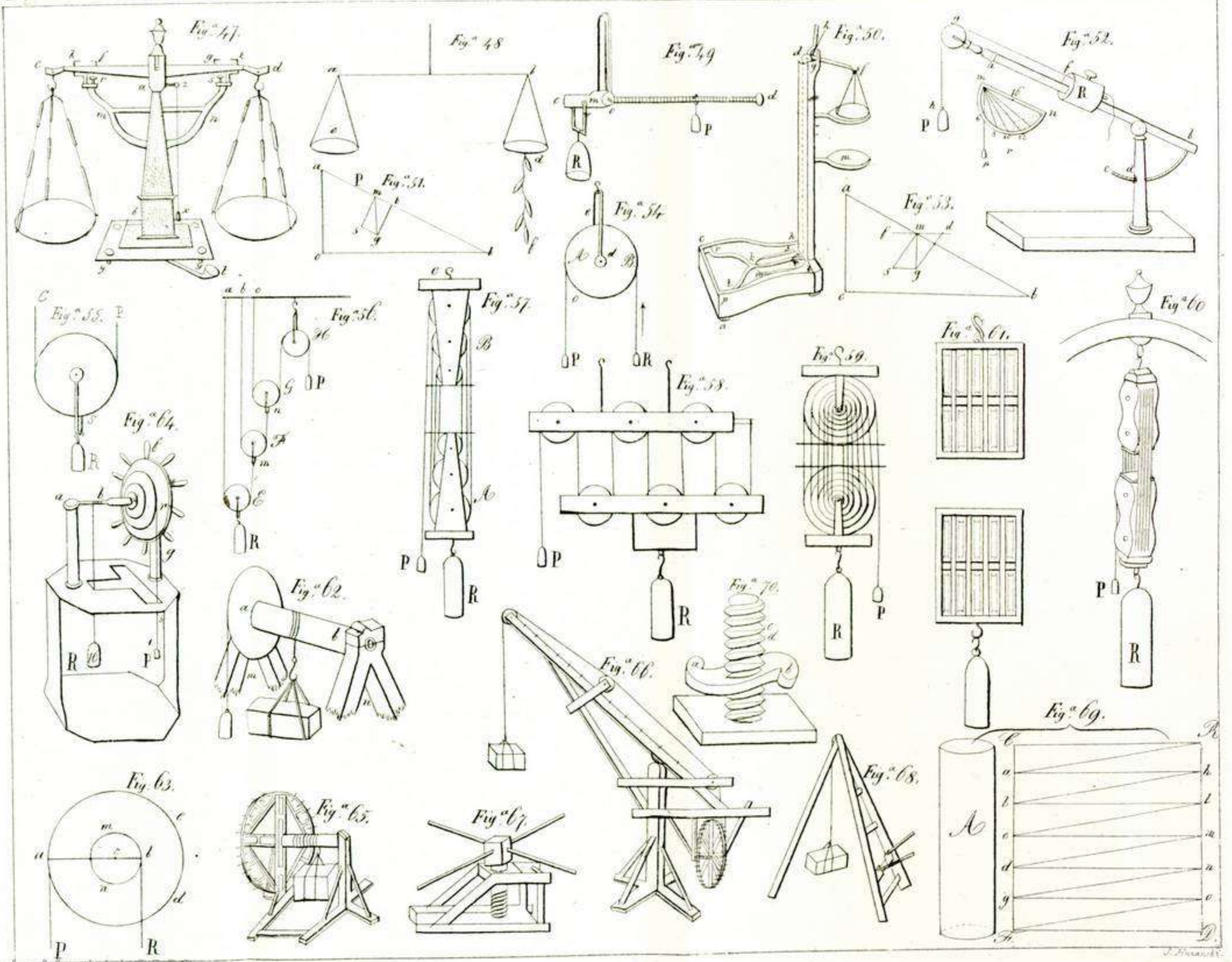
El presente trabajo tiene por objeto dar a conocer el estado de la flora de la zona estudiada, así como su distribución y abundancia. Para ello se ha realizado un relevamiento sistemático de las plantas que crecen en la zona, clasificándolas según su familia y especie. Los resultados se presentan en la siguiente tabla, donde se indica el número de ejemplares encontrados en cada punto de muestreo.

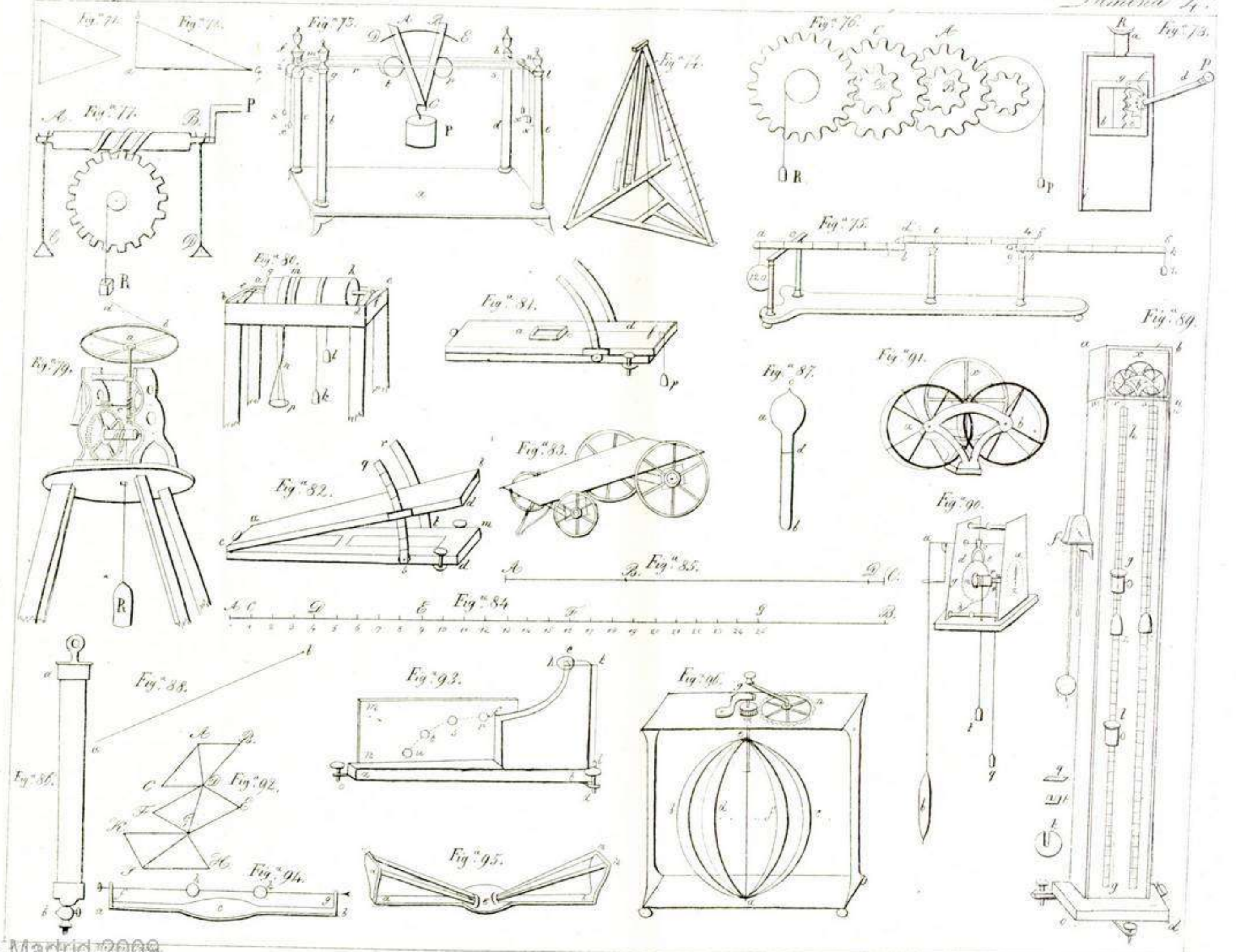


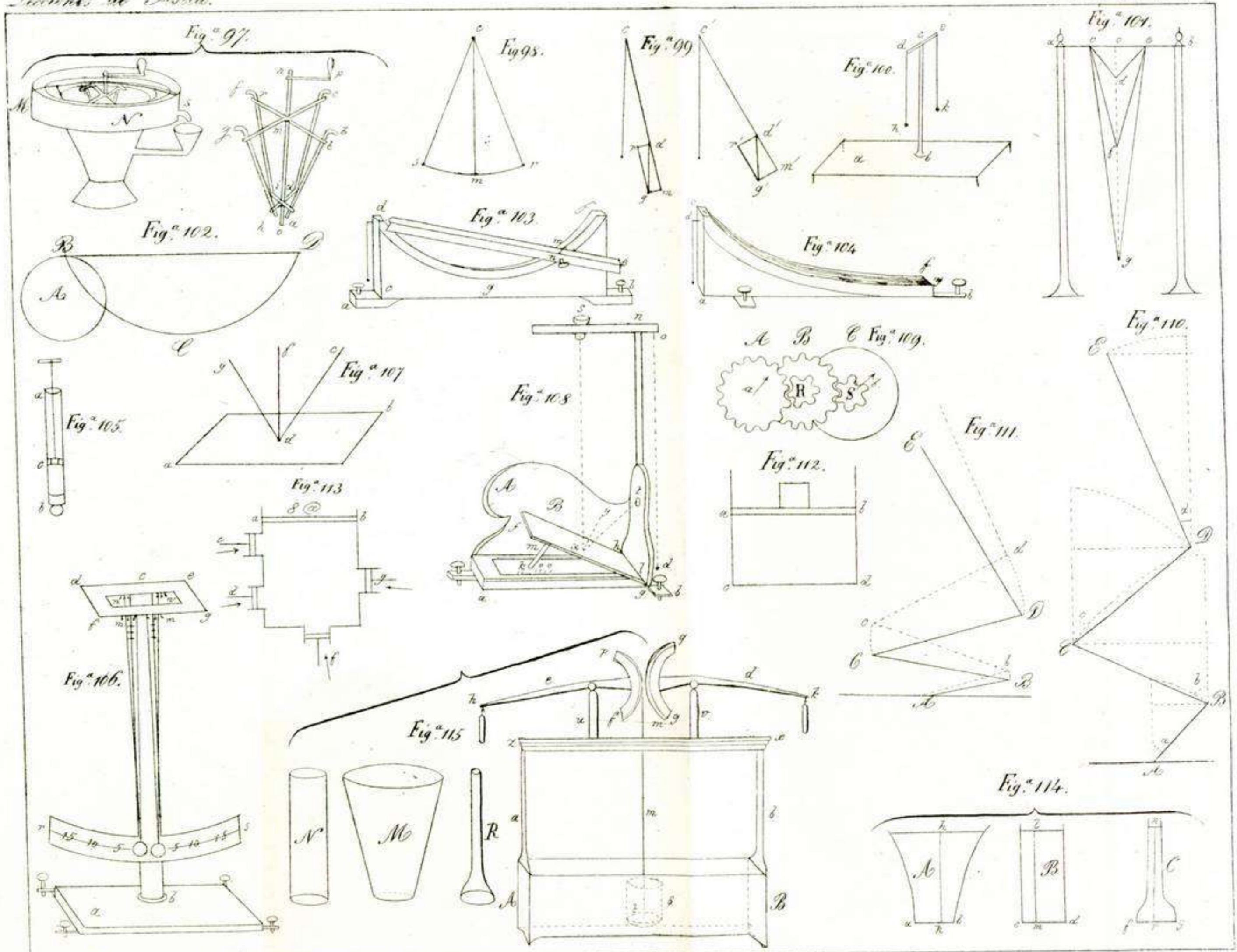


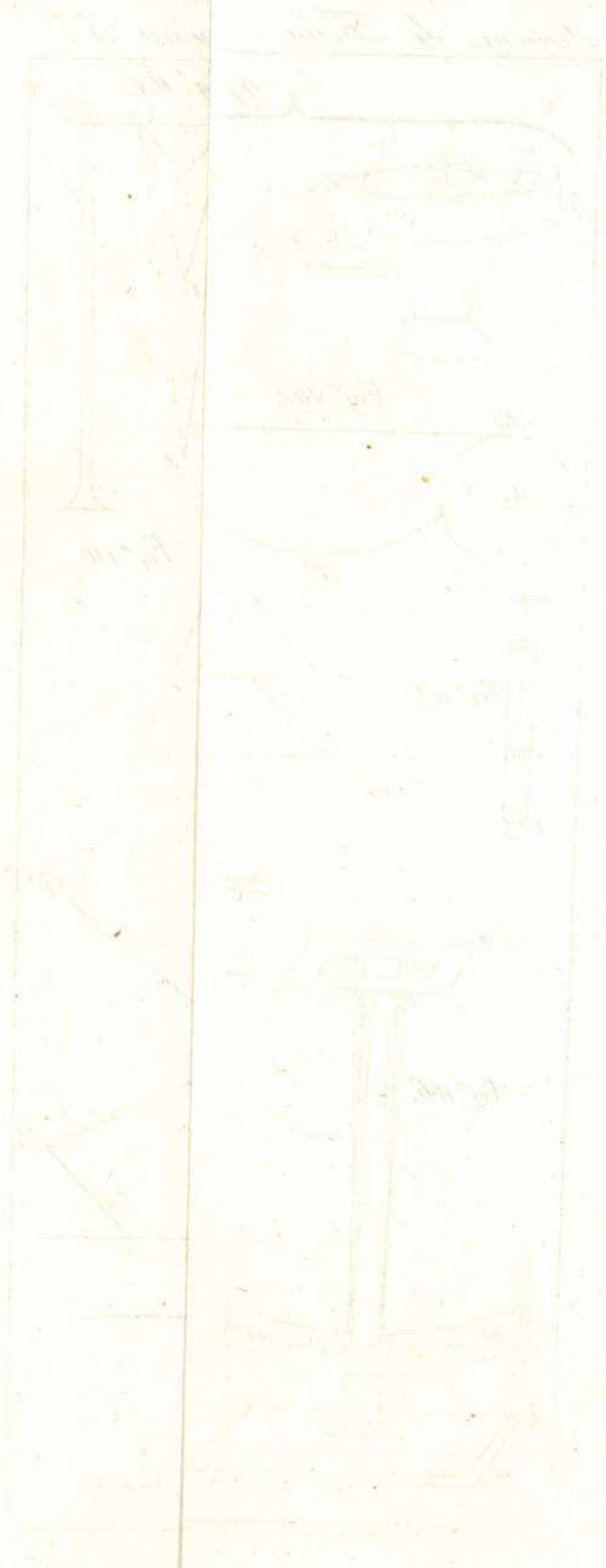


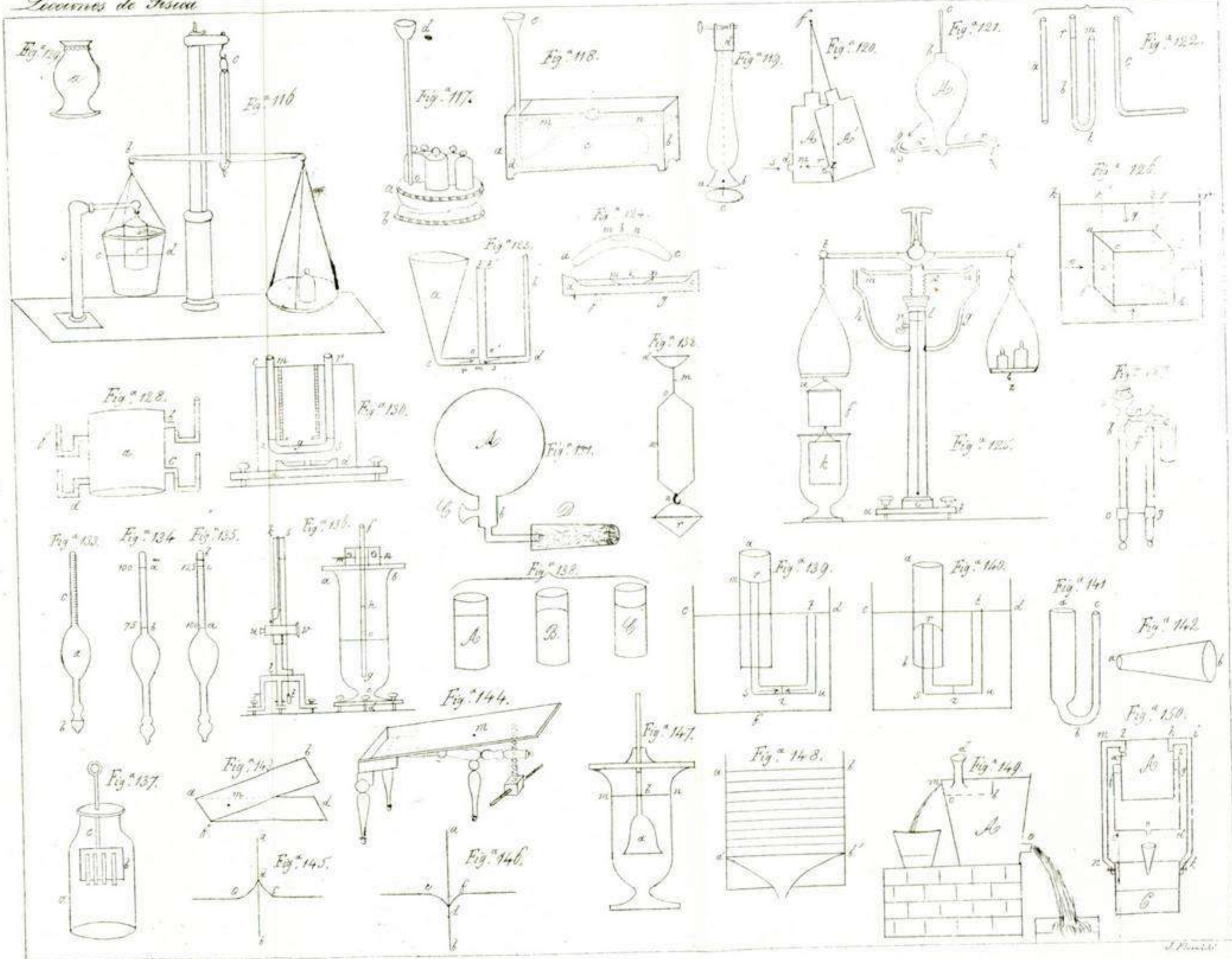






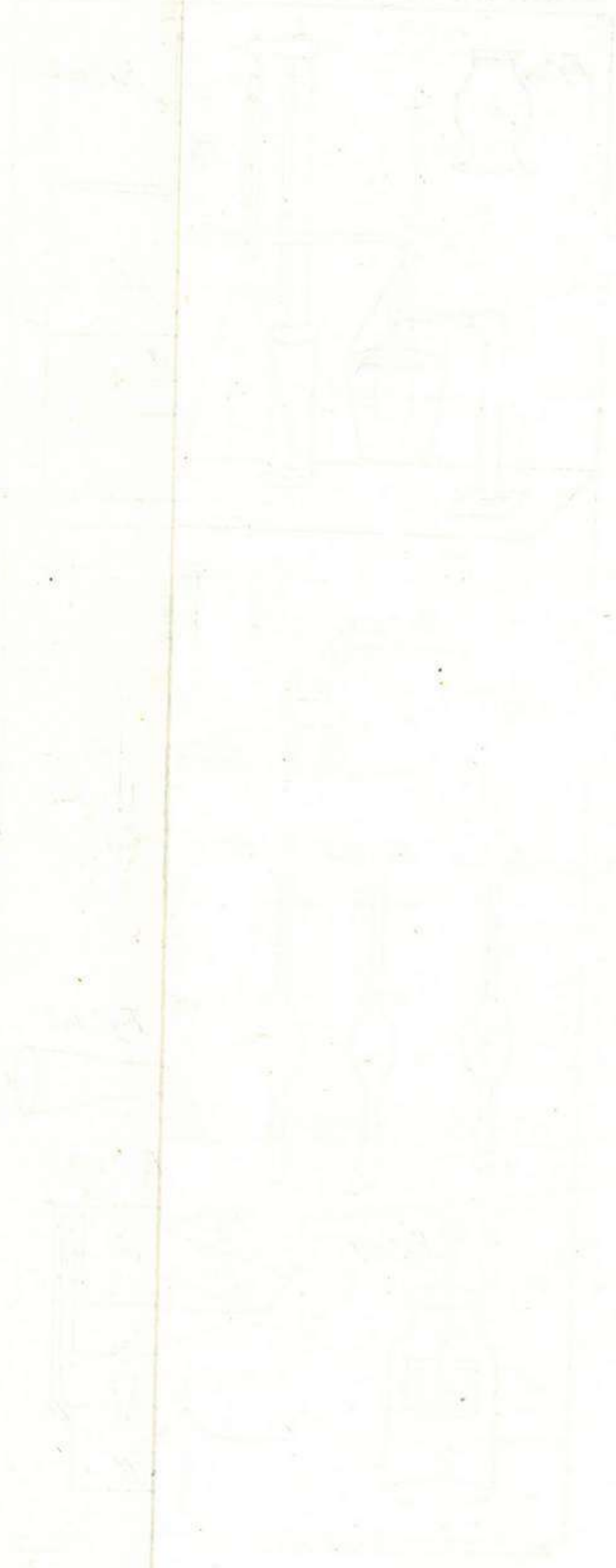


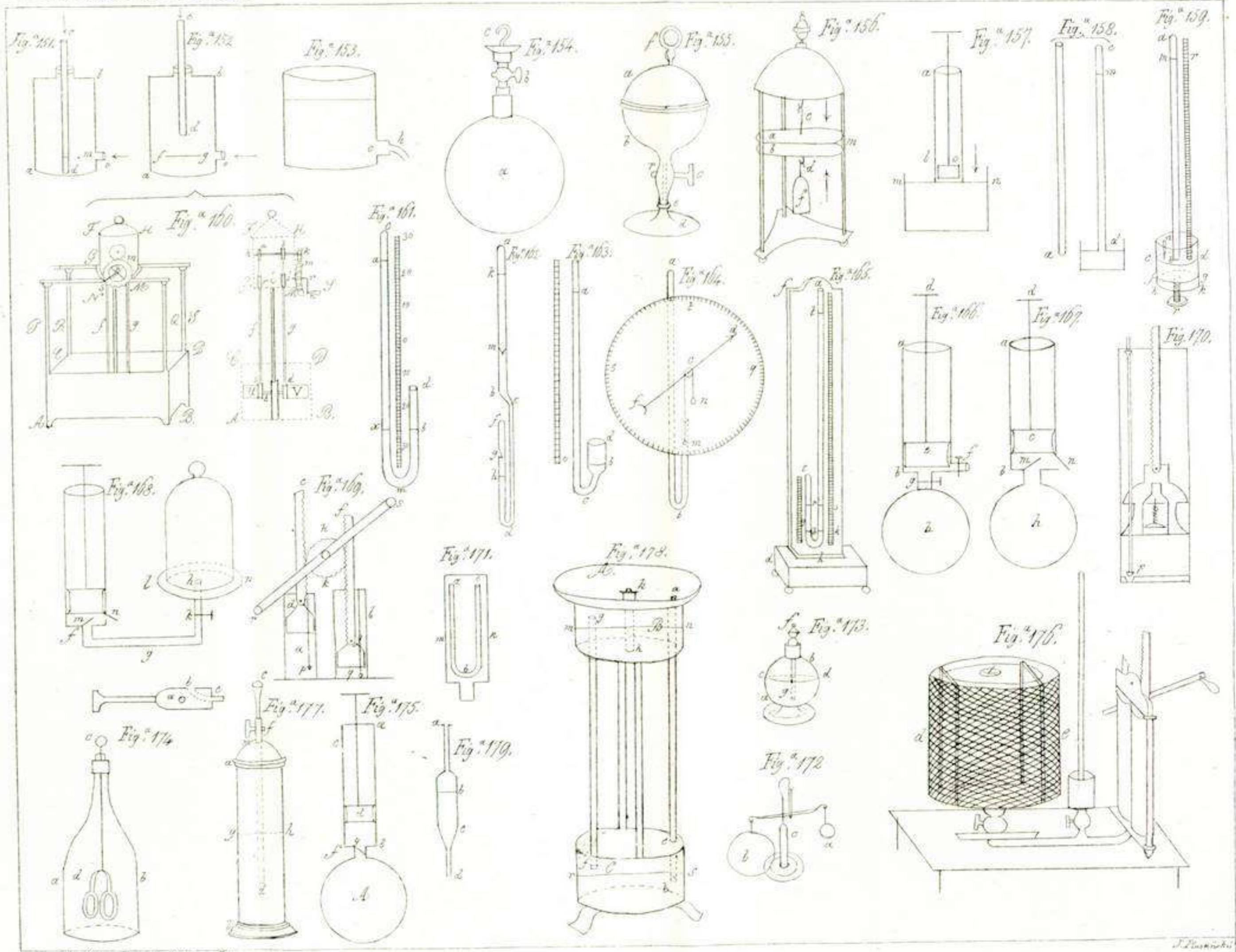


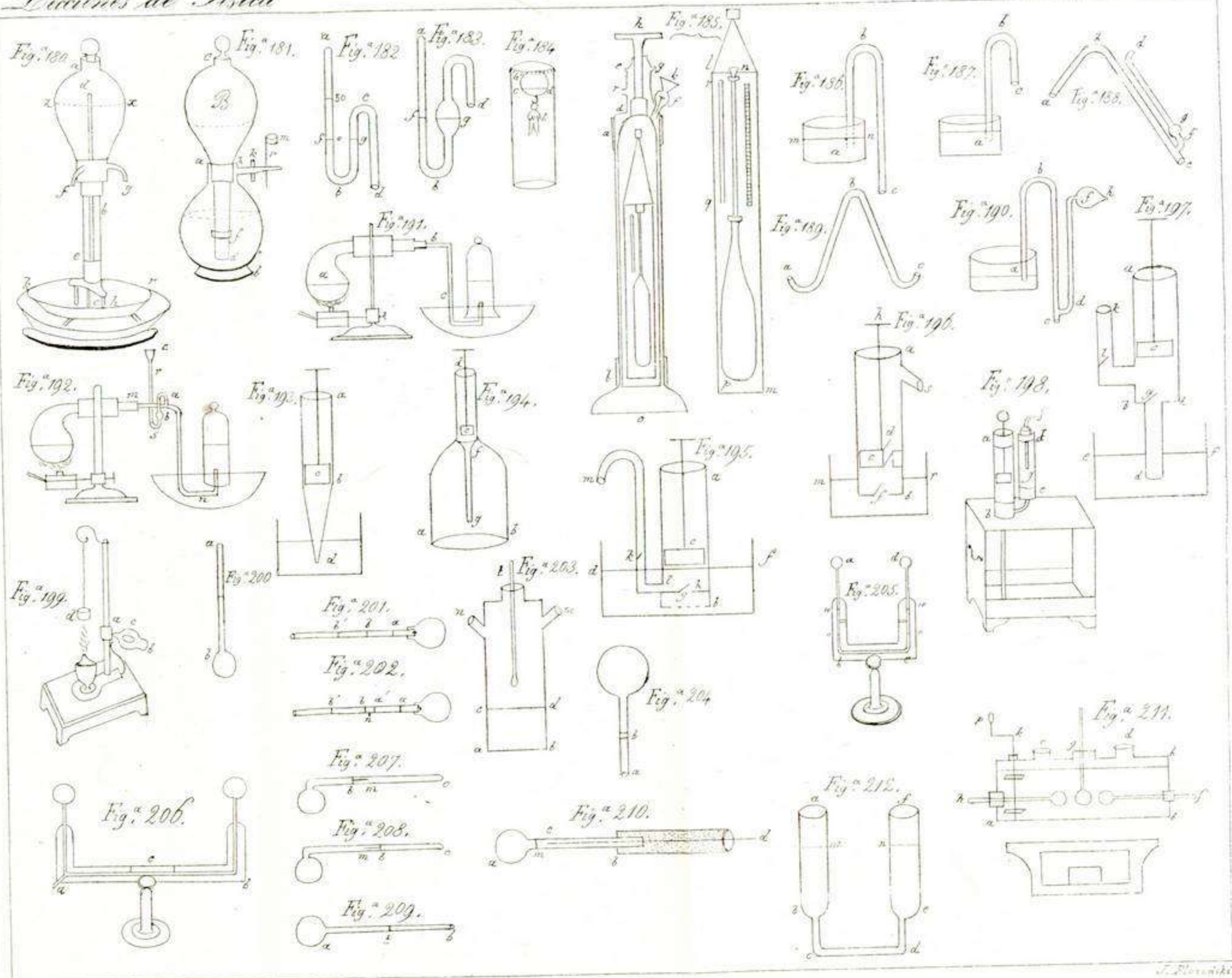


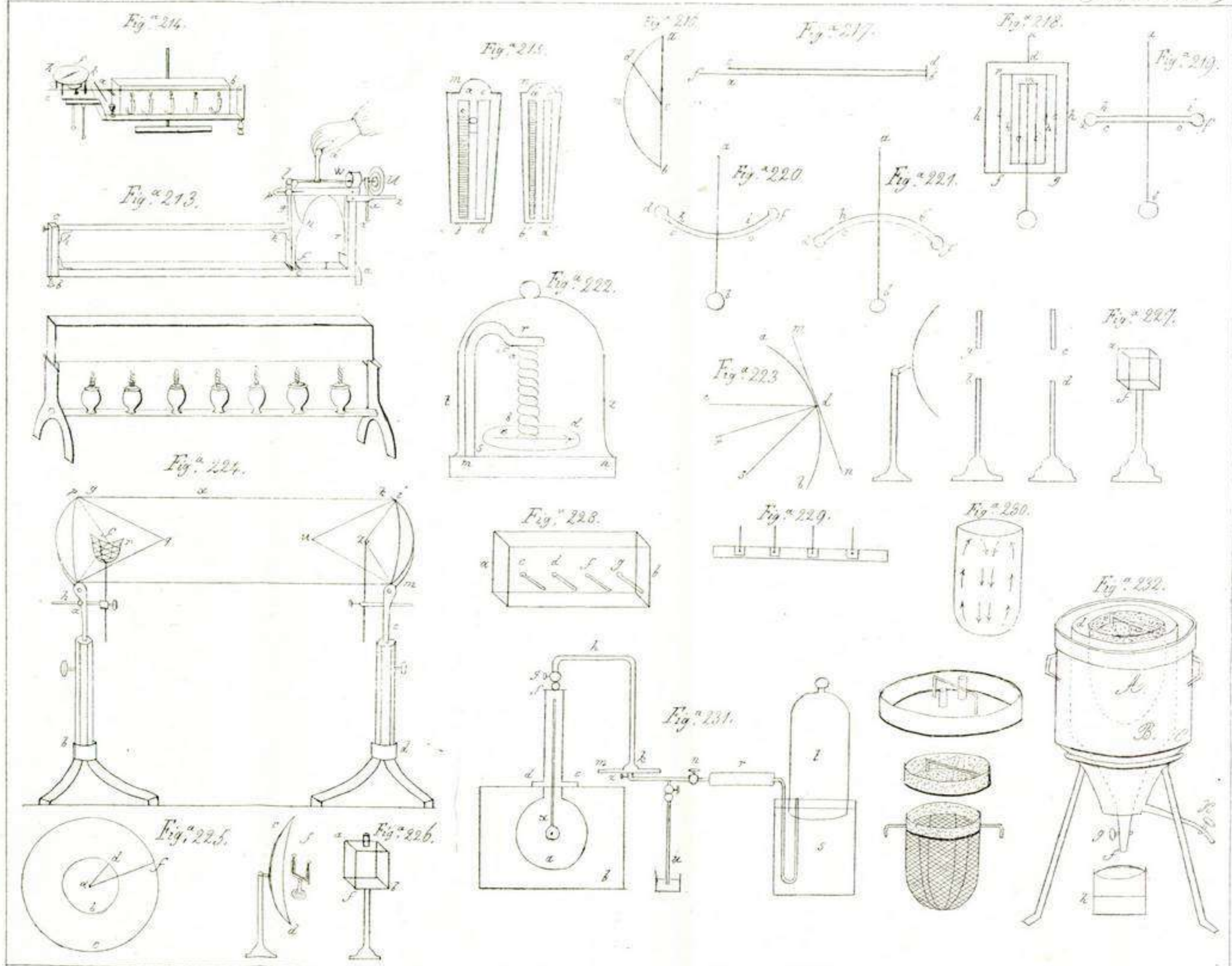
Impreso en la Imprenta de San Isidro, Madrid

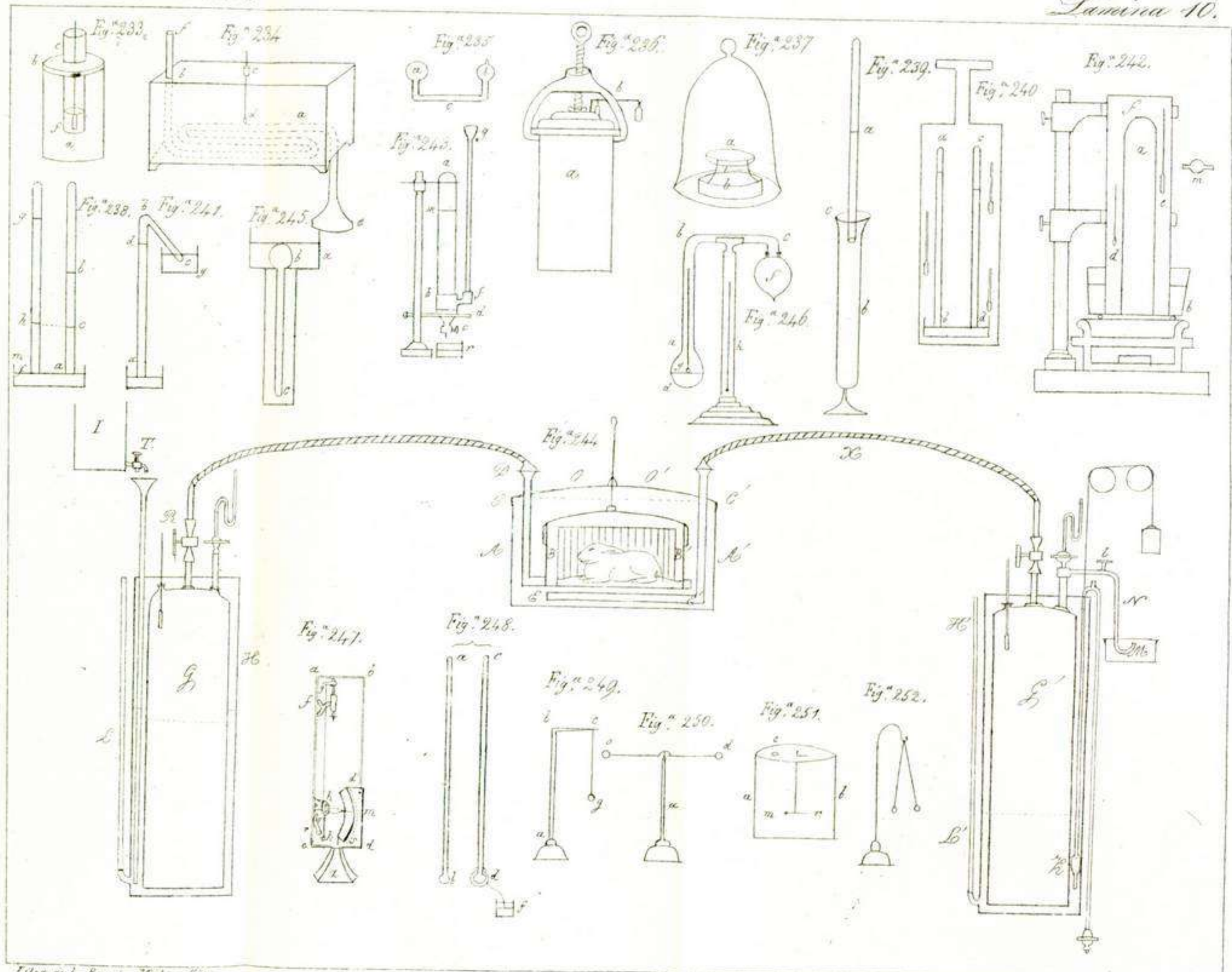
Plan of the ...



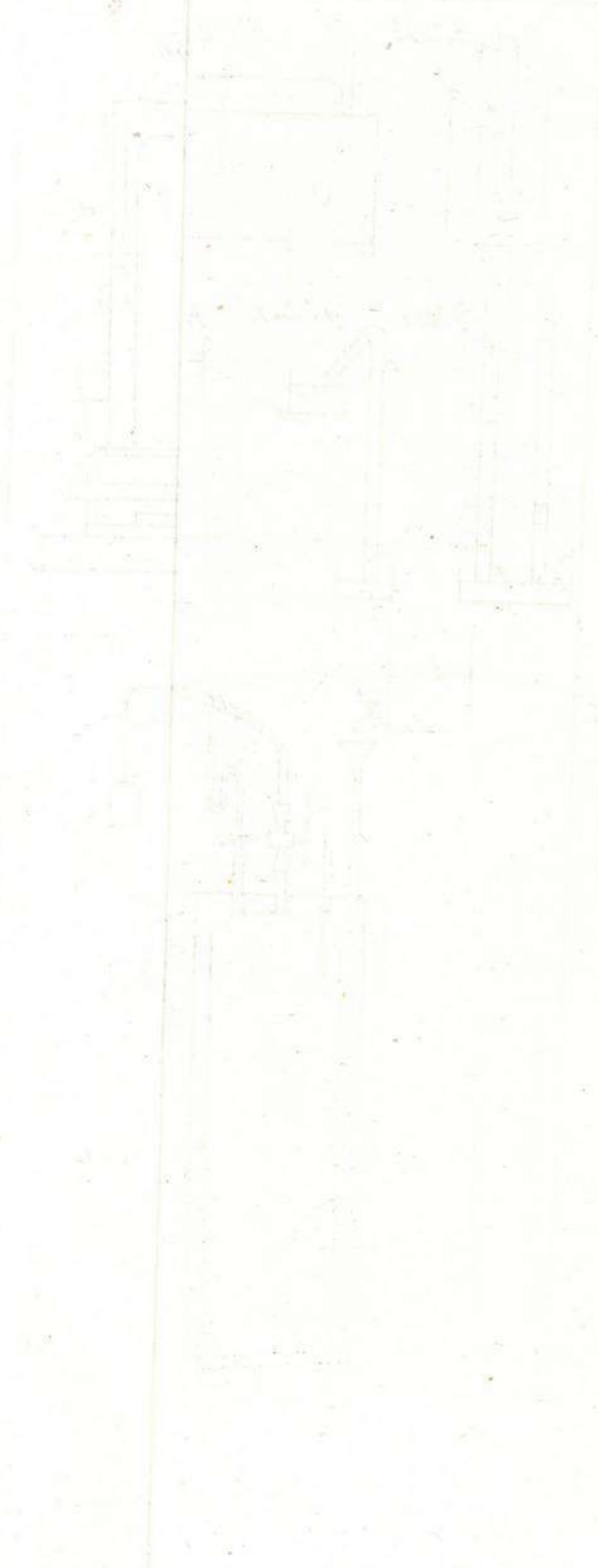


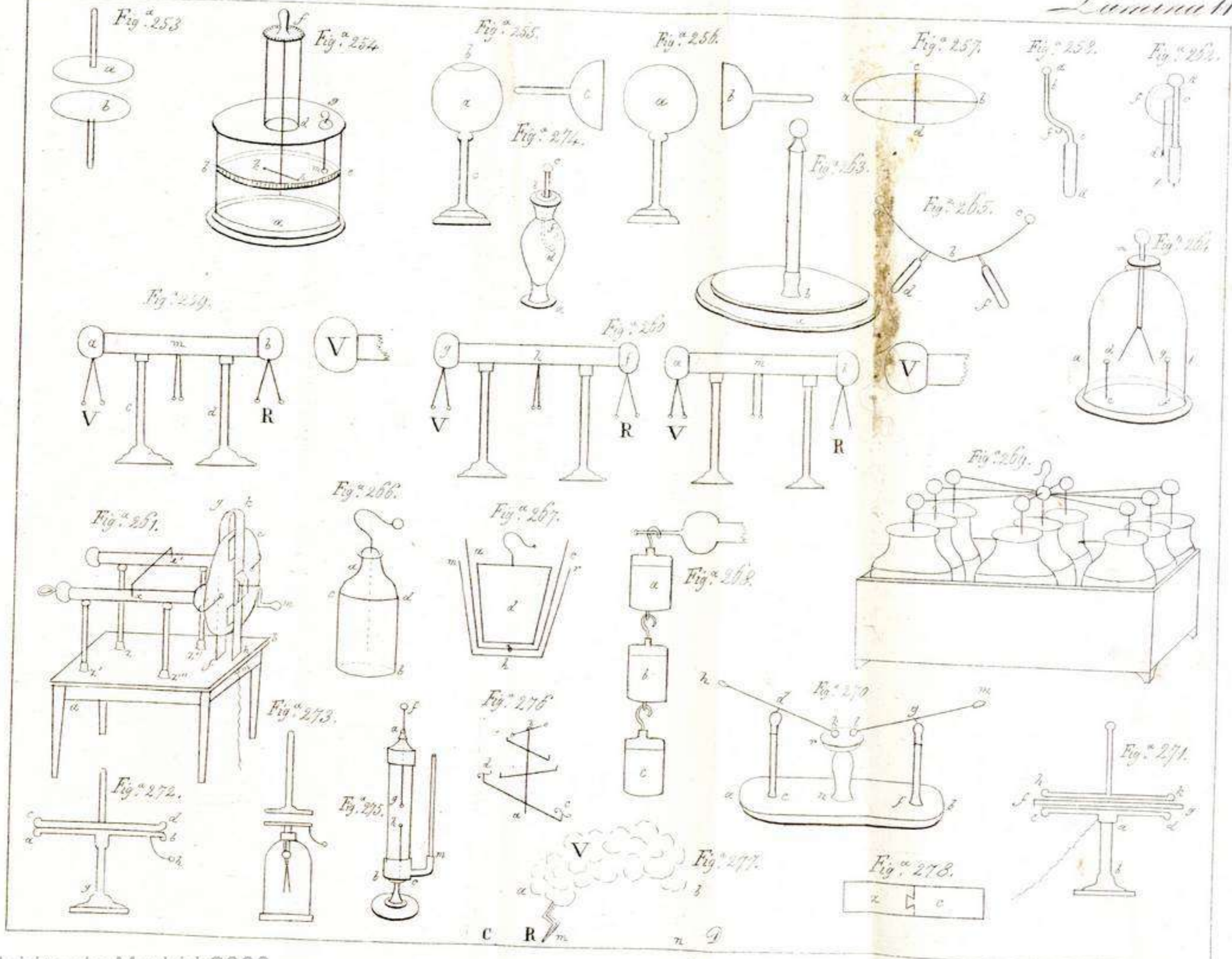


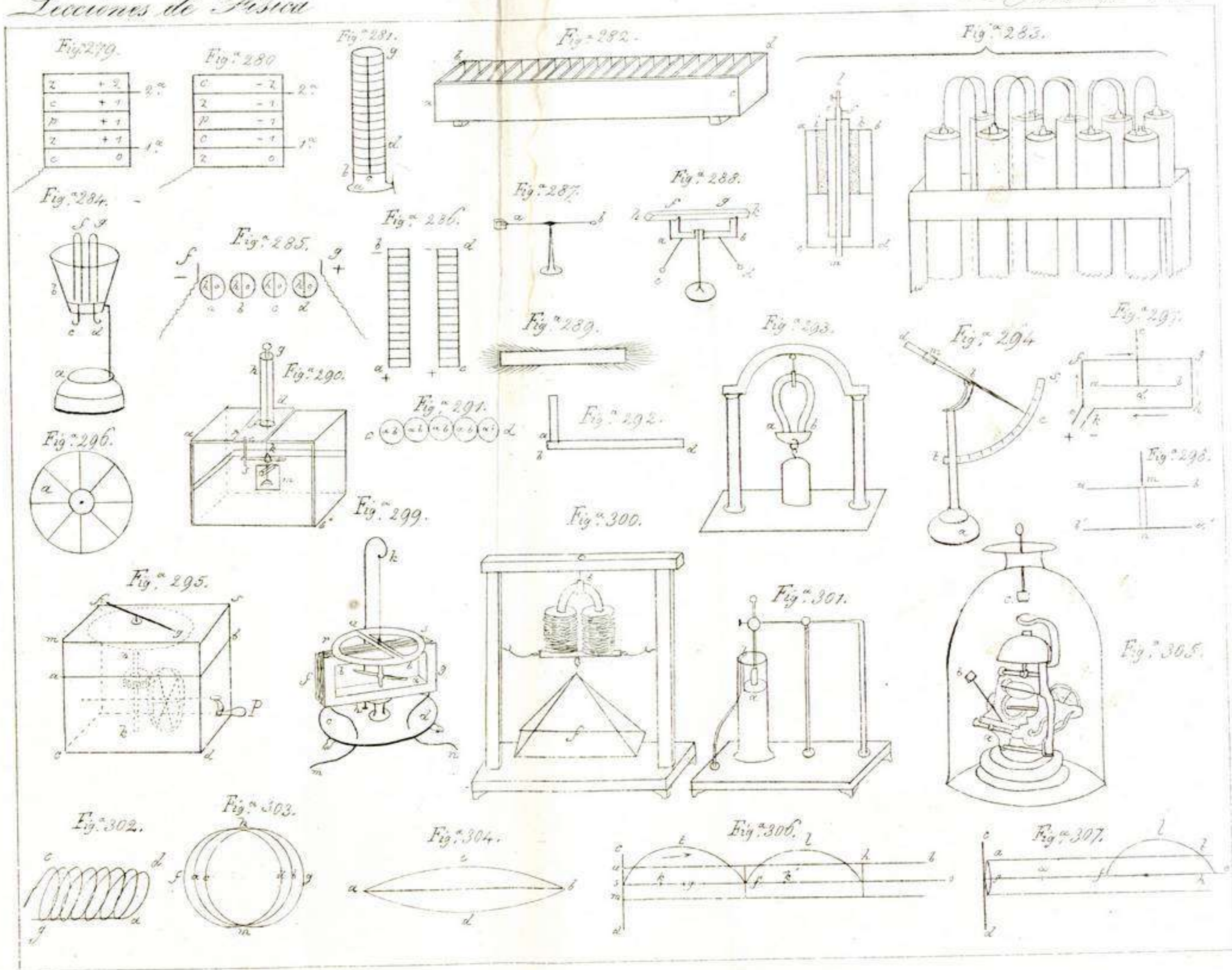


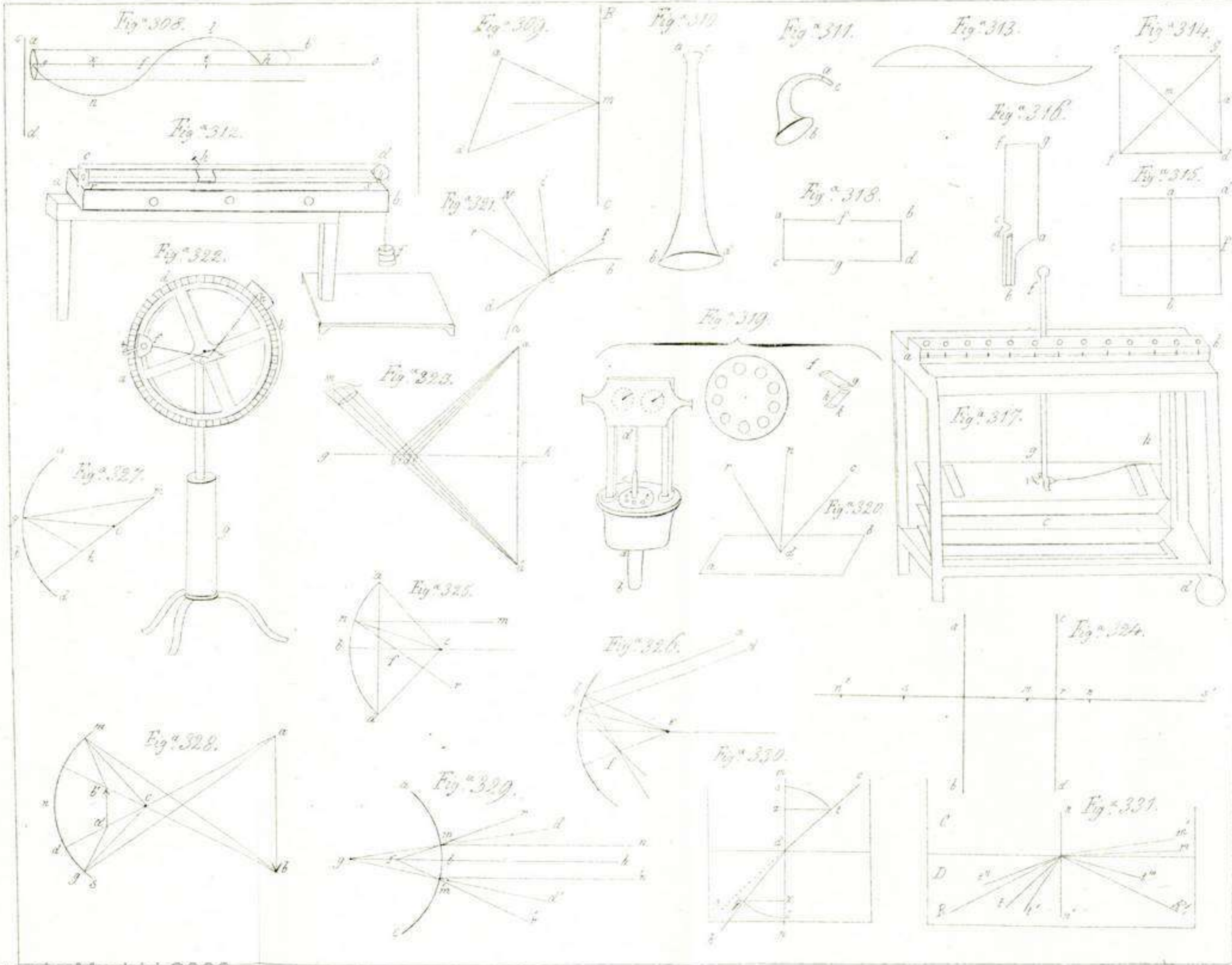


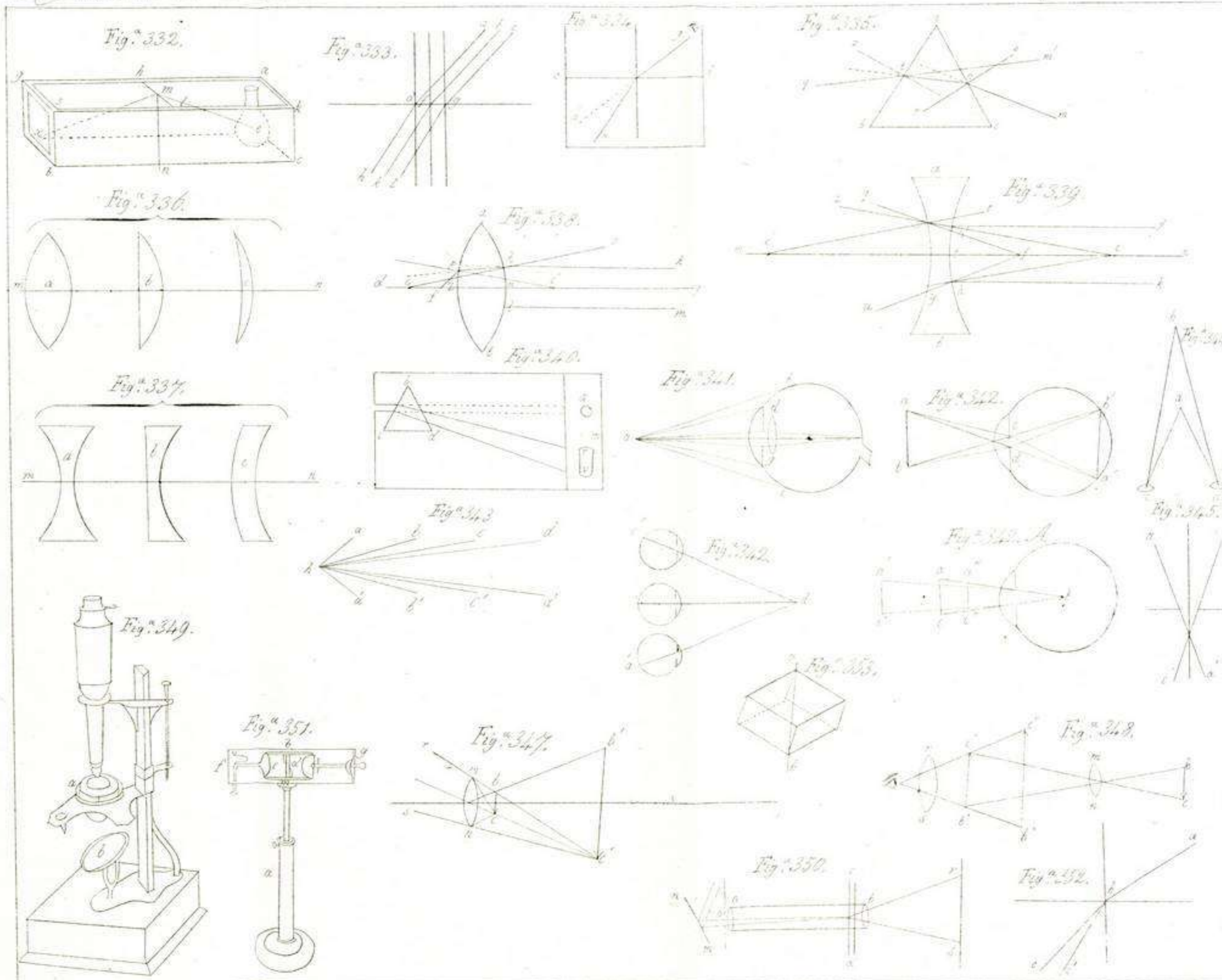
Handwritten text at the top of the page, possibly a title or header.





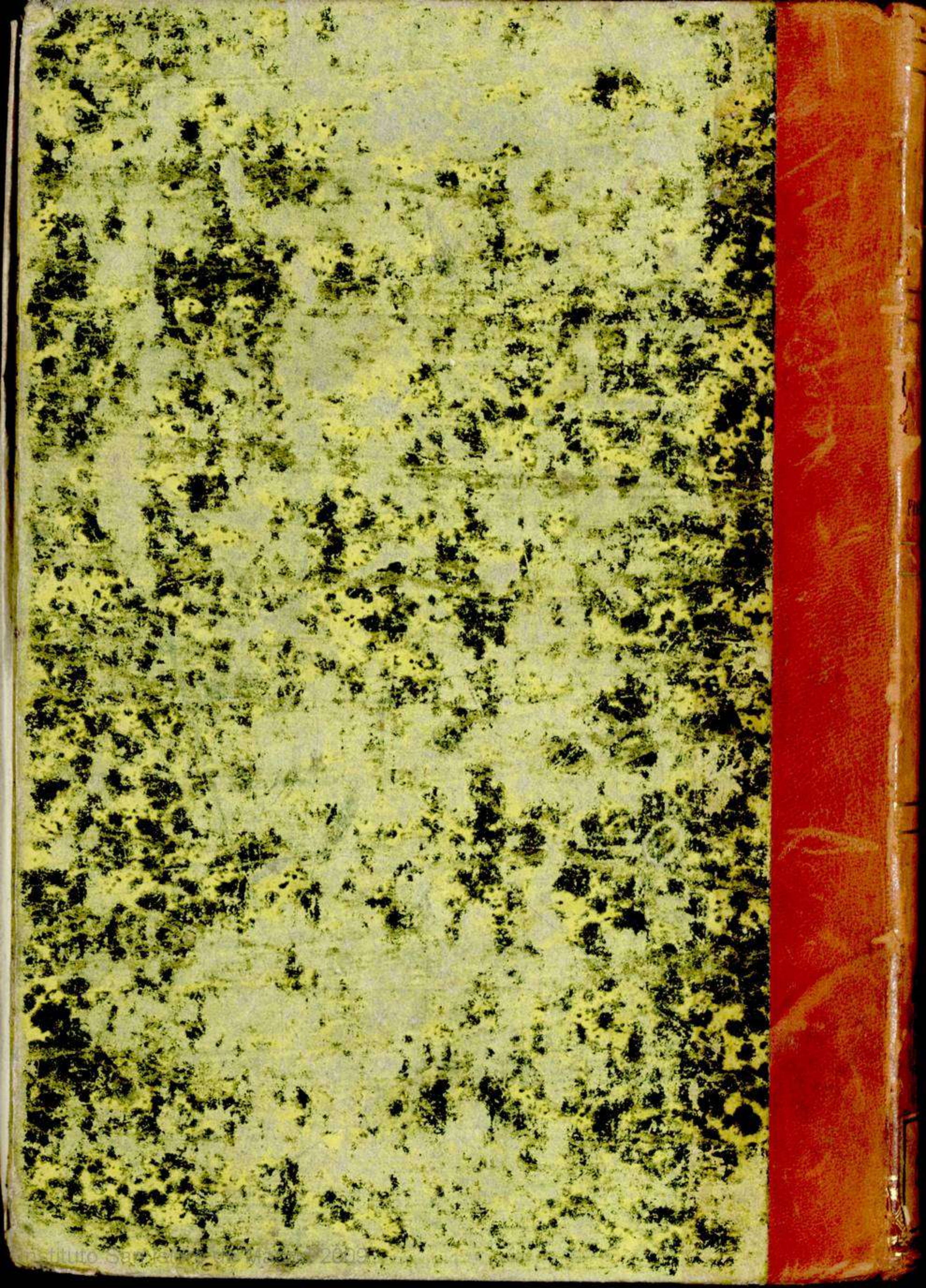






Faint handwritten text at the top of the page.





GAARDIOCHI

FIBICA MEDICA

11

11

02272