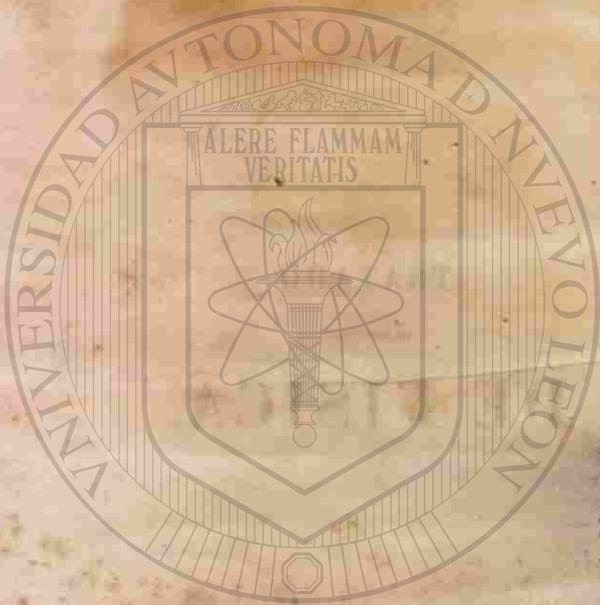




QC19

D4



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Imprenta de Schneider y Langrand.

FACULTAD DE MEDICINA  
BIBLIOTECA  
ELEMENTAL  
DE FÍSICA,

ESCRITO EN FRANCÉS

POR M. DESPRETZ,

PROFESOR DE FÍSICA EN EL COLEGIO DE ENRIQUE IV,  
ANTIGUO AYUDANTE DE QUÍMICA Y PROFESOR DE FÍSICA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA,  
MIEMBRO DE VARIAS SOCIEDADES CIENTÍFICAS.

TRADUCIDO AL CASTELLANO

y notablemente aumentado con los descubrimientos de Arago,  
Gay-Lussac, Regnanli, Pouillet, Lamé, Person, etc.

POR D. L. DE LA ESCOSURA,

INGENIERO DE MINAS.



TOMO SEGUNDO.

BIBLIOTECA

481.



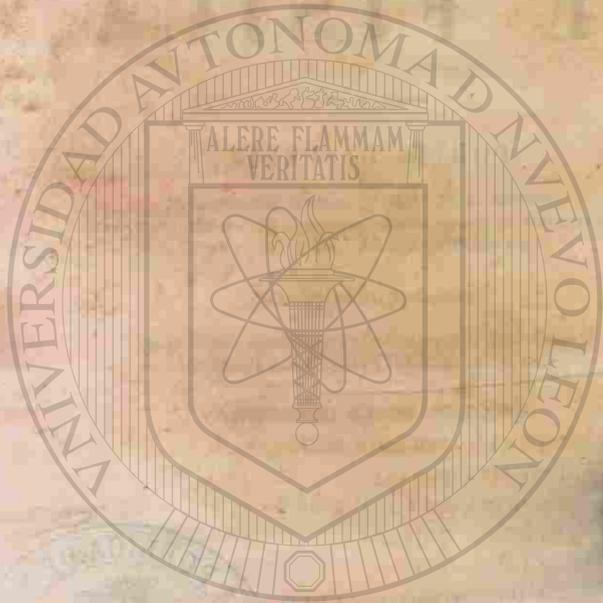
PARIS,

LIBRERÍA DE ROSA.

1845

BIBLIOTECA  
FAC. DE MED. U. A. N. L.

FACULTAD DE MEDICINA  
BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BIBLIOTECA  
FAC. DE MED. U. A. N. L.



TRATADO

ELEMENTAL

# DE FISICA.



DE LA HIGROMETRIA <sup>1</sup>.

1. Se ocupa la higrometria en averiguar los diferentes grados de humedad que hay en el aire; los instrumentos que para ello se emplean se llaman *higrómetros* ó *higroscopios*, y entiéndese generalmente por *estado higrométrico* del aire, la relacion entre la cantidad de vapor que contiene y la que tendria si estuviera saturado, ó la que existe entre la tension del vapor del aire y el máximo de esa tension á la misma temperatura.

2. Cuando se conoce la temperatura, *t*, del aire y su estado higrométrico *I*, es facil deducir la tension del vapor, *F*, y el peso contenido en un volumen dado de aire, porque mediante la tabla del párrafo 205 *b*, tomo I, puede hallarse la máxima tension *F* á *t*<sup>o</sup>; es pues evidente que

<sup>1</sup> Seguiremos completamente á M. Pécelet en el artículo de la higrometria. *Tratado elemental de Fisica.* por M. Pécelet, t. I, p. 447 — N. del T.

esa tension en el aire es  $IF$ , y que el peso  $p$  del vapor contenido en un volumen dado será los  $\frac{2}{3}$  del peso del mismo volumen á la temperatura  $t^o$  y presión  $F$ . Es asimismo muy facil comprender que las cantidades  $I, F, p$  guardan entre sí tales relaciones, que conocida una de ellas y la temperatura pueden deducirse las restantes.

Todos los métodos inventados hasta aquí para medir el grado de humedad del aire, estriban en uno de los principios siguientes.

1.<sup>o</sup>. En el aumento de peso que se observa en las sustancias que tienen mucha afinidad con el agua.

2.<sup>o</sup>. En la cantidad de agua que puede evaporar una superficie dada en un tiempo asimismo determinado.

3.<sup>o</sup>. En el frio producido por la evaporacion.

4.<sup>o</sup>. En el volumen á que el aire se reduce, por la compresion, cuando está completamente saturado.

5.<sup>o</sup>. En la pérdida de temperatura que debe experimentar el aire para llegar al término de saturacion.

Fúndase en fin el 6.<sup>o</sup> en la propiedad de dilatarse ó contraerse, por la humedad del aire, de ciertas sustancias orgánicas.

5. *Primer método* — *Una sustancia muy higrométrica que absorve la humedad del aire.* Pueden emplearse el cloruro de calcio, la potasa cáustica y la cal viva. Operando sobre un volumen de aire conocido y desecándole completamente con una de esas sustancias; es evidente que el aumento de peso de la última representa el del vapor disuelto, y que, este peso dividido por el volumen de aire desecado dará la densidad del vapor. Para conocer su tension no hay más que buscar en la tabla la densidad y tension del vapor á la temperatura que tiene el aire experimentado; la tension incógnita y la de la tabla estan en razon directa de las densidades, y esa razon precisamente es el estado higrométrico del aire. Las operaciones indicadas pueden, muy cómodamente, practicarse en un aparato se-

mejante al de la Fig. 4: A es un vaso de hoja de lata y de capacidad conocida, que comunica, por medio de un tubo  $ab$  y la llave  $m$ , con un cilindro B lleno de cloruro de calcio y abierto en el extremo C. En el otro gollete del frasco hay un embudo y una llave; y en la parte inferior otra llave  $p$  para cuando se le quiere vaciar. Lléñase primero el vaso por el tubo, teniendo cuidado de cerrar las llaves  $m$  y  $p$ ; á poco despues se cierra la  $n$  y abriendo las  $m$  y  $p$ , entra el aire á reemplazar el agua que mana del frasco, por manera que en cada operacion se hace pasar por el tubo un volumen de aire igual al del frasco. Se emplea en muy raros casos este método, porque es necesario medir el volumen de aire desecado y experimentar una gran masa para poder apreciar el aumento de peso de la sustancia higrométrica.

En este método comprenderemos el que emplearon los Académicos de Florencia. Se servian de un vaso de vidrio cónico lleno de nieve suspendido con el vértice hácia abajo; los vapores que de aquí resultaban iban á condensarse en la superficie exterior de la vasija, el agua nuevamente formada manaba gota á gota por la cúspide, y juzgaban del grado de humedad por la rapidez del desagüe.

4. *Segundo método.* — *Cantidad de agua evaporada.* — Como el aire á una temperatura dada, no disuelve más que una cierta cantidad de agua, se sigue que la porcion que puede evaporarse de una superficie dada en un tiempo determinado, depende de la que el aire tiene en disolucion; pues que la tension de un líquido es proporcional á la tension máxima de su vapor á la misma temperatura, menos la tension del vapor que está en el aire. Lo dicho basta para concebir la posibilidad de construir higrometros fundados en esa propiedad; sin embargo es necesario convenir en que las indicaciones de tales instrumentos no son comparables entre sí por la continua agitacion

del aire, descenso de temperatura producido por la evaporacion y cambios repentinos de temperatura.

5. *Tercer método.* — *Enfriamiento que produce la evaporacion.* — Al tratar de los cambios de estado de los cuerpos, insistimos en que la evaporacion espontánea de los líquidos ya siempre acompañada de un descenso de temperatura. Dijimos también que ese descenso es efecto de la precision que tienen los cuerpos de absorber calor latente cuando se convierten en gases; ese enfriamiento sin embargo, tiene sus límites aun cuando la evaporacion continúe, 1° porque á medida que el agua se enfria irradia menos calor sobre los cuerpos que la rodean, y de ellos recibe siempre la misma cantidad; 2° porque la tension del líquido y por consiguiente la evaporacion disminuyen á proporcion que baja la temperatura; 3° en fin, porque el aire, que baña la superficie del líquido, tiene que renovarse para que continúe la evaporacion, y cede al agua una cantidad de calor tanto mayor cuanto mas fria la encuentra. Este descenso, sin embargo, es independiente de la velocidad con que el aire se renueva, y es constante bien que la renovacion sea efecto de la ligereza que el aire adquiere saturándose, ó bien que artificialmente se le inyecte con un fuelle.

Efectivamente la constancia de temperatura durante la ebullicion es una prueba de que la diferencia de las cantidades absorvidas y emitidas es igual á la diferencia de las cantidades de calor que el líquido pierde por la evaporacion y el aire cede durante su renovacion. De manera que nos es lícito considerar la pérdida de calor debida á la evaporacion como proporcional á la velocidad del aire y representarla por  $Kv$ ; mas como la cantidad de calor que el aire abandona, es asimismo proporcional á la velocidad y á la diferencia de temperatura  $t$  del líquido con respecto á la del fluido ó medio circundante, resulta que esa cantidad puede muy bien representarse por  $Avt$ , y desi-

gnando por  $Mt$  la elevacion de temperatura del líquido, debida á la irradiacion de los cuerpos inmediatos, tendremos  $Mt = Kv - Avt$ , de donde  $t = Kv : (M + Av)$ ; pero como la diferencia  $t$  es siempre muy pequeña, resulta que  $Mt$  lo es también con relacion á  $Av$ , y despreciándola la ecuacion anterior se convierte en  $t = K : A$ . Por donde vemos que el enfriamiento es independiente de la velocidad del aire, como por otra parte confirma la esperiencia.

El punto máximo del enfriamiento debe evidentemente estar mas alto á proporcion que aumente la cantidad de vapores de que puede cargarse el aire, y si se advierte que  $K$  es proporcional á esa cantidad, no quedará la menor duda de que  $t$  debe hallarse en el mismo caso.

Sin embargo, ese enfriamiento varia con la temperatura y presion, bajo ciertas leyes que nos son desconocidas. Se concibe, no obstante, que las cortas alteraciones de presion, que se producen en la superficie de la tierra, no tienen grande influencia en el resultado, y que si el máximo de enfriamiento en el aire seco, entre las temperaturas mayor y menor que ordinariamente observamos en la atmósfera, fuera conocido, bastaria agitar en el aire un termómetro cuya bola estuviera cubierta con un lienzo húmedo y observar el descenso de temperatura, para deducir con aproximacion el estado higrométrico del aire. Designando por  $F$ , en efecto, la máxima tension del vapor á la temperatura de la observacion, por  $f$  la del vapor disuelto en el aire, por  $R$  el enfriamiento en el aire seco á la misma temperatura, y por  $r$  el observado, tendremos

$$F : F - f :: R : r; \text{ de donde } f = F(R - r) : R.$$

En el párrafo 489 del tomo 4° esplicamos el método empleado por M. Gay-Lussac para medir el enfriamiento producido por la evaporacion, y dimos asimismo cuenta de los resultados que habia obtenido.

6. Leslie ha construido un higómetro, que fundándose

en el mismo principio, difiere poco de su termómetro diferencial. Una de las bolas (Fig. 2) está cubierta con una tela de seda muy ligera, que se humedece continuamente por medio de un hilo que, sumerjiéndose en una vasija colocada á mayor altura que el instrumento, hace en realidad el oficio de un sifon. Es evidente que las dos bolas deben tener la misma potencia irradiante, para que los agentes exteriores no influyan de ningun modo en las indicaciones, y para llenar esa condicion ha imaginado el inventor teñir de rojo, de azul ó de verde la bola que está desnuda. En ese caso el aparato funciona como un termómetro muy sensible.

7. *Cuarto método.* — *Diminucion de volumen que experimenta el aire, por la compresion, cuando está completamente saturado.* La reduccion de volumen indica el grado de dilatacion del vapor, porque si para saturar el aire es necesario reducirle á  $\frac{1}{2}$  de su volumen, es evidente que solo contenia en un principio  $\frac{1}{2}$  del vapor indispensable para su saturacion. El momento ó instante en que el aire llega á ese punto, la saturacion, puede reconocerse por la precipitacion del vapor, sin embargo las cantidades, con que nosotros operamos ordinariamente, son muy pequeñas para que el fenómeno sea perceptible. Por otra parte, la presion tendria que ser muy lenta para no elevar demasiado la temperatura del aire, y ese no deja de ser un inconveniente. Este método no se ha empleado nunca.

8. *Quinto método.* *Enfriamiento que experimenta el aire para llegar á su saturacion.* Como la cantidad de vapor que el aire puede disolver disminuye á medida que baja su temperatura, es evidente que enfriando aire no saturado se llegará á saturarle completamente. Es muy cómodo este método porque no hay necesidad de encerrar el fluido en un vaso, pues basta enfriar un cuerpo sumerjido en el aire y observar su temperatura cuando el vapor comienza á precipitarse; entonces, siendo constante la presion, el va-

por se contrae como un gas permanente, su fuerza elástica permanece invariable, y no hay duda en que la tension de ese vapor es igual á la tension máxima en el instante de la observacion. Leroy, que ha sido el que por primera vez ha empleado este método, se servía de un vaso lleno de agua que enfriaba gradualmente, añadiendo agua á cero hasta que la condensacion empezaba á manifestarse. Según Dalton, esa precipitacion corresponde á una temperatura  $\frac{1^{\circ}}{2}$  mas baja que la que realmente pertenece á la

saturacion. Para conocer, sin embargo, con mas exactitud la temperatura de saturacion, se anota la del momento en que el líquido precipitado comienza á evaporarse por la calefaccion, y se toma en seguida el término medio entre esta última y la de la precipitacion; y podemos entonces estar seguros de que es exacta, pues que la primera peca por baja y la segunda por alta, de lo que resulta la compensacion. Puede considerarse este método como el mas exacto, porque todo estriba en medir temperaturas con un termómetro, instrumento cuya precision es bien conocida.

9. Con objeto de evitar el cuidado que es necesario poner para averiguar la temperatura en el momento de la precipitacion por el enfriamiento sucesivo del agua, ha inventado M. Daniel un aparato muy ingenioso que vamos á dar á conocer. *a* y *b* (Fig. 5) son dos bolas de vidrio delgado de unos 5 centímetros de diámetro, unidas por un tubo recurvo de 5 milímetros de diámetro interior; el brazo *d* contiene un termómetro *de*, y su receptáculo penetra en la bola *b* que no contiene nada de aire y está llena de éter hasta los dos tercios; se consigue lo primero del modo siguiente; se calienta el aparato y se sumerge en una vasija llena de éter, el extremo abierto del tubo capilar *f*; cuando esté frío se hace pasar el líquido á la bola *b* y se le calienta de modo que hierva haciendo salir los vapores por el tubo *f*; cuando estos han espurgado todo el aire se cierra el

estremo abierto con la lámpara y el soplete. La bola *a* está cubierta de muselina y el soporte, que es generalmente de cobre, sostiene tambien un termómetro con que se mide la temperatura del aire. Para servirse de este instrumento se hace pasar, con solo el calor de la mano, todo el eter á la bola *b*, se le coloca en seguida delante de una ventana abierta, de modo que la superficie del liquido de *b* esté á la altura de la vista del observador y se rocía por fin, la bola cubierta, con un poco de eter; el frio que este produce, al evaporarse, condensa los vapores de eter de la bola *a*, y esa condensacion ocasiona la destilacion del eter de la bola *b* que se enfria entonces gradualmente. El descenso de temperatura es tan rápido que el termómetro comienza á bajar á los dos segundos de haber vertido el eter, y el enfriamiento suele ser de 16 á 20 grados centígrados. El frio que se desenvuelve en la bola *b* condensa todo el aire que le rodea, y al cabo de poco tiempo es bastante considerable para que el vapor acuoso del aire atmosférico se deposite en su superficie exterior, generalmente á la altura de la linea de nivel del eter. Observando, cuando este fenómeno se manifiesta, la altura del termómetro *cd*, se sabe que no hay mas que poner el aire á esa temperatura para completar su saturacion.

Es indispensable colocar el instrumento delante de un cuerpo opaco, como una casa, un arbol, etc., porque de otro modo no se distinguen los vapores condensados. Si el tiempo es muy húmedo, debe verse el eter con mucha lentitud, pues que de otro modo es tan rápido el descenso del termómetro, que no puede observarse la temperatura en el instante de la precipitacion. Si el aire, por la inversa, está muy seco, hay que humedecer varias veces la bola, para que adquiera el frio conveniente. En fin, para mayor seguridad, antes de medir la temperatura de la saturacion, debe esperarse á que se haya evaporado todo el eter, y á que el termómetro *cd* vuelva á subir,

anotar la temperatura á que el vapor depositado desaparece completamente, y tomar despues, segun hemos dicho, el término medio entre la última y la de la precipitacion.

40. *Sesto método. La forma ó dimensiones de ciertas sustancias orgánicas se alteran con la humedad.* Como los diferentes métodos de que acabamos de hablar exigen no solo tiempo, sino una porcion de operaciones, se ha tratado de construir instrumentos que á la simple vista indicasen la humedad del aire.

41. Una porcion de sustancias minerales y la mayor parte de las orgánicas sólidas, sumergidas en el aire húmedo, absorven vapor acuoso en cantidad que depende del estado higrométrico del aire y de la naturaleza misma de aquellas sustancias; toman ó adquieren nuevas cantidades cuando el aire se aproxima á su punto de saturacion, y devuelven, á la inversa, las ganancias cuando está muy seco. La causa de ese hecho es la afinidad entre el agua y esas sustancias y la tension del vapor, pues que el estado higrométrico de un cuerpo permanece constante cuando su afinidad hácia el liquido, que retiene, es igual á la fuerza con que este último tiende á evaporarse. La absorcion ó esa emision de agua altera siempre todas las dimensiones del cuerpo. Las sustancias orgánicas homogéneas se hallan tambien en el mismo caso, pero es de notar que los diámetros de sus filamentos aumentan mucho mas proporcionalmente que sus longitudes, de donde se infiere que las sustancias que como el papel, el pergamino, etc., están compuestas de filamentos dispuestos en todas direcciones, deben portarse como los cuerpos homogéneos; que los que constan de fibras paralelas, como las maderas, crecen mucho mas en sentido perpendicular que paralelo á su direccion longitudinal, y que los que, como las cuerdas, se componen de hilos retorcidos, se hinchan, acortan, y destueren con la humedad.

La fuerza con que cambian las dimensiones de los cuerpos es tan considerable, que se ha sacado partido de ella, para levantar fardos, mojando las cuerdas á que estaban suspendidos. La fuerza que despliega la madera al hincharse sirve para destacar las piedras en algunas canteras, para ello hacen un agujero profundo ó un descalce en direccion de la fractura que se quiere producir, meten una cuña de madera perfectamente seca, la mojan despues, é hinchándose hace saltar la piedra, etc. Tambien se utiliza esta propiedad para hacer bajos-relieves en madera. En el trozo de madera elegido, se imprime, mediante una fuerte presion, el bajo-relieve grabado en metal, con un cepillo se quitan los salientes, y metiéndole despues en el agua las partes comprimidas, se dilatan proporcionalmente á la presion que habian sufrido.

Se conocen una porcion de higrómetros contruidos con diferentes sustancias ; describiremos los principales.

44 bis. Hay unos en que una cuerda de guitarra fija por un extremo, sostiene con el otro ó el brazo de un capuchino que cubre su cabeza cuando la cuerda se encoje ó el de un muñeco que se tapa con un paraguas, etc. Estos aparatos son mas bien juguetes de chicos que instrumentos de física.

42. Daniel Vilson ha inventado otro higrómetro, y consiste en una vejiga de raton llena de mercurio y ajustada á un tubo de vidrio capilar encorvado horizontalmente para evitar las variaciones de presion interior que puede ocasionar la altura de la columna de mercurio. Aunque el instrumento es sensible, las variaciones de temperatura le complican de tal modo que no puede responderse de su exactitud.

45. Tambien se emplean como higrómetro una bola hueca de marfil adaptada á un tubo capilar de vidrio llenos uno y otro de mercurio ; se graduan sumergiéndolas alternativamente en el aire seco y saturado de vapor, pero

ademas de influir en ellos la temperatura son generalmente muy perezosos.

44. Para que una sustancia sea adecuada para construir un higrómetro debe ser muy sensible á las variaciones de humedad, inalterable por el tiempo y de corto volumen, para que sean rápidas sus indicaciones. De todas las conocidas los cabellos y las hojas delgadas de barbas de ballena son las únicas que, al parecer, satisfacen á esas condiciones. En 1824 comparó M. Pictet dos higrómetros contruidos el primero con un cabello ordinario y el segundo con uno de momia y ambos á dos marcharon ácordes. Los higrómetros de pelo y de ballena llevan los nombres de sus inventores, Saussure y Deluc. Describiremos detalladamente el primero y diremos en que difiere del segundo.

#### Higrómetro de Saussure.

45. Consiste en un rectángulo ó marco de cobre ABCD, en cuya parte superior hay una piezecita del mismo metal que sube y baja mediante un tornillo colocado al efecto. En el punto *a* está sujeto un cabello *ab* que por el extremo opuesto se une á una roldanita movable sobre su eje y en la que asimismo se halla una aguja ó lengüeta *mn* que, recorriendo el cuadrante *pq*, marca los grados de humedad : hay ademas otra poleita colocada en el mismo eje que la primera, y en ella se arrolla un hilo que sostiene un pesito *e*, para que el cabello esté perfectamente estendido. Cuando este se alarga por la humedad permanece siempre estirado en virtud del pesito, giran las dos poleas, y la aguja recorre entonces un número de grados proporcional á la dilatacion. Examinemos ahora los detalles de construccion y el modo de graduar el instrumento.

Los cabellos en su estado natural están siempre cubier-

tos de una materia grasa, que en parte los preserva de la accion de la humedad, entonces su dilatacion, desde la sequedad extrema hasta la humedad tambien extrema, es proximamente  $\frac{1}{200}$  de su longitud; mas si se les quita esa materia grasa haciéndolos hervir en agua alcalina, se alargan cuatro veces mas, es decir  $\frac{1}{50}$  de su longitud. Saussure los ponía en un lienzo y el agua que empleaba contenía  $\frac{1}{100}$  de su peso de sub-carbonato de sosa, de cuyo modo pueden conservarse mucho tiempo.

Preparado el cabello de este modo, se le coloca en el instrumento cargándole con 5 granos de peso; se pega al cuadrante una banda ó tira de papel dividida en partes arbitrarias, y se mete el higrómetro en un recipiente que contenga materias delicuescentes, como cal viva, muriato de cal, etc., para que desequen completamente el aire. Saussure ponía una placa de palastro en la parte mas alta de la campana, de modo que no ocupara mas que la mitad de la anchura y en ella echaba potasa fundida y recientemente enfiada. En tal estado el higrómetro recorre, ó mejor dicho la aguja avanza  $25^\circ$  en los 40 primeros minutos, camina despues con mas lentitud y termina en fin por marchar un solo grado en 24 horas. Al cabo de tres dias todo él queda estacionario, y la aguja fija en un cierto punto del cuadrante *pq*, en el que se marca el cero del instrumento ó punto de extrema sequedad.

Para cerciorarse de que efectivamente ese punto es de la máxima sequedad, se espone el instrumento á la accion de los rayos solares, y si el cabello contiene alguna humedad, la aguja pasará mas alla del cero, pues que la facultad disolvente del aire aumenta con la elevacion de temperatura; si se enfria la campana la aguja caminará en sentido inverso. Pero si el cabello está completamente desecado, las variaciones de temperatura no le harán experimentar mas que dilataciones y contracciones sumamente pequeñas y siempre opuestas á la que manifestaria

si estuviere todavía húmedo; es decir, que un aumento de temperatura le haria caminar hácia la humedad, y un descenso hácia la sequedad. De manera que si, calentando la campana, permanece estacionario el cabello ó marcha hácia la humedad, es prueba de que está completamente desecado.

Se coloca despues el instrumento debajo de otra campana mojada interiormente para saturar el aire; la aguja, marchando con mucha rapidez al principio, queda por fin estacionaria en un punto equivalente á 100 grados ó al de la máxima humedad. Si el pelo no ha estado mucho tiempo en lejía, llega al máximo de dilatacion en una hora y á veces en media tambien, si las circunstancias son favorables.

Si el instrumento está construido con esmero se advierte:

1º Que, á igualdad de circunstancias, las indicaciones son constantemente las mismas;

2º Que si el aire está completamente saturado, sea lo que quiera su temperatura, la aguja se detiene en  $100^\circ$ , y que si su sequedad es perfecta ocupa siempre el cero de la escala (segun Saussure si la temperatura varia  $55^\circ$ , el higrómetro no camina mas que  $\frac{1}{2}$  de grado); en fin que sus indicaciones son independientes de la densidad del aire.

De donde podemos concluir, que la accion higrométrica en el cabello es constante; que las variaciones de temperatura, que observamos en la atmósfera, no influyen en manera alguna en su dilatacion; en fin que el cabello, sea la temperatura del aire la que quiera, con tal que esté completamente saturado de vapor, se apropia siempre igual cantidad de vapor, pues que su dilatacion es siempre la misma.

16. M. Babinet ha introducido una mejora en el higrómetro de Saussure, que aunque le da mas exactitud, le complica bastante para que sea muy difícil hacer ob-

servaciones. Estira el pelo con el peso de la parte inferior, y la dilatacion se mide colocando ese peso enfrente de una señal cualquiera ó punto fijo que sirva de punto de partida ó índice, y el cabello sube ó baja por medio de un tornillo micromético que está en la parte superior, y que tiene una aguja movable que marcha sobre un cuadrante de círculo.

47. El higrómetro de Deluc difiere del de Saussure, en que en vez de pelo hay una tirita de ballena destacada por medio de un escoplo en sentido perpendicular á las fibras; su anchura es regularmente de  $\frac{1}{2}$  milimetro, lo demas del aparato conviene con el de Saussure, y la graduacion se traza de la misma manera. Sin embargo, para obtener la máxima humedad, metia Deluc el instrumento en el agua, método muy vicioso, y de nungun modo preferible al de Saussure.

Ambos á dos concuerdan en sus puntos extremos, pues que se graduan del mismo modo, pero no caminan con uniformidad, es decir, que colocados en un mismo gas no son idénticas sus indicaciones. En las inmediaciones del punto máximo de humedad son mas pequeñas las variaciones del de Saussure, y la inversa se verifica hácia la estrema sequedad.

47<sup>a</sup>. Volvamos de nuevo al higrómetro de Saussure. Las indicaciones de este instrumento son, segun hemos dicho, independientes de la temperatura, y marcan únicamente el estado de saturacion del aire á la temperatura de la observacion. Para poder deducir de ahí la fuerza elástica del vapor, era preciso saber la tension correspondiente á cada grado del higrómetro, y esto á todas temperaturas. Para un grado de calor conocido ó dado de antemano, no hay mas que mezclar 1, 2, 5, 4, 5... 9 volúmenes de aire saturados con 1, 2, 5, 4, 5... 9 volúmenes de aire seco, todos á la misma temperatura; de este modo tendríamos volúmenes iguales de aire que contendrian 0,1; 0,2; 0,5; ... 0,9

de la cantidad de vapor que se halla en el aire saturado; y observando entonces los grados del higrómetro en estas diversas mezclas, sabriamos las cantidades de vapor correspondientes á las indicaciones del instrumento. Este método aunque exacto ofrece inconvenientes al ponerlo en práctica.

48. Describiremos el método que empleaba Dulong. Colocaba dejaba de una campana un termómetro y un higrómetro, é introducía una cierta cantidad de gas, cuyo estado higrométrico determinaba en seguida. Servíase para esto de dos gasómetros, llenos, el primero de hidrógeno y de aire el segundo, que comunicaban por separado y mediante dos tubos bastante largos con un cañon que directamente iba á desembocar en la campana del higrómetro. En el primer tubo, en el del hidrógeno, habia corchos mojados; en el segundo cloruro de calcio y en el tubo comun fragmentos de porcelana para mezclar perfectamente los dos gases; despues de atravesar la campana, pasaban por otro tubo, que se sumerjia en el agua de cuyo modo se podian recojer; observábanse, en fin, las indicaciones del higrómetro y ya no quedaba mas que analizar el gas resultante.

Si por  $V$  designamos el volumen del gas hidrógeno y por  $V'$  el del aire,  $V; V+V'$  es, con evidencia, el estado higrométrico de la mezcla; sin embargo, la valuacion exacta del volumen del aire exige una cierta correccion que vamos á indicar. Como antes de recojer la mezcla, los gases que la componen han atravesado el agua, es indudable que deben estar completamente saturados de vapor de ese líquido, llamando ahora  $f$  á la máxima tension de vapor á la temperatura que reinaba durante la observacion, y  $p$  á la de la atmósfera,  $p-f$  será la que corresponde á la mezcla de los gases secos; por consiguiente el volumen de gas sobre que hemos operado y que designamos por  $M$ , no contiene mas que el volumen,  $M(p-f); p$ , de gas

seco, á la presión  $p$ ; y en ese caso el volumen del gas seco es igual á

$$\frac{M(p-f)}{p} - v.$$

19. M. Gay-Lussac ha resuelto el problema de que tratamos, siendo dada la temperatura de  $40^\circ$  por ejemplo, por un método muy sencillo en que acto continuo nos vamos á ocupar. Hay ciertas sustancias tan ávidas de agua, que desecan casi repentinamente los gases con que están en contacto, y cuando están combinadas con una cierta cantidad de agua, pierden parte de su energía higrométrica; si progresivamente se aumenta la cantidad de agua que tienen en disolución, emiten vapores en cantidades que van sucesivamente creciendo para una misma temperatura, y terminan por saturar completamente de vapor, como lo haría el agua pura, el espacio que las rodea. De manera que no hay mas que colocar en un globo de cristal ó campana un higrómetro y varias disoluciones cuya tensión se haya determinado de antemano haciéndolas pasar por la cámara del barómetro, para conocer la tensión del vapor correspondiente á la indicación del higrómetro.

De este modo M. Gay-Lussac ha formado la tabla siguiente.

Tabla de la fuerza elástica del vapor (y correspondencia de los grados del higrómetro á  $40^\circ$  de temperatura), expresada en centésimas partes de la tensión en el momento de la saturación.

Tensión del vapor.	Grados correspondientes del higrómetro.	Tensión del vapor.	Grados correspondientes del higrómetro.	Grados del higrómetro.	Tensiones correspondientes del vapor.	Grados del higrómetro.	Tensiones correspondientes del vapor.
0	0,00	26	47,55	0	0,00	26	12,59
1	2,49	27	48,86	1	0,45	27	15,54
2	4,57	28	50,18	2	0,90	28	18,69
3	6,56	29	51,49	3	1,35	29	21,25
4	8,75	30	52,81	4	1,80	30	24,78
5	10,94	31	55,96	5	2,25	31	28,56
6	12,95	32	55,11	6	2,71	32	31,94
7	14,92	33	56,27	7	3,18	33	36,52
8	16,92	34	57,42	8	3,64	34	41,10
9	18,91	35	58,58	9	4,10	35	47,68
10	20,91	36	59,61	10	4,57	36	48,50
11	22,81	37	60,64	11	5,05	37	48,92
12	24,71	38	61,66	12	5,52	38	49,54
13	26,61	39	62,69	13	6,00	39	50,16
14	28,51	40	65,72	14	6,48	40	50,78
15	30,41	41	64,65	15	6,96	41	51,45
16	32,08	42	65,55	16	7,46	42	52,12
17	33,76	43	66,45	17	7,95	43	52,79
18	35,45	44	67,54	18	8,45	44	53,46
19	37,11	45	68,24	19	8,95	45	54,15
20	38,78	46	69,05	20	9,45	46	54,89
21	40,27	47	69,85	21	9,97	47	55,59
22	41,76	48	70,62	22	10,49	48	56,52
23	43,26	49	71,42	23	11,01	49	57,06
24	44,75	50	72,21	24	11,55	50	57,79
25	46,24	51	72,94	25	12,05	51	58,58

Tension del vapor.	Grados correspondientes del higrómetro.	Tension del vapor.	Grados correspondientes del higrómetro.	Grados del higrómetro.	Tensiones correspondientes del vapor.	Grados del higrómetro.	Tensiones correspondientes del vapor.
52	75,68	77	88,99	52	29,58	77	56,74
53	74,41	78	89,51	53	50,17	78	58,24
54	75,44	79	90,03	54	50,97	79	59,75
55	75,84	80	90,55	55	51,76	80	61,22
56	76,54	81	91,05	56	52,66	81	62,89
57	77,24	82	91,55	57	53,57	82	64,57
58	77,88	83	92,05	58	54,47	83	66,24
59	78,55	84	92,54	59	55,37	84	67,92
60	79,22	85	93,04	60	56,28	85	69,59
61	79,84	86	93,52	61	57,18	86	71,49
62	80,46	87	94,00	62	58,04	87	73,59
63	81,08	88	94,48	63	58,96	88	75,29
64	81,70	89	94,95	64	59,56	89	77,49
65	82,52	90	95,43	65	60,14	90	79,09
66	82,90	91	95,90	66	60,72	91	81,09
67	83,48	92	96,36	67	61,28	92	83,08
68	84,06	93	96,82	68	61,82	93	85,08
69	84,64	94	97,29	69	62,35	94	87,07
70	85,22	95	97,75	70	62,87	95	89,06
71	85,77	96	98,20	71	63,38	96	91,25
72	86,51	97	98,69	72	63,87	97	93,44
73	86,86	98	99,10	73	64,35	98	95,65
74	87,41	99	99,53	74	64,82	99	97,81
75	87,95	100	100,00	75	65,28	100	100,00
76	88,47			76	65,72		

En la tabla anterior hemos comprendido dos tablas diferentes; en la primera se hallan los grados del higrómetro correspondientes á cada centésima parte de la fuerza elástica máxima del vapor, y en la segunda la fuerza elástica correspondiente á cada grado del higrómetro. Segun

los datos que de sí arrojan sus números, vemos que la dilatacion del cabello no es proporcional á la cantidad de humedad del aire, porque si sucesivamente se toman los grados del higrómetro que corresponden á 0,1,2,3, etc., décimas de vapor, se halla

0°	0,0	79°	0,6
22	0,1	85	0,7
59	0,2	90	0,8
55	0,5	95	0,9
64	0,4	100	1,0
72	0,5		

20. Como los números de las tablas que preceden estan calculados á 40° de temperatura, resulta que, cuando es diferente, dichas tablas no son útiles, pues que seria necesario para que á otra temperatura lo fueran, que la afinidad entre el cabello y el vapor fuese independiente del grado de calor, lo que probablemente no sucede; sin embargo, como está probado que esas variaciones no son muy considerables, puede hacerse uso de ellas, sin que por eso resulten grandes errores, con tal que las temperaturas no se hallen muy distantes de 40°.

21. Cuando se da un volumen cualquiera de aire, su temperatura y estado higrométrico, medido con el higrómetro de Saussure, es facil, con las tablas anteriores, determinar el peso del vapor que contiene. En efecto, conocida la temperatura del aire, no hay mas que acudir á la tabla del párrafo 205 b. (tomo primero) para saber la densidad máxima del vapor á esa temperatura, y multiplicándola por la tension del vapor correspondiente al grado del higrómetro, se tendrá la del vapor en el agua, y para

conocer el peso del vapor contenido en un volumen dado de aire, habrá que multiplicar la densidad obtenida por el peso de un volumen de agua igual al que buscamos. Propongámonos por ejemplo determinar el peso de vapor de agua contenido en 1 metro cúbico de aire á 40° de temperatura y 60° del higrómetro. La densidad del vapor á 40°, segun la tabla, es 0,00000974; la tension del vapor, correspondiente á 60° del higrómetro, es igual á 0,56 de la máxima tension; de suerte que la densidad del vapor en el aire es

$$0,00000974 \times 0,56 = 0,0000055;$$

y como un metro cúbico de agua pesa 1000 kil. ó 1,000000 gramos, resulta que el peso del vapor contenido en un metro cúbico de aire

$$= 0,0000055 \times 1000000 = 5,5.$$

22. Si quisieramos ahora comparar las cantidades absolutas de vapor, correspondientes á las indicaciones del higrómetro, tomadas á diferentes temperaturas, no habria mas que buscar en las tablas las tensiones equivalentes; y del mismo modo podrian hallarse las indicaciones del higrómetro á una misma temperatura. Supongamos por ejemplo, que en un cierto parage marca el higrómetro 50° y 45 el termómetro, que en otro sitio cualquiera los mismos instrumentos señalan respectivamente 60° y 40°, y que se desea saber cuales hubieran sido las tensiones y las indicaciones del higrómetro, si en ambos parages la temperatura hubiera sido 5°. Máxima tension del vapor á 45° = 0<sup>m</sup>,042: tension del vapor á 50° del higrómetro = 0,277 de la máxima tension; así la tension en el primer sitio = 0,042 × 0,277 = 0,0055. Si bajase 40° la temperatura, permaneciendo constante la presion de la mezcla de aire y de vapores y suponiendo la contraccion del vapor igual á la de un gas, la fuerza elástica permanecería tambien la

misma; dividiendo ese número por la máxima tension á 5° que es 0<sup>m</sup>,0069, se obtiene el núm. 0,47 que segun la tabla del párrafo 49 de este tomo da el número 70 para el grado correspondiente del higrómetro. Calculando del mismo modo, para el caso segundo, se halla que la tension del vapor á 5° es 0<sup>m</sup>,0054 y que el higrómetro marca 72°.

25. Solo muy raras veces marca el higrómetro 100° en las capas inferiores de la atmósfera, aun cuando el tiempo esté lluvioso. El término medio de sus indicaciones en todas las estaciones del año es 72°, de donde se deduce que la cantidad media de vapor que hay en el aire es la mitad de la que corresponde á la saturacion. El límite de sequedad en la superficie de la tierra es generalmente 40°. En la cumbre de los Alpes nunca Saussure le vio descender de ese punto; el aire, en tales circunstancias, contiene un poco menos de la cuarta parte del que disuelve cuando está saturado.

Cuando se sube á grandes alturas se atraviesan capas de aire que no estan tan húmedas. En el viage aerostático de M. Gay-Lussac descendió el higrómetro á 26°, el termómetro se hallaba á -40°, y el aire contenia la octava parte del vapor que disuelve cuando está saturado.

De la delicuescencia.

24. Se dice que un cuerpo es delicuescente cuando absorve la humedad y se licua. Depende pues esa propiedad de la tension del vapor de la atmósfera; disminuye naturalmente de energia á medida que el aire se separa de su punto de saturacion, y cesa, para cada temperatura, cuando la tension del vapor llega á un cierto límite, pasado el cual, lejos de absorver el cuerpo humedad del aire, le comunica la que él posee. Recíprocamente los cuerpos que se desecan en el estado ordinario de la atmósfera, absor-

1481.

FACULTAD DE INGENIERIA

ven vapor de agua cuando el aire está próximo á su punto de saturacion. Así el azúcar es deliquescente á 95° del higrómetro, y una disolucion de sal marina á 87°. La tension del vapor en el momento en que comienza la deliquescencia de los cuerpos que contienen agua, como las disoluciones salinas, los ácidos líquidos es evidentemente igual á la de estos cuerpos cuando están en el vacío.

Segun esto se concebirá que colocando con orden unas despues de otras unas cuantas de esas sustancias que son deliquescentes á diferentes tensiones, podria estimarse la tension del vapor observando el término de la serie en que cesaba la deliquescencia; mas como el límite de esta propiedad depende, en todos los cuerpos, de la temperatura que reina, resulta que este aparato, aun concediendo la facilidad ó posibilidad de conocer cuando un cuerpo absorbe ó emite vapores, no serviria mas que para temperaturas iguales á las que tenian las sustancias en los esperimentos preliminares que se hicieron para repartir los puestos de la serie. (Péclet.)

De las densidades.

25. Hemos dicho que los cuerpos son mas ó menos densos, segun que, á igualdad de volumen, contienen mas ó menos particulas materiales del mismo peso. De aquí se infiere que la densidad relativa de dos cuerpos es la relacion entre sus pesos bajo un mismo volumen.

26. El peso de un cuerpo varia de un lugar á otro (núm 26); no puede estimarse esa variacion por medio de la balanza, porque todos los cuerpos ganan ó pierden peso en la misma relacion. Si  $P$  es el peso de un cuerpo,  $V$  su volumen,  $D$  su densidad y  $g$  la gravedad en el sitio de la observacion, tenemos la ecuacion  $P=VDg$ .

Debemos advertir que las cantidades  $PVD$  y  $g$  son abs-

tractas. Así  $V$  es el número de unidades cúbicas que contiene el volumen del cuerpo y  $D$  la relacion numérica de su densidad con la del agua tomada por unidad;  $g$  depende tambien de la gravedad de un cierto parage que sirve asimismo de unidad, y  $p$  designa el número de unidades referidas á ese mismo sitio (Véanse las obras de Estática.)

Las densidades de los sólidos y de los líquidos se refieren siempre á la del agua á 4° del termómetro, porque á esa temperatura llega á su maximum, como luego diremos. El aire atmosférico á 0° de temperatura y 0<sup>m</sup>,76 de presion sirve de término de comparacion para los fluidos elásticos permanentes y no permanentes. Se prefiere el aire á otro cualquier gas, por ser de la misma naturaleza en todos los paises y en todas las estaciones.

Densidades de los gases.

27. El método empleado para determinar las densidades de los gases es sencillísimo, pues, en general, se reduce á pesar sucesivamente un globo de vidrio de 8 á 10 litros de capacidad primero vacío, lleno despues de aire y en seguida del gas que se va á experimentar.

El aparato y la operacion requieren ciertas precauciones. En la abertura ó boca del globo debe haber una llave perfectamente ajustada para que cierre herméticamente. El volumen del gas debe ser un tanto considerable, pues que como esos fluidos son muy ligeros, apenas se nota diferencia si el primero es reducido. Si la capacidad, por ejemplo, no pasase de dos litros, los errores en las pesadas tendrian ya una grande influencia en los resultados.

Para el aire atmosférico no hay mas que desecarle y despojarle del ácido carbónico que siempre contiene.

Cuando el gas es diferente se le mete en una campana, y esta, si aquel no es muy soluble, se coloca sobre una cuba

ó barreño de agua, aunque siempre es preferible servirse del mercurio. Prolijo nos parece recomendar esta precaucion para los gases muy solubles, como el ácido sulfuroso, ácido cloro-hídrico, gas amoniacal, etc.

La Fig. 5 representa el aparato; A es el globo, B la campana en donde se recoge el gas, y CD un tubo lleno de potasa ó cloruro de calcio, de potasa si el gas es alcalino ó neutro, de cloruro de calcio si es ácido. En una retorta ó en otro aparato cualquiera se prepara el fluido en cuestion y pasa por el tubo CD á depositarse en la campana, y de esta al globo si se abren las llaves N y N'; y cuando los niveles del agua ó del mercurio, segun lo que se emplee, son iguales interior y exteriormente, el gas entonces no experimenta mas presion que la de la atmósfera.

Si llamamos  $p$  al peso del globo vacío y  $P$  al del mismo globo lleno de aire,  $P-p$  será con evidencia el peso del aire que contiene; y repitiendo el mismo experimento con otro gas, tendremos  $P'-p$ ; mas como las densidades son proporcionales á los pesos cuando los volúmenes son iguales, tomando la densidad del aire por unidad, podremos entablar la proporción

$$1:D::P-p:P'-p, \text{ de donde } D=\frac{P'-p}{P-p}.$$

Como muy raras veces acontece que en los dos experimentos, en el del aire y en el del gas, sea la misma la temperatura, vamos á indicar los medios de reducirlos á las mismas temperaturas y presiones. Para mayor sencillez se elije ordinariamente la temperatura cero y presion ordinaria de la atmósfera, es decir,  $0^m,76$ .

Cuando sube el termómetro disminuye la densidad del gas y aumenta la capacidad del globo; la presion á su vez influye tambien en los resultados, puesto que los pesos de un volumen de gas son, entre ciertos límites, proporcionales á las presiones (*Ley de Mariotte*, tom. I, n. 206.)

Supongamos que para un ciento gas, hemos hallado un peso  $P$  á  $45^o,5$  de temperatura y á la presion  $0^m,75$ . Hagamos  $45^o,5=t$  y  $0,76=H$  y llamando  $e$  á la elasticidad del aire que ha quedado en el globo apesar del vacío, tendremos, segun la ley de Mariotte

$$P:X::H-e:0,76, \text{ de donde } X=\frac{P \times 0,76}{H-e}.$$

$X$  representa el peso, hecha la correccion de la presion; para corregir lo perteneciente á la temperatura debemos acordarnos de que siendo  $1$  el volumen del gas á cero, se convierte en  $1+at$  á la temperatura  $t$  (representando  $a$  al coeficiente de dilatacion del gas); por consiguiente el peso del gas á la temperatura  $t$  debe ser al del mismo gas á cero  $::1:1+at$ ; de donde se sigue que es necesario multiplicar el peso hallado por  $1+at$ ; así  $X(1+at)$  es el peso á cero y  $0^m,76$  de presion.

Quedanos, sin embargo, por hacer la correccion competente de la dilatacion de la vasija.

Sabemos que la elevacion de temperatura aumenta la capacidad en la proporción de  $1$  á  $1+K$  (siendo  $K$  el coeficiente de la dilatacion cúbica del vidrio correspondiente á cada grado). De manera que el peso definitivo, despues de hechas todas las correcciones, es, segun lo que precede

$$\frac{P \times 0,76 \times (1+at)}{(H-e)(1+Kt)}$$

sin embargo, como la diferencia de temperatura es generalmente muy pequeña y no muy grande la dilatacion del vidrio, se desprecia, por lo comun, la última correccion que acabamos de hacer.

28. Los señores Arago y Biot han determinado con mucha escrupulosidad el peso de un litro de aire recogido á  $45^o$  de latitud, á  $0^m,76$  de presion y temperatura del hielo

al derretirse. Como el peso del aire contenido á cero, y  $0^{\text{m}},76$  era  $7^{\text{s}},2552$ , dedujeron fácilmente que un litro de aire á  $4^{\circ}$ , es decir dividiendo un centímetro cúbico de aire á  $4^{\circ}$ , es decir dividiendo un centímetro cúbico de aire ó  $0,0012798$  á  $4^{\circ}$  por una grama que es el peso de un volumen igual de agua á la misma temperatura, se halla el número  $\frac{1}{772}$  para esa relacion.

Puede suceder muy bien que el gas descomponga la materia metálica de que se compone la llave; en ese caso se emplea un frasco esmerilado, y cuando está lleno de aire se introduce en él el gas en cuestion durante el tiempo necesario para desalojar al primero, lo cual se conoce ensayando la corriente de gas que sale del frasco. Llame-mos ahora  $P$  al peso del frasco lleno de gas y  $P'$  al del mismo lleno de aire, y en ese caso  $P - P'$  será el del gas menos el de un volumen de aire igual al suyo, siendo respectivamente  $d$  y  $d'$  las densidades y  $V$  la capacidad,  $Vd$  será el peso del gas y  $Vd'$  el del aire, y con esos datos puede formarse la ecuacion  $P - P' = Vd - Vd'$  en la cual todo es conocido menos la cantidad  $d$ .

Terminaremos este artículo con una tabla de los pesos y densidades de los principales gases conocidos hasta el día <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> *Traité élémentaire de physique*, par M. Péclot, t. I, p. 212. — N. del T.

Tabla de la densidad de los principales gases.

NOMBRES DE LOS GASES.	Densidad observada.	Densidad calculada.	Peso de un litro de gas en grammas á $0^{\circ}$ y bajo la presión de $0^{\text{m}},76$ .	NOMBRES DE LOS OBSERVADORES.
Aire.	1,000		1,2901	
Gas iodo-hídrico.	4,445		5,7719	Gay-Lussac.
— fluo bórico.	2,570		3,0800	John Davy.
— fluo-clórico.	5,575		4,6425	John Davy.
— cloro-cianico.		2,111		Gay-Lussac.
— cloro carbónico.		5,589	4,4286	John Davy.
— enclorina.		2,515	3,0081	John Davy.
— sulfuroso.	2,420		2,8489	John Davy y Gay-Lussac.
— cloro.	2,470		3,2088	Gay-Lussac y Thenard.
— cianógeno.	4,896	1,801	2,5467	Gay-Lussac.
Protóxido de azoe.	1,520	1,520	1,9732	Colin.
Acido carbónico.	1,524		1,9805	Berzelius, Dulong.
Gas cloro-hídrico.	1,247		1,5205	Biot y Arago.
— sulfu-hídrico.	1,191		1,5475	Thenard y Gay-Lussac.
— oxígeno.	1,105		1,4325	Biot y Arago.
— deutóxido de azoe.	1,058	1,056	1,3495	Bérard.
— oleaginoso.	0,978	0,981	1,2752	Th. de Saussure.
— azoe.	0,976		1,2675	Berzelius, Dulong.
— óxido de carbono.	0,936	0,967	1,2451	Conisksbanek.
— hidrógeno proto-fosforado.	0,87			Hump. Davy.
— amoniacal.	0,596	0,591	0,7752	Biot y Arago.
— hidrógeno carbonado.	0,555	0,559	0,7270	Thompson.
— hidrógeno arsenicado.	0,529			Fromsdorff.
— hidrógeno.	0,068		0,0894	Berzelius, Dulong.

Insistimos en que debe distinguirse la densidad de un gas á una cierta temperatura y presión de su densidad en la tabla, pues, como anteriormente hemos dicho, la densidad de un gas, á la temperatura del hielo al derretirse, es á la densidad de la tabla como su presión es á  $0^{\text{m}},76$ , ó están en razón inversa de los volúmenes á esas mismas presiones. Por lo demás si la temperatura no fuera la del

hielo al derretirse, la densidad dependería, á la vez, de la presión y temperatura, cuyas correcciones sabemos hacer por lo que queda asentado. (Péclet.)

De los globos aereostáticos.

29. « El principio de Arquímedes es tan exacto para los gases como para los líquidos. Los cuerpos sumergidos en los primeros pierden de su peso una parte igual al peso del volumen de aire que desalojan. Si el aire atmosférico fuera mas pesado, si pesara 2 ó 5 veces tanto como el agua, la mayor parte de los cuerpos terrestres serian arrebataados y nosotros mismos flotariamos en el aire como el corcho flota en el agua. Pero el aire es sumamente ligero, hace perder tan poco peso á los cuerpos, en él sumergidos, que es necesario un ingenio muy atrevido para concebir la posibilidad de elevarse en la atmósfera, sostenerse en equilibrio y vogar libremente como se voga en el mar. » (Pouillet.)

50. « Cuando se sumerge un cuerpo en la atmósfera tiende á caer con una fuerza igual á su peso y á subir con otra igual al peso del fluido que desaloja. De aquí resulta que si un cuerpo está en equilibrio es porque su peso es igual al del volumen de fluido por él desalojado.

« El equilibrio de un cuerpo en el aire es estable con relacion á su distancia á la tierra; si sube por una causa cualquiera entra en nuevas regiones donde las capas de aire son menos densas; el peso del volumen desalojado disminuye por consiguiente, pierde el cuerpo el equilibrio y desciende á su posición primitiva en virtud de la diferencia de ambas fuerzas. En cuanto á la estabilidad del equilibrio es decir á su posición con relacion á la vertical, está sujeta á las mismas condiciones que los cuerpos

sumergidos en los líquidos; esto es, que el centro de gravedad del cuerpo debe estar mas bajo que el del fluido desalojado. Así, en los gases como en los líquidos, un cuerpo no puede permanecer en equilibrio estable porque coincidiendo su centro de gravedad con el del fluido desalojado, resulta que las fuerzas que contribuyen á elevarle y las que obran para sumergirle se hallan aplicadas al mismo punto y se destruyen cualquiera que sea la posición del cuerpo. » (Péclet.)

51. « Los globos, como todo el mundo sabe, son unas esferas huecas de papel ó de tafetan barnizados, llenas de aire caliente ó de un gas menos denso que el aire atmosférico, que se elevan en virtud de su ligereza específica, según el principio de Arquímedes. El aparato está representado en la Fig. 6. Cuando se quiere llegar á una grande altura es necesario servirse de un globo que pueda subir sin estar completamente lleno. Supongamos que tiene 40<sup>m</sup> de diámetro, y siendo esférico, su superficie será 514<sup>m</sup> cúbicos. Cada metro cuadrado del tafetan que ordinariamente se emplea pesa  $\frac{1}{2}$  de kilograma, de manera que toda la tela pesará 79<sup>k</sup>. Admitamos tambien, que el aeronauta, la navicilla en que maniobra y el aparejo, pesan 200<sup>k</sup>, y que el lastre es de 50<sup>k</sup>, y en ese caso necesitaremos un empuje ó fuerza vertical igual á todos esos pesos, al del gas y á los 4 ó 5 kilogramas que tomaremos para fuerza ascensional. Si el globo estuviera lleno desalojaría 525 metros cúbicos de aire que pesan 680<sup>k</sup> á razon de 4<sup>k</sup> 5 por metro cúbico; de suerte que no habrá que llenar mas que la mitad del globo, pues que 262<sup>m</sup> cub. de

hidrógeno ( $=\frac{525}{2}$ ) con que se puede llenar esa mitad no

pesan mas que 26<sup>k</sup> á razon de 100 gramas el metro, de manera que añadiendo esta cantidad á la anterior, tendrá el globo que elevar  $79^k + 200^k + 50^k + 26^k = 525^k$ ,

y su fuerza será igual á  $\frac{680}{2} = 340^k$ . « Determinado de an-

temano, como acabamos de ver, el peso del globo y el el que puede llevar, se le coloca en la disposicion que representa la Fig. 7, y con una especie de red formada de varias cuerdas que parten de la parte superior del globo se sostiene la navecilla, y en ella se coloca un cierto lastre cuyo peso sea 2 ó 3 kilogr. mayor que el del aeronauta. Se deja entrar en seguida el gas; el globo se hincha, se estienden las cuerdas que sostienen la navecilla, y llega un momento en que esta se eleva y queda en equilibrio. Entra entonces el aeronauta, se quitan los pesos que estaban en su lugar y los 4 ó 3 kilogr. de fuerza ascensional. Segun nuestro cálculo, se encuentra el globo á medio llenar, se le abandona, y lenta y magestuosamente comienza á atravesar los aires.

« No nos parece fuera del caso hablar ahora del *paracaidas*, que con mucha frecuencia hay necesidad de emplear en estos viages. Fúndase ese aparato en la resistencia que opone el aire á los cuerpos en su caída. Su figura como representa la Fig. 8 es muy parecida á la de un paraguas ó sombrilla. Se compone de un pedazo de tela impermeable al aire, y en cuya circunferencia estan fijas una porcion de cuerdas que sostienen una cesta ó barquilla en que se coloca el aeronauta cuando quiere apearse; el descenso es muy pausado porque al aire encuentra una gran superficie con que chocar. En los primeros *paracaidas* las ondulaciones eran muy irregulares porque el aire se escapaba tan pronto por uno como por otro lado; en el dia se les pone una chimenea, en el centro, de 1 metro de altura, y saliendo por ella el aire con mucha regularidad el aereonauta cae completamente á plomo. Se inventaron estos aparatos para que el viagero pudiese salvarse en caso de peligro, pero pueden muy bien servir

para descender. Parece que *Garnerin* fué el primero que se sirvió de él desde una altura de 400 metros. » (Person.)

Diremos ahora el modo de preparar el gas para llenar el globo.

« Experimentalmente se sabe que 5 kilog. de hierro, 5 de ácido sulfúrico del comercio y 50 litros de agua, producen un metro cúbico de hidrógeno. Mas como siempre hay pérdidas y parte del gas queda en los toneles sin pasar al globo, se mezclan las cantidades necesarias para llenarle completamente, aun cuando en realidad solo se introduzca la mitad. Para el caso que nosotros hemos considerado, habrá que mezclar

4570 kilog. de hierro,

2648 — de ácido sulfúrico,

5708 litros de agua.

« Repártense estas cantidades entre una docena de toneles convenientemente dispuestos con sus tubos de conduccion (Fig. 7), y el gas va á depositarse en unos gasómetros contruidos tambien con toneles sin fondo sumergidos boca abajo en el agua, y lavado de este modo el gas pasa ya directamente al globo que está perfectamente cerrado ó plegado para que no tenga aire interiormente; no será fuera del caso advertir que con los toneles debe tomarse la misma precaucion, es decir, dejar correr el gas primitivo que de ellos se desprende sin introducirle en el globo, pues que generalmente ese fluido es el aire puro lanzado por el hidrógeno para ocupar su puesto. Se cierran todas las aberturas cuando el globo está convenientemente lleno, y el viagero á su arbitrio y por medio de una cuerda abre una ó dos válvulas, cerradas con unos resortes, colocadas en la parte superior. »

52. « A medida que el globo sube, se dilata el gas porque el aire va estando menos condensado; sin embargo,

dura la ascension hasta que está completamente lleno, pues que si la presion se reduce á la mitad, se duplica entonces el volumen del globo y el aire desalojado adquiere un volumen doble tambien, y de consiguiente el mismo peso que al empezar la ascension. Las variaciones de temperatura no alterarán la fuerza con que el globo se eleva, pues que todos los gases se comportan igualmente con el frio y el calor. Sin embargo, como el volumen del globo es invariable cuando la dilatacion llega á un cierto límite, y las capas de aire van siendo cada vez menos densas, por fuerza ha de llegar el aparato á una de esas capas, donde el peso del volumen que desaloje sea igual al suyo propio. En ella debe pues detenerse; la velocidad adquirida, no obstante, le hace subir un poco mas arriba, pero al cabo de breves oscilaciones se para y permanece en el punto consabido.

« El movimiento de la ascension es acelerado al principio, pues que la fuerza que le produce es constante; rigurosamente no es la velocidad tan constante como en los líquidos, porque la resistencia del aire disminuye cuando disminuye tambien su densidad. En seguida el movimiento es mas perezoso sobre todo desde el momento en que el globo está lleno, porque el aire desalojado pesa entonces menos y el empuje vertical no es tan enérgico.

« La razon de no llenar completamente de gas el aparato se concebirá ahora sin dificultad. Primeramente sabemos que la presion interior y exterior, en ese caso, son iguales, pero si despues de estar lleno continua subiendo, es claro que la primera, la interior, aumentará con respecto á la exterior que ha disminuido, y el gas entonces comprimiendo al tafetan es muy facil que llegue á rasgarle. Aun cuando fuera muy resistente no es conveniente llenarle del todo en tierra, porque aunque la rapidez de la ascension seria mucho mayor, el globo no llegaria á tan

grande altura, puesto que en virtud del peso del gas la sobrecarga en nuestro ejemplo seria de 26 kilog.

« Cuando se abre la válvula superior y el globo está parado vuelve á subir, y evidentemente se llega á la máxima altura abandonando la mayor cantidad posible de gas sin que el globo deje de estar estendido. No es difícil de antemano calcular á que altura puede llegarse con uno de estos aparatos, valiéndose para ello de las fórmulas que daremos al tratar del barómetro. » (Person.)

55. « Los hermanos Montgolfier, son los inventores del maravilloso aparato que acabamos de describir. Anunciaron que habian construido una máquina con que podria caminar en la atmósfera, y se hizo el primer experimento en Annonay el 5 de junio de 1785 en presencia de varias corporaciones y un numeroso concurso de espectadores. Podia ser de papel ó de tafetan la *Montgolfiera*, pues tal fué el nombre que entonces recibió el aparato; tenia en la parte inferior una abertura de algunos pies cuadrados y á cierta distancia debajo de esa abertura habia una cestita ó regilla de alambres de hierro en la que se colocaba un combustible como lana, papel ó paja. La combustion de estos cuerpos producía gases calientes que penetraban é hinchaban el globo por sí mismos, y como de dos volúmenes de aire uno frio y otro caliente, el frio pesa mas que el caliente, resultaba que el volumen de aire desalojado pesaba tambien mas que el del globo.

« Un célebre físico, Charles, joven todavia y profesor en Paris, tuvo la feliz idea de reemplazar el aire caliente con el gas inflamable, hoy gas hidrógeno cuya lijereza era conocida desde 1766 por los experimentos de Cavendish. Ese gas es catorce veces mas lijero que el aire, porque, tomando la de este último por unidad, su densidad es 0,0688. Un centímetro cúbico de aire pesa  $0^k,004299075$  y  $4000^m$  cub. pesan  $1299^k$ , al paso que  $4000^m$  cub. de hidrógeno pesan solo  $89^k, 760$ . La diferencia es  $4209,699$ . De manera

que un globo de mil metros cúbicos, lleno de hidrógeno, puede levantar un peso de 1209<sup>6</sup>,699. Un globo de 500<sup>m</sup> cub. no podría levantar mas que 604<sup>8</sup>849. Charles hizo construir un aparato de ese tamaño, y para dar á entender la confianza que le inspiraba su descubrimiento, emprendió un viage con Robert, y en breves instantes se hallaron á 400 ó 500 toesas de la tierra. Partieron del centro del jardín de Tullerías, toda la poblacion estaba en movimiento, las plazas públicas, los tejados, las torres y todos los sitios elevados guarnecidos de curiosos espectadores: un cañonazo fué la señal de la partida, el globo se elevó en los aires como un meteoro que aparece en el horizonte, y á cierta altura se distinguian aun las banderolas flotantes iluminadas por el sol y á los navegantes que con tranquilidad no afectada, saludaban á la tierra. Jamas experimento alguno de fisica escitó tanta admiracion ni arrancó tan vivos aplausos.

« No podia menos de tener imitadores tan maravilloso viage. Sin embargo, entre todos los que se repitieron para las investigaciones científicas, es el mas notable el que emprendieron en Francia, en 1804, los señores Gay-Lussac y Biot, durante el cual y á la altura de 4000 metros hicieron importantes experimentos sobre el estado eléctrico y temperatura de esas altas regiones. M. Gay-Lussac subió despues á 7000 metros, la mayor altura á que jamas han llegado los hombres, aunque Humboldt y Bonpland no se quedaron muy atras, pues partiendo del volcan de Cotopaxi en el Chimborazo subieron á 6100 metros. A aquella altura dice M. Gay-Lussac que el frio es muy intenso; su termómetro, que en la superficie de la tierra estaba á  $+50^{\circ}$  descendió hasta  $-40^{\circ}$ . La sequedad de la atmósfera es tan considerable que los cuerpos higrométricos, perdiendo toda su humedad, se resuelven y deshacen completamente. El color del cielo es azul algo oscuro. Suspendido en el centro de estos espacios á tan

grande distancia de la tierra y cuerpos resistentes, el menor ruido viene á turbar la tranquilidad del viajero y su vista vagando incierta sin hallar ningun objeto en que fijarse trasmite al alma un sentimiento de soledad que solo M. Gay-Lussac puede describir. Despues de 6 horas de navegacion y de haber recorrido mas de treinta leguas en linea horizontal, empezó á bajar M. Gay-Lussac y encontró la tierra en las cercanías de Ruan. En sus correspondientes lugares encontrará el lector los resultados con que ha enriquecido á la ciencia este memorable viage. (Pouillet.)

34. « El lastre es muy util para descender; en efecto, si la caida es rápida, no hay mas que disminuir poco á poco ese peso, y el movimiento va siendo cada vez menor. Para empezar á bajar, cuando el globo está en equilibrio, no hay mas que soltar parte del gas, hasta que disminuya el volumen, y el aparato entonces baja aceleradamente sin detenerse, aun cuando sea muy grande la diferencia de densidad entre las capas de aire.

« En el día se construyen globos muy pequeños con una membrana preparada con los intestinos de buey, sustancia que tiene la propiedad de pegarse á sí misma sin necesidad de otra intermedia; cuando tienen 5 pies de diámetro pesan generalmente  $2\frac{1}{2}$  onzas, y pueden levantar de 6 á 7 onzas. Aun mas pequeños se construyen de goma elástica, y todavía menores soplando y dejando desecar la seda líquida que se saca de los gusanos.

« Hasta el día no se han empleado los globos en operaciones de mucha importancia. En la batalla de Fleurus, con uno de ellos, se observaron las posiciones del enemigo, pero despues de esta época no parece que ha vuelto á ponerse en práctica. Recientemente se ha dicho que en Inglaterra se trataba de suspender las grandes masas de transporte de estos aparatos y que entonces la conduccion era mas facil; pero ademas de ser necesario un globo de 50 pies de diámetro para levantar un peso de 600 kilogr.

es muy costoso el llenarlos, y el gas se escapa en poco tiempo. Todas las tentativas para dar direccion á los globos han sido infructuosas hasta aquí. Parece que se ha renunciado á manejarlos con alas y se trata en el dia de servirse de los vientos en que caminan en diferentes direcciones á diversas alturas de la atmósfera, en cuyo caso queda reducido el problema á saber subir y bajar para encontrar la corriente propicia. » (Person.)



53. Aunque esta cuestion es muy complicada en sus pormenores, puede sin embargo formarse idea, comparándola á la natacion. Se concibe en efecto que cuando las alas bajan, el aire resiste y el pájaro encuentra un punto de apoyo para levantarse. Cuando las despliega y levanta, no hallan la misma resistencia porque son convexas y pueden encorvarse mas, cediendo á la oposicion del aire. (Fig. 9.) Por otra parte, los músculos de ascension no son tan vigorosos como los de descenso; estos forman una masa espesa y compacta, cuyo tejido es parecido al del corazon; así los de muchas aves viajeras se contraen durante dias enteros sin la menor intermision. Las alas á su vez, merced á su configuracion, no se mueven como los remos para el vuelo de avance; pues como su superficie es oblicua, y de consiguiente el borde anterior mas bajo que el posterior, resulta que la impulsión del descenso es hacia adelante y en direccion de la recta AB; mas como la de su cuerpo es DC, la resultante AD será horizontal ú oblicua segun la posicion de AB. Cuando se acerca mucho á AC, todo concurre á aumentar la velocidad; por eso las aves de rapiña se precipitan con una rapidez asombrosa. Esa misma fuerza AB nunca es directa sino cuando el ave bate sus alas con simetria. Segun esto, cuando el

ala izquierda se agita con mas velocidad que la derecha debe volverse hácia este último costado. La inclinacion del cuello facilita los cambios de direccion. Cuando el pájaro va tendido y sin agitar sus alas, es prueba de que solo camina en virtud de la velocidad adquirida. La cola, si es que contribuye al movimiento, solo sirve para subir y bajar y de ningun modo para los giros de costado; su principal utilidad consiste en aumentar la superficie y por consiguiente la resistencia á la caida, pues como todo el mundo sabe permanece estendida durante el vuelo.

Algunos hombres han llegado á elevarse con alas postizas, pero aun en el aire mas tranquilo les era imposible soportar mucho tiempo este trabajo. El peso del hombre es enorme comparativamente al de los pájaros, ofrece muy poca superficie con respecto á su masa, y necesita alas muy grandes y á mas de eso una fuerza prodigiosa para moverlas; esas alas, por otra parte, no tienen comparacion con las de las aves, que la naturaleza renueva y compone continuamente. El mecánico *Degen*, que suspendido de un globo, intentó darle direccion con sus alas, no pudo conseguirlo, pues la menor corriente le sacaba de su direccion.

Densidad de los líquidos.

56. *Primer método.* Las densidades de los líquidos, como otra vez hemos dicho, se refieren siempre á la del agua, ó lo que es lo mismo, la de este cuerpo sirve de unidad para todos los demas. El método es tan sencillo que no hay mas que pesar un frasco esmerilado, lleno sucesivamente de aire, de agua y del líquido cuya densidad se quiere conocer. ®

Ejemplo.

Peso del frasco lleno de agua.	495,578
— lleno de aire.	128,595
Peso del agua.	66,985
Peso del mismo frasco lleno de alcohol.	481,545
— lleno de aire.	128,595
Peso del alcohol = 481,545 - 128,595 =	52,920

Como la densidad del aire y la del líquido, por ligero que sea, son siempre muy diferentes, no hay necesidad de retirar el primero del frasco. Restando el peso del frasco vacío del que tiene cuando está lleno, se obtiene por residuo el peso del líquido, y como, bajo un mismo volumen, las densidades son proporcionales á los pesos, resulta que la densidad del alcohol, v. g., es á la del agua, tomada por unidad : 52,920 : 66,985, de donde la densidad del alcohol = 0,790.

Antes de pesar el frasco es muy conveniente sumergirle cierto tiempo en una masa de agua ó temperatura constante.

No se toma en cuenta la variacion de la presión, porque apenas influye en la densidad de los sólidos y líquidos.

Si durante el experimento anterior fue 45°, la temperatura, y se quieren referir los resultados á 4°, no hay mas que corregir los pesos de los líquidos, teniendo bien presente que son tanto mas pequeños cuanto mas dilatados estan los líquidos; de manera que si  $t$  es la temperatura,  $a$  el coeficiente de dilatacion del alcohol y  $e$  el del agua, los pesos precedentes se convertirán á 4° en

$$52,920 \frac{1+at}{1+a40} \text{ y } 66,985(1+e)(t-4).$$

Como al pesar los cuerpos hay siempre una pérdida por el mero hecho de estar sumerjidos en el aire, es muy conveniente, si los resultados han de ser exactos, saber hacer la competente correccion.

Llamemos  $V$  al volumen interior del vaso,  $P$  al peso del agua que contiene,  $p'$  al del líquido, y designando por  $D$  la densidad incógnita y por  $d$  la del aire tendremos.

$$P=V(1-d) \text{ y } P'=V(D-d); \text{ de donde}$$

$$D=\frac{p'+d(p-p')}{P}. \text{ (Péclet.)}$$

Comunmente se comparan las densidades á la temperatura general de los cuerpos inmediatos al observador.

57. *Segundo método.* Fúndase este procedimiento en el principio de Arquímedes. Parece que lo descubrió tratando de averiguar, por mandato de Hieron, Rey de Siracusa, si una corona que este príncipe le habia dado contenia ó no alguna aleacion de otro metal poniéndole por condicion espresa, que no deshiciera la corona.

Para aplicar este principio, hé aquí el método que se sigue prácticamente. Suspéndese un cubito metálico de un alambre fijo á uno de los platillos de la balanza ordinaria, se añaden pesos en el otro hasta que entramos esten en equilibrio, y se sumerje por fin el cubo en vasijas llenas de diferentes líquidos; en cada una de estas operaciones parciales hay ó que añadir ó que quitar pesos en el platillo opuesto; ahora bien, como los volúmenes desalojados son siempre iguales, y como los pesos agregados ó sustraídos representan las pérdidas que el cubo experimenta en virtud de la inmersión, resulta que dividiendo esos pesos uno á uno por el que ha sido necesario añadir al sumerjir el cubo en el agua destilada tendremos por cocientes las densidades de los líquidos experimentados.

Conservando los valores signos iguales á los del primer método, la fórmula correspondiente á la correccion de los pesos por la presencia del aire, es la misma que dimos anteriormente.

Aunque los dos métodos son igualmente precisos, se emplea mas comunmente el primero por ser mas cómodo en una multitud de circunstancias, sobre todo cuando el aire atmosférico puede con su contacto deteriorar los líquidos.

En los antiguos gabinetes de Física existe un instrumento (Fig. 10) con el que inmediatamente pueden estimarse las densidades. Consta de un sifon cuyos brazos AB y CD, siendo iguales, comunican por la parte superior con un cuerpo de bomba semejante al de una máquina pneumática, segun que la llave R está abierta ó cerrada. Si se hace funcionar el émbolo, sale el aire del sifon en parte y ambos líquidos se elevan á una cierta altura. Llamando H á la altura de uno cualquiera de ellos y D á su densidad, y H' y D' respectivamente á la altura y densidad del otro, tendremos

$$H:H'::D':D; \text{ de donde } \frac{D'}{D} = \frac{H}{H'}$$

Este método ha sido abandonado por la corta precision de que es susceptible.

M. Babinet se sirve de un método bastante espedito. Su aparato consiste en un sifon, cuya parte media ABC está llena de aire, y en él se echan los líquidos de modo que los puntos *mCBn* esten todos en la misma horizontal, las densidades estan en razon inversa de las alturas sobre la linea *mn*.

DIRECCIÓN GENERAL DE

Tabla de las densidades de algunos líquidos.

Acido sulfúrico.	1,8409
— nitroso.	1,550
Agua del mar muerto.	1,2405
Acido nítrico.	1,2175
Agua del mar.	1,0265
Leche.	1,05
Agua destilada.	1,0000
Vino de Burdeos.	0,9959
Vino de Borgoña.	0,9945
Aceite de olivas.	0,9455
Eter muriático.	0,874
Aceite esencial de trementina.	0,8697
Betun liquido, vulgo nafta.	0,8475
Alcohol absoluto.	0,792
Eter sulfúrico.	0,7455

Densidades de los sólidos.

58. El segundo método de los líquidos puede tambien aplicarse á los sólidos; es decir, que no hay mas que pesar los cuerpos en el aire y en el agua, y dividir el peso en el primer caso, por la pérdida en el agua, para tener la densidad referida á ese líquido.

Ademas de ser muy preciso, tiene la ventaja de ser aplicable en grande, como si por ejemplo se tratara de saber la densidad de una masa de hierro, de bronce de una hoja de palastro, etc., pues en ese caso no habria mas que pesarlos al aire libre y tomar el peso en el agua fijándolos en seguida al platillo de una gran ballanza.

El método siguiente es el que casi exclusivamente se

emplea en los laboratorios. Se pesa desde luego un frasco esmerilado lleno de agua destilada. Sea P este peso, p el del cuerpo en el aire; se introduce en seguida el sólido en el frasco, y con evidencia desaloja un volumen de agua igual al suyo; si en este estado se pesa de nuevo y llamamos P' a ese peso, ó lo que es lo mismo al del frasco con el agua y el sólido, tendremos que  $P+p-P'$  será evidentemente el peso del volumen de agua desalojado, y por consiguiente la densidad del cuerpo igual

	$\frac{P}{P+p-P'}$
Ejemplo:	
Peso del frasco lleno de agua.	185,545
Peso de un pedazo de plata en el aire.	22,474
Total.	206,017

Peso del frasco, cuando contiene el agua y el cuerpo. 205,872

Peso del agua desalojada = 206,017 - 205,872 = 2,145

Y densidad, en fin, de la plata =  $\frac{22,474}{2,145} = 10,477$

Este método es aplicable á los cuerpos mas ligeros y mas pesados que el agua, y es sobre todo ventajosísimo para los cuerpos en polvo como la arena, el carbon, etc., pero en tales casos hay que colocar el frasco en la máquina neumática para facilitar el desprendimiento del aire interpuesto. En algunos casos tambien se hace hervir el liquido.

58 a. Hay cuerpos tan porosos que el sumergirlos en el agua absorven una gran cantidad, y entonces es necesari-

rio servirse de métodos especiales. Puede pedirse ó la densidad real y efectiva ó la densidad aparente. Para la primera se opera del modo que acabamos de indicar, dejando mucho tiempo el cuerpo en contacto con el agua para que sea completa la imbibicion. Designando por P el peso del cuerpo en el aire, por P' el peso del volumen de agua desalojada,  $\frac{P}{P'}$  es la densidad efectiva.

Pesando ahora el cuerpo despues de la total absorcion, tendremos un peso p que será el del agua que hubiera sido desalojada, si no hubiera habido absorcion, v. g. si el cuerpo hubiera estado barnizado; y por consiguiente la densidad aparente ó exterior de cuerpo deberá representarse por

$$\frac{p}{p'+p}$$

59. Si la sustancia fuera soluble en el agua, en vez de esta se emplearia otro líquido que no le disolviera y cuya densidad con respecto al agua fuese tambien conocida; sirviéndose, por ejemplo, del mercurio que pesa 15,389 veces mas que el agua, no habria mas que multiplicar la densidad obtenida por 15,386 para llegar á obtener la verdadera. Puede ocurrir, que el cuerpo se altere en el agua y en el mercurio, como le sucede al potasio; en cuyo caso se emplea, v. g. el aceite de nafta, y se multiplica el resultado por 0,8 densidad del último.

Tabla de la densidad á 48° de un cierto número de cuerpos sólidos.

Platina laminada.	22,0690	Rodio.	4,9480
— pasada por la hilera.	21,0417	Espato pesado.	4,4500
— forjada.	20,5566	Gergon de Ceylan.	4,4164
— purificada.	19,5000	Espato fluor.	5,1911
Oro forjado.	19,5617	Turmalina (verde).	5,1555
— fundido.	19,2581	Mármol de Paros.	2,8576
Tungsteno.	19,6000	Esmeralda (verde).	2,7755
Mercurio á 0°.	15,5980	Cal carbonatada cristalizada.	2,7482
Plomo fundido.	11,5525	Cristal de roca, puro.	2,6550
Paladio.	11,5000	Azufre nativo.	2,0552
Rodio.	11,0000	Marfil.	1,9170
Plata fundida.	10,4745	Alabastro.	1,4780
Bismuto fundido.	9,8220	Antracita.	1,8000
Cobre en alambre.	8,8785	Alumbre.	1,7200
— rojo fundido.	8,7880	Ulla compacta.	1,5292
Molibdeno.	8,6110	Succino.	1,0780
Arsénico.	8,5080	Hielo.	0,9500
Niquel fundido.	8,2790	Madera de encina.	0,8520
Urano.	8,1000	— de olmo.	0,8000
Acero no batido.	7,8165	— de manzano.	0,7550
Cobalto fundido.	7,8119	— de naranjo.	0,7050
Hierro en barras.	7,7880	— de pino.	0,6570
Estaño fundido.	7,2914	— de ciprés.	0,5980
Hierro fundido.	7,2070	— de cedro.	0,5610
Zinc fundido.	6,8610	Alamo de España.	0,5290
Antimonio fundido.	6,7120	Corcho.	0,2400
Teluro.	6,1150		
Cromo.	5,9000		

## De los areómetros.

40. Las nociones precedentes contienen todo lo mas importante para determinar los pesos específicos. No debemos, sin embargo, pasar en silencio los areómetros ó pesalicores, instrumentos que sirven para abreviar la operacion cuando se trata de líquidos, y que son por otra parte muy usados en el comercio para medir los de los aguardientes, ácidos, etc.

41. Los areómetros son ó de volumen constante ó de volumen variable. La construccion estriba en que si un cuerpo está sumergido y flotante en parte en un líquido el volumen del líquido desalojado es igual al del total del cuerpo. (N° 46, tomo I.)

El areómetro de Farenheit es de volumen constante, y compuesto unas veces de hoja de lata y las mas de cobre muy delgado. Su forma es la que representa la Figura 12. C es un platillo donde se colocan los pesos, y DC un alambre de media linea de diámetro; DE un tubo de una á dos pulgadas de diámetro y M una bola llena generalmente de plomo, para que sea estable el equilibrio del aparato. En todos los esperimentos debe sumergirse hasta la señal ó marca *b*, y se le da en total un peso con el que no pueda hundirse hasta esa raya en el líquido mas lijero. Se colocan ciertos pesos sobre el platillo superior, que reunidos al del instrumento, representan el del volumen de líquido desalojado, y como ese volumen es constante en todos los esperimentos, se tienen todos los datos necesarios para estimar las densidades. Supongamos que el instrumento pesa *P* y que sea necesario añadir *p* para que penetre en el agua hasta *b*; si en otro líquido hay que añadir *p'* para que se detenga asimismo en *b*, es evidente que

las densidades de los dos líquidos estan en la relacion de  $P+p$  á  $P+p'$ .

*Ejemplo.* Un areómetro que pesa 55s,252 necesita 48s, 254 de peso adicional para que la marca esté á flor de agua.

El mismo instrumento en otro líquido y para satisfacer á la misma condicion, necesita 25s,474.

La densidad del segundo con respecto al agua, es

$$\frac{60,426}{50,505} = 1,196.$$

Este instrumento es poco usado en el día.

Para servirse de las fórmulas anteriores se deben referir todos estos resultados á la temperatura de 4°.

41 a. Nicholson, adaptando otro platillo á la parte inferior, ha generalizado y estendido los usos del instrumento de Fahrenheit, convirtiéndole en una especie de balanza hidrostática con la que pueden estimarse las densidades de los cuerpos sólidos. Para esto no hay mas que colocarle, primero, en el platillo superior, cuando la marea está á flor de agua; naturalmente, por poco que el cuerpo pese, se hunde el instrumento, se quitan entonces las pesas necesarias para que la señal vuelva al nivel del agua, y esas pesas representan exactamente el peso del cuerpo en el aire; colocásele despues en el platillo inferior, y si es mas ligero que el agua se le sujeta de un modo cualquiera; los pesos que hay que añadir para que la señal vuelva á flor de agua representan el peso del volumen de agua desalojada; dividido por este, el peso del cuerpo en el aire, se obtiene por cuociente la densidad del cuerpo sólido. La Fig. 45 representa el instrumento: puede servir en los viajes mineralógicos, pero no es bastante preciso para operaciones mas delicadas.

41 b. El areómetro de volumen variable y peso constan-

te, da las densidades inmediatamente, sin necesidad de hacer intervenir los pesos.

Su forma es con corta diferencia igual á la del areómetro de Fahrenheit, pero el alambre no es tan fino, pues suele tener de 2 á 5 líneas de diámetro; todo el instrumento (Fig. 44) es de vidrio. Si sumergido en el agua, se detiene en el punto D y sumergido en otro líquido de doble densidad queda en el punto B su nivel, es evidente que el volumen del vástago BD es la mitad del volumen DBC, y dividiendo ese trozo en diez partes iguales, cada una de ellas será la décima del volumen BC; mas como el peso de todo el areómetro es constante, el volumen desalojado en cada líquido tendrá el mismo peso, y las densidades de los líquidos estarán en razon inversa de los volúmenes sumergidos. Si el volumen en el agua es 20, las densidades correspondientes á las divisiones 40, 44, 42, 45, 44, etc., serán

$$\frac{20}{40}, \frac{20}{44}, \frac{20}{42}, \frac{20}{45}, \frac{20}{44}, \text{etc.}$$

y graduado de este modo el areómetro, dará inmediatamente las densidades de un líquido mas pesado que el agua.

Si por el mismo método se quiere saber la de un líquido mas ligero, se dispone el aparato de modo que en el agua destilada esté fuera del nivel la casi totalidad del vástago, como representa la Fig. 45. A es el punto del agua destilada, B en el que se detiene el areómetro sumergido en un líquido cuya densidad es la mitad de la del agua.

El vástago AB, cuyo volumen es igual al de la parte AC, está dividido en partes iguales; al lado se hallan escritas las densidades correspondientes á cada líquido, comenzando desde A, y son sucesivamente como los números.

$$\frac{40}{41}, \frac{40}{44}, \frac{40}{42}, \frac{40}{20}, \dots$$

42. En esta graduacion son iguales los grados trazados sobre la escala, aunque corresponden á densidades que crecen ó menguan una cantidad desigual. Hemos tomado, para mayor sencillez, las densidades en razon dupla, aunque la graduacion se haria siempre de la misma manera cualquiera que fuese esa relacion.

Pero como este método supone que el diámetro del tubo es uniforme en toda su longitud, vamos á describir otro aparato absolutamente independiente de esa condicion.

Si el areómetro se detuviera, en el agua destilada, en el punto A, y quisieran escribirse las densidades sobre el vástago, el problema seria sencillísimo, teniendo á mano líquidos de diferentes densidades; pues no habrá mas que ir sumergiendo el instrumento en todos ellos y anotar la altura correspondiente á cada uno. Una marcha semejante en las operaciones exige un gran número de líquidos; afortunadamente sin ellos puede seguirse otro camino. Con un poco de agua pura, unas cuantas pesas y una balanza, se gradua perfectamente un areómetro. En efecto sumérgase el instrumento en un líquido mas denso que el agua, hasta que llegue v. g. al punto B; saquésele de esa vasija para introducirle en el agua, y quitense entonces los pesos necesarios hasta que su nivel rase con la misma marca B. Llamemos ahora  $p$  al peso primitivo del instrumento cuando se detiene en B en el líquido cuya densidad es  $d$ ;  $x$  al peso que es necesario quitar al areómetro, al tiempo de meterle en el agua, para que permanezca tambien en B y como, en ambos casos, es idéntico el volumen desalojado, las densidades de los líquidos serán entre sí como los pesos del instrumento en los dos casos, y tendremos

$$p - x : p :: 1 : d, \text{ de donde } x = p - \frac{p}{d}.$$

Dando un valor á  $d$ , se hallará para  $x$  otro que representará el peso que es necesario quitar al areómetro, para que este instrumento, si estuviera sumergido en el agua pura, se detuviera en el mismo punto, que con todo su peso marcaba en el líquido de densidad  $d$ ; dando á  $d$  diferentes valores desde 2 hasta 1, se tienen todos los puntos del vástago correspondientes á esas densidades, y el instrumento queda enteramente graduado. Despues de esto, será necesario volverle su peso primitivo y cerrarle á la lámpara, y en ese caso ya está corriente para indicar todas las densidades desde 1 hasta 2.

Puede servir tambien para señalar las densidades de los líquidos mas pesados que el agua, siguiendo exactamente, para la graduacion, la misma marcha que si los líquidos fueran mas ligeros. Sea CD (Fig. 47) el vástago que se detiene en D en el agua pura; introducido en seguida en un líquido menos denso se detendrá en el punto C, pero aumentando convenientemente el peso del instrumento se le podrá hundir hasta C en el agua destilada. Si  $x$  es el peso adicional, y  $p$  el primitivo del instrumento, tendremos la proporcion

$$d : 1 :: p : p + x, \text{ de donde } d = \frac{p}{p + x}.$$

Dando á  $d$  sucesivamente los valores 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5, se tendrán los pesos que habrá que añadir al peso,  $p$  del instrumento; y sumergiéndole en seguida en el agua se anotarán sobre el vástago las densidades 0,9; 0,8...; 0,5, acabando el resto como anteriormente hemos dicho.

42 a. Los areómetros mas conocidos en el comercio son los que llevan el nombre de su inventor, Beaumé; indican

que un líquido es mas pesado ó ligero que otro, pero no marcan la densidad; los números trazados en su escala no guardan proporcion entre sí. Para los líquidos mas pesados que el agua, se sumerge el instrumento primero en agua pura, y despues en una mezcla de 85 partes de ese líquido y 15 de sal, y se divide en 15 partes el espacio, colocándolo el cero en el punto correspondiente al agua, y en seguida ya no hay mas que prolongar la escala con un compás hasta donde se quiera. El grado 54 corresponde al ácido nítrico y 66 al ácido sulfúrico. Para los líquidos mas ligeros que el agua se opera del mismo modo, con la sola diferencia de que en la disolucion se echan 10 partes de sal, y que el cero se marca en el punto en que se detiene cuando está sumergido en esa disolucion. Se divide el intervalo en 10 partes iguales prolongando la division encima del décimo grado que corresponde al agua. El alcohol del comercio señala 55°. Cuando está puro 44° á 45°, 70° el éter sulfúrico, etc.

Hé aquí el modo de graduarlo para que inmediatamente indique las densidades.

Supongamos que el instrumento (Fig. 18) se hundé hasta A en el agua pura y que penetra hasta B en otro líquido de menor densidad; supongamos ademas que el espacio AB comprende un número de divisiones  $m$  que se quieren determinar, y que cada una de ellas ha de corresponder, por ejemplo, á  $\frac{1}{100}$  de variacion de densidad, y que  $V$  sea el volumen CA y  $V'$  el volumen CB; estos dos volúmenes que tienen el mismo peso (el del instrumento) estan en razon inversa de las densidades de los líquidos.

Si  $d$  representa la densidad del agua, tendremos

$$V:V'::1-\frac{m}{100}:1, \text{ de donde } V'=\frac{100V}{100-m};$$

$$\text{y de ahí } V'-V=AB=\frac{mV}{100-m}.$$

Si ahora hacemos sucesivamente  $m=1, =2, =3, \text{ etc.}$ , tendremos  $\frac{1V}{99}; \frac{2V}{98}; \frac{5V}{97}$  para los trozos del vástago que

corresponden á las densidades  $1-\frac{1}{100}; 1-\frac{2}{100}, \text{ etc.}$ ; de

manera que ya no hay mas que trazar sobre el vástago, á partir de A, las divisiones que corresponden á los volú-

menes  $\frac{1V}{99}; \frac{2V}{98}; \frac{5V}{97}, \text{ etc.}$

Para eso se construye un triángulo equilátero (Fig. 49) sobre una línea  $mn$  previamente dividida, á partir de A, en partes proporcionales á

$$\frac{1}{99}; \frac{2}{98}; \frac{5}{97}; \text{ haciendo } pK=AB.$$

KF, paralela á  $mn$  é igual á  $pK$  y AB, debe estar dividida en partes proporcionales á  $mn$ , de manera que colocando el vástago ó varilla del areómetro sobre la línea KF, de modo que los puntos A y K coincidan; quedará convenientemente dividida. Y del mismo modo se procederá para otro areómetro cualquiera.

Arreglado el instrumento del modo que acabamos de explicar, sirve para tomar las densidades de los líquidos mas ligeros que el agua, y servirá tambien para los mas pesados, con solo prolongar la division del vástago, encima de A, de manera que las partes, á partir de ese punto, sean

$$\frac{V}{101}; \frac{V}{102}; \frac{V}{105}; \text{ etc.}$$

Sea en efecto  $V''$  el volumen del areómetro sumergido en un líquido de una densidad  $1+\frac{m}{100}$ , y tendremos

$V:V'':4=\frac{m}{100}:1$ , de donde  $V-V''=\frac{Vm}{100+m}$  haciendo ahora  $m=1, =2, =5$ , podrá establecerse la progresion

$$\frac{V}{101}; \frac{2V}{102}; \frac{5V}{105} \dots$$

En cuya graduacion las partes del vástago, siendo desiguales, corresponderán á diferencias iguales de densidad.

Como por los métodos indicados anteriormente se obtienen areómetros mucho mas perfectos para medir las densidades, se han consagrado esclusivamente los últimos á los usos del comercio.

Del *maximum* de densidad del agua.

45. En general la densidad de un cuerpo es tanto mayor, cuanto menor es su temperatura. El agua, sin embargo, saliéndose de la ley, llega á su *maximum* de densidad á  $+4^{\circ}$  centigrados, y pasado este punto la densidad es tanto mas debil quanto mas baja es la temperatura. Hay varios modos de demostrar esta proposicion.

Hope, fisico inglés, coloca dos termómetros en un cilindro, cerca de su abertura el uno y el otro en la parte inferior; llena en seguida todo el cilindro de agua á  $0^{\circ}$ , y le traslada en seguida á una habitacion á  $15^{\circ}$ ; ha observado que pasados  $5^{\circ},55$  en un esperimento y  $5^{\circ},88$  en otro, el primer termómetro marcaba mayor temperatura que el segundo; y que cuando las temperaturas eran superiores sucedia lo contrario, de donde infirió que el *maximum* de temperatura estaba entre  $5^{\circ},55$  y  $5^{\circ},88$ . Esta gran discordancia no prueba mas que defecto en la observacion ó en los termómetros.

Tralés, sabio suizo, coloca el mismo punto en  $4^{\circ},55$ . Los

señores Gilpins y Blagden, pesando el agua á diferentes temperaturas, han fijado en  $5^{\circ},88$  la de su máxima densidad.

Lefevre-Guineau, midiendo las pérdidas que experimenta un cubo metálico sumergido sucesivamente en el agua á diversas temperaturas, han hallado que la pérdida mayor se verifica á  $4^{\circ},44$ .

M. Hallestrom se vale, para medir las pérdidas que experimenta el agua á diversas temperaturas, de una bola de vidrio hueca y llena de arena, cuyo peso no es mucho mayor que el del agua, y ha preferido este método á los de Tralés y de Hope, porque estos le daban resultados muy discordes entre sí.

Los valores extremos que ha obtenido, son  $4^{\circ},85$  y  $5^{\circ},4$ ; pero el conjunto de los esperimentos hechos por él y por diferentes físicos, le ha conducido á admitir  $4^{\circ},4+0,27$ , es decir de  $4^{\circ},57$  á  $5^{\circ},85$ .

Yo tambien me he ocupado en este asunto desde principios de 1852, sirviéndome principalmente de dos métodos. Consiste el primero, en observar las contracciones que experimenta el termómetro de agua, midiendo las temperaturas correspondientes con un instrumento análogo de mercurio desde 8 hasta 0; con las contracciones observadas trazo una curva del modo siguiente; divido en partes iguales la horizontal AB (Fig. 20), y estas partes representan los grados del termómetro de mercurio; y de cada una de las temperaturas que me da el esperimento levanto una perpendicular proporcional á la contraccion del líquido.

Al principio, descende la columna, pero al poco rato vuelve á subir, y el *maximum* aparente se presenta cuando el agua se contrae menos que el vidrio. Para determinar el máximo absoluto se toma una altura AD, que represente la dilatacion del vidrio correspondiente á un número dado de grado, v. g. 15.

Y entonces, la línea DE puede considerarse como si representase la dilatación del vidrio en el intervalo de  $45^{\circ}$ , y esa línea es recta, porque en dicho intervalo la dilatación del vidrio es uniforme. Tirando ahora á la curva una tangente paralela á la línea DE, el punto de contacto corresponderá á la máxima temperatura, y sus distancias á la curva á derecha é izquierda serán las dilataciones absolutas del agua. He empleado 4 tubos diferentes en estos experimentos.

1ª Serie,  $5^{\circ},99$ ; 2ª,  $4^{\circ},92$ ; 3ª,  $4^{\circ},01$ ; 4ª,  $5^{\circ},96$ , término medio  $4^{\circ},00$ .

En el segundo método, me he servido de un vaso cilíndrico de tierra que contenía 6 kilog., y por cuyas paredes atravesaban cuatro termómetros colocados horizontalmente de modo que los puntos medios de sus respectivos depósitos se hallaban en el eje del vaso (Fig. 24). Llenaba después el vaso de agua ó á cero ó á  $40^{\circ}$ , esponiéndole después á la acción de una atmósfera caliente ó fría, observando los termómetros de minuto en minuto; y trazaba después la curva correspondiente á cada termómetro del modo que á continuación vamos á indicar. Divídese una línea horizontal AB en partes iguales, y cada una de ellas representa un minuto; por todos estos puntos, levanto perpendiculares proporcionales á las temperaturas, y por sus puntos extremos hago pasar una curva. Creí que estas curvas se cortarían en un solo punto, y que la distancia de este á la horizontal AB representaría la máxima temperatura. Sin embargo no ha sucedido así, sino que se han cortado en una porción de puntos, cambiando varias veces de dirección, cuyos cambios é intersecciones son mas frecuentes cerca del máximo. Este, enfin, se obtiene tomando el término medio de todas las temperaturas correspondientes á dichos cambios é intersecciones.

Hay varias correcciones que hacer; es relativa la primera á la posición horizontal de los termómetros, en la

cual señalan una posición demasiado elevada, y se refiere la segunda á la acción que el aire ejerce sobre la parte de la columna de termómetro que no está en contacto con el agua. El valor de cada una de ellas se determina por medio de experimentos.

Dos experimentos, en que el agua estaba á cero y el aire á  $+17,52$  han dado 5,966.

Y se ha obtenido  $4^{\circ},052$  de otros dos experimentos, en los que el agua estaba á  $8^{\circ}$  y el aire á  $-5^{\circ},45$ .

La diferencia está justamente en el sentido que corresponde, pues en el primer caso, el termómetro está un poco mas frío que el agua, y un poco mas caliente en el segundo.

El término medio sería  $5^{\circ},999$ ; pero no es el término medio lo que debemos tomar; nos parece mas exacto dividir la diferencia,  $0^{\circ},066$ , proporcionalmente á las velocidades de cada experimento, que estaban en razón de 5 á 3, es decir que en el primer experimento, la velocidad era  $0^{\circ},05$  por minuto, y  $0^{\circ},03$  en el segundo, y de este modo se obtiene  $4^{\circ},007$  para la máxima temperatura. El término medio entre este número y el número  $4^{\circ}$  obtenido mediante los tubos, es  $4^{\circ},005$ ; nuestra unidad de peso ó la grama es el peso de un centímetro cúbico tomado á la temperatura del máximo de densidad; mas como no es muy exacto que la pesada haya sido ejecutada á la verdadera temperatura del máximo, es muy posible que la grama sea falsa.

Conociendo ya la máxima densidad del agua, se puede explicar la razón de porque el fondo de todos los lagos, formados por las aguas que provienen de la fusión de las nieves, está constantemente á la temperatura de  $4^{\circ}$ , pues que á esta temperatura como el agua es muy pesada cae naturalmente al fondo. Y del mismo modo se da cuenta de la formación de las cavidades cilíndricas que hay en

los témpanos de hielo, y que el conde de Rumford ha observado por primera vez. (Véase la temperatura de los mares.)

44. El agua que contiene en disolucion algunas materias estrañas, como por ejemplo una sal, tiene distinto máximun de densidad; pues que como el agua se hiela á una temperatura inferior á cero, ese máximun debe estar tambien mas bajo que 4°.

Y si son exactos mis esperimentos, baja mucho mas en temperatura que la temperatura de la congelacion.

Para 0,0425 de cloruro de sodio, la congelacion es á  $-0,74$  y el máximun á  $+0,919$ .

Para 0,0246, *idem*, congelacion á  $-1^{\circ},44$ , máximun  $-1^{\circ},69$ .

Para 0,0570, *idem*, congelacion á  $-2^{\circ},12$ ; máximun  $-4^{\circ},75$ .

Para 0,0744, *idem*, congelacion á  $-4^{\circ},26$ ; máximun hácia  $-16$ .

De manera que para 7 centésimas, el máximun está 45 grados mas bajo que la congelacion. (Mas adelante daremos una tabla completa de la dilatacion del agua.)

45. Naturalmente debemos ocuparnos aquí en las capacidades de las vasijas. La irregularidad de sus formas no permite que empleemos los medios geométricos. Pueden determinarse de dos modos; pesándolas sucesivamente vacías y llenas de agua, ó llenas de aire y despues de agua. Corregida la temperatura, en el primer caso, el número de gramas que pese llena de agua, será igual al número de centímetros cúbicos que puede contener. En el segundo es indispensable añadir el peso del aire al de la vasija. Daremos los detalles concernientes á este último easo.

Ejemplo. Durante el esperimento la temperatura fué de  $20^{\circ},4$ .

Peso del globo lleno de aire.	5425,417
----- lleno de agua.	6109,359
Diferencia.	5567,442
Peso del aire contenido.	6,650
Agua contenida en el globo.	5575,792

Si por medio del cálculo quisiera apreciarse el peso del aire contenido en el globo, seria necesario conocer la densidad de este fluido con respecto á la del agua. Sea  $p$  el peso del globo lleno de aire;  $P'$  el peso del globo lleno de agua.  $P'-p$  seria el peso de la cantidad de agua que contiene á la temperatura del esperimento, menos el del volumen de aire desalojado por el agua. Si  $P$  es el verdadero peso del agua contenida en el globo,  $a$  la relacion entre la densidad del aire y la del agua, tendremos:

$$P - Pa = P' - p, \text{ de donde } P = \frac{P' - p}{1 - a}.$$

Cuyo peso seria precisamente el que encontraríamos si hubieramos pesado el globo vacío. Hemos hecho únicamente esta advertencia con el objeto de poner al lector en estado de apreciar la influencia del aire, pero como el peso de este fluido no es mas que  $\frac{1}{781}$  del del agua, se desprecia generalmente esa correccion.

Si la temperatura del esperimento hubiera sido la misma que la del máximun de densidad del agua, el número de gramas hallado, representaria otro número igual de centímetros cúbicos, y la capacidad del globo seria 5 lit. 574; mas como el agua se ha dilatado en virtud de la temperatura, dicho número de gramas corresponderá á una capacidad mayor que 5 lit. 574. Mas como, segun lo dicho al hablar de las dilataciones, hay que multiplicar el número de gramas 5575,292 por  $1 + E(20,4 - 4)$ , siendo  $E$  el coeficiente de la dilatacion absoluta del agua, referida á

la temperatura de  $4^{\circ}$ , y que es igual á 0,00029 próximamente; hechas las operaciones indicadas, la capacidad anterior se convierte en 5 lit. 617 á  $20^{\circ}$ .4.

Si ahora se desea saber la capacidad á  $4^{\circ}$  es necesario tomar en cuenta la dilatacion del vaso. Sabemos que se ha dilatado en razon de

$$1 + V.4^{\circ} \text{ á } 1 + V.20,4.$$

Siendo  $V$  el coeficiente de la dilatacion del vidrio é igual á 58700; para corregir el efecto de la dilatacion es necesario multiplicarle por esa relacion, lo que produce 5 lit. 598.

Pérdida de peso que experimenta un cuerpo rodeado de aire.

46. Llamemos  $P$  al peso en gramas, de un cuerpo en el vacío;  $d$  á la densidad;  $\frac{P}{d}$ , de consiguiente, será el volumen ó número de centímetros cúbicos; sea  $m$  el peso de un centímetro cúbico de aire, y  $\frac{Pm}{d}$  será el peso del aire

desalojado, ó la pérdida;  $\frac{m}{d}$  representará la densidad del aire referida á la del cuerpo.

Si se ha encontrado v. g. el número  $P'$  para el peso del cuerpo, tendremos  $P - \frac{P}{d}m = P'$ , de donde se sacará el peso  $P$  en el vacío.

$m$ , tomado á cero y á  $0^{\text{m}},76$  de presion, es igual á 0,001299; á una presion  $H$  y temperatura  $t$ , se convierte en

$$\frac{0,001299}{(1+at)} \frac{H}{0^{\text{m}},76}$$

Si además de esto quisiera tomarse en cuenta el efecto que produce el vapor con su presencia, la fórmula sería

$$\frac{0,001299(H-f)}{(1+at)0,76} + \frac{0,001299f}{(1+at)0,76} \times \frac{5}{8}, \text{ ó } \frac{0,001299(H-\frac{5}{8}f)}{(1+at)0,76}$$

siendo  $f$  la elasticidad del vapor que puede estimarse mediante el grado del higrómetro y las tablas higrométricas que hemos dado en su correspondiente lugar. (Par. 21 de este tomo.)

Es necesario tambien corregir el peso.

Supongamos una kilógrama de platina en el vacío.

$$\text{En el aire á cero y } 0^{\text{m}},76 \text{ pesaria } 1000^{\text{g}} - \frac{1000^{\text{g}}}{21 \times 770}$$

siendo 21 la densidad de la platina.

$$\text{Una kilógrama de cobre rojo pesaria } 1000^{\text{g}} - \frac{1000^{\text{g}}}{8,88 \times 770}$$

de donde se deduce que una kilógrama de cobre rojo pesa en el aire  $0,085$  menos que una kilógrama de platina.

Suponemos en todo esto que el aire está seco y la presion de la atmósfera es igual á  $0,76$ . Por lo demás, cualesquiera que sean la temperatura y presion, pueden referirse á ellas los resultados por el método que acabamos de indicar.

47. Al hablar de las densidades, suponiamos en todos nuestros raciocinios que el aire estaba completamente privado de humedad; sin embargo hay medios de saber cuales son las densidades de los gases secos, aunque no pueda disponerse mas que de los húmedos.

Para no complicar mucho el problema se los supone completamente saturados de vapor de agua; debemos acordarnos de que la densidad de este vapor es, á temperatura y presion iguales, los  $\frac{5}{16}$  de la del aire, y además que un espacio, vacío ó lleno de un gas cualquiera, ad-

mite, á una temperatura dada, la misma cantidad de vapor <sup>1</sup>.

De lo dicho resulta que conociendo el peso de un volumen dado de gas húmedo, puede determinarse el de otro volumen igual del mismo gas completamente seco, á la presión 0<sup>m</sup>,76 y temperatura del hielo al derretirse. Y es casi indiferente, para determinar las densidades de esos gases, pesarlos cuando están húmedos que cuando están secos; sin embargo es costumbre desecarlos previamente para evitar los cálculos.

<sup>1</sup> Sea P el peso de un volumen de aire húmedo á la presión H y temperatura t; se trata de saber el peso del mismo volumen de gas seco á la presión 0<sup>m</sup>,76, y á la temperatura del hielo al derretirse. Sea P' este peso incógnito, f la fuerza elástica del vapor que contiene el gas húmedo, el peso de este volumen será  $\frac{P \times (H-f)}{0,76}$  á la presión H-f. A la temperatura t, se convierte en  $\frac{P' \times (H-f)}{(1+a)t \cdot 0,76}$ .

A este peso, es necesario añadir el del vapor que contiene el gas húmedo; este vapor llena todo el volumen de aire, y tiene una fuerza elástica f,  $\frac{5}{8}$  de densidad y una temperatura t, el peso, por consiguiente,

será  $\frac{5 \times P' \times \frac{5}{8}}{8(1+at) \cdot 0,76}$ . Añadiendo esta cantidad al peso del aire seco, se tendrá  $\frac{P'(H-f)}{(1+at) \cdot 0,76}$ . Igualando P con esta expresión, tendremos una ecuación de la cual podrá sacarse el valor de P'.

## DE LA ATMOSFERA.

48. El aire atmosférico se compone de 21 partes de oxígeno y 79 de azoe. Siempre contiene una cierta cantidad de vapor de agua, cuya presencia y cantidad aprendimos á conocer en la higrometría, y además encierra una corta porción de ácido carbónico procedente de la respiración de los animales y de otras causas, sin contar ciertos principios odorantes exhalados por las plantas, cuyos pormenores nos reservamos para el artículo de la meteorología.

El aire, bajo un cierto espesor, es azul y comunica este color á toda la bóveda celeste, cuya tinta es tanto mas oscura cuanto mas nos elevamos en la atmósfera.

Hemos hablado ya de las propiedades de los gases y de la presión de la atmósfera en los números 47,50 y 58 del tomo I.

Del decremento de la densidad de la atmósfera.

49. Si las alturas de la atmósfera crecen en progresión aritmética, las densidades correspondientes del aire decrecen en progresión geométrica. Supongamos, en efecto, que AH (Fig. 22) representa toda la altura de la atmósfera, es decir que esa línea esté tirada desde el suelo de la tierra hasta los confines de la atmósfera, y supongamos

II.

5

mite, á una temperatura dada, la misma cantidad de vapor <sup>1</sup>.

De lo dicho resulta que conociendo el peso de un volumen dado de gas húmedo, puede determinarse el de otro volumen igual del mismo gas completamente seco, á la presión 0<sup>m</sup>,76 y temperatura del hielo al derretirse. Y es casi indiferente, para determinar las densidades de esos gases, pesarlos cuando están húmedos que cuando están secos; sin embargo es costumbre desecarlos previamente para evitar los cálculos.

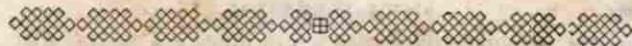
<sup>1</sup> Sea P el peso de un volumen de aire húmedo á la presión H y temperatura t; se trata de saber el peso del mismo volumen de gas seco á la presión 0<sup>m</sup>,76, y á la temperatura del hielo al derretirse. Sea P' este peso incógnito, f la fuerza elástica del vapor que contiene el gas húmedo, el peso de este volumen será  $\frac{P \times (H-f)}{0,76}$  á la presión H-f. A la tempe-

ratura t, se convierte en  $\frac{P' \times (H-f)}{(1+a)t,76}$ .

A este peso, es necesario añadir el del vapor que contiene el gas húmedo; este vapor llena todo el volumen de aire, y tiene una fuerza elástica f,  $\frac{5}{8}$  de densidad y una temperatura t, el peso, por consiguiente,

será  $\frac{5 \times P' \times \frac{5}{8}}{8(1+a)t,76}$ . Añadiendo esta cantidad al peso del aire seco, se

tendrá  $\frac{P'(H-f)}{(1+a)t,76}$ . Igualando P con esta expresión, tendremos una ecuación de la cual podrá sacarse el valor de P'.



## DE LA ATMOSFERA.

48. El aire atmosférico se compone de 21 partes de oxígeno y 79 de azoe. Siempre contiene una cierta cantidad de vapor de agua, cuya presencia y cantidad aprendimos á conocer en la higrometría, y además encierra una corta porción de ácido carbónico procedente de la respiración de los animales y de otras causas, sin contar ciertos principios odorantes exhalados por las plantas, cuyos pormenores nos reservamos para el artículo de la meteorología.

El aire, bajo un cierto espesor, es azul y comunica este color á toda la bóveda celeste, cuya tinta es tanto mas oscura cuanto mas nos elevamos en la atmósfera.

Hemos hablado ya de las propiedades de los gases y de la presión de la atmósfera en los números 47,50 y 58 del tomo I.

Del decremento de la densidad de la atmósfera.

49. Si las alturas de la atmósfera crecen en progresión aritmética, las densidades correspondientes del aire decrecen en progresión geométrica. Supongamos, en efecto, que AH (Fig. 22) representa toda la altura de la atmósfera, es decir que esa línea esté tirada desde el suelo de la tierra hasta los confines de la atmósfera, y supongamos

II.

5

tiradas perpendicularmente á esa línea y á iguales distancias unas de otras, varias horizontales que representan las capas de la atmósfera. Sea  $p$  el peso de toda la columna de la atmósfera que obra en la superficie de la tierra.  $p'$  el peso de toda la columna de aire que obra sobre la primera capa;  $p''$  sobre la segunda y así sucesivamente.  $D$  la densidad de la primera,  $D'$  la de la segunda,  $D''$  la de la tercera, etc.  $p - p'$  será el peso de la primera capa inferior,  $p' - p''$  el de la segunda,  $p'' - p'''$  el de la tercera y así sucesivamente, mas como los pesos de dos volúmenes iguales de un mismo gas, son proporcionales á sus densidades, será evidente la proporción  $p - p' : p' - p'' :: D : D'$ , pero como tambien  $D : D' :: p : p'$ , resultará, á causa de la razon comun de estas proporciones, que  $p - p' : p' - p'' :: p' : p''$ , de donde  $pp'' - p'p' = p'^2 - p'p''$  ó bien  $pp'' = p'^2$  de cuya igualdad se infiere  $p : p' :: p' : p''$ . Del mismo modo se hallaria  $p' : p'' :: p'' : p'''$  y otro tanto para todas las siguientes, y de ahí sale  $\frac{p}{p'} = \frac{p'}{p''} = \frac{p''}{p'''} \dots$  etc., lo que puede escribirse del modo siguiente  $\therefore p : p' : p'' : p''' \dots$  etc., que es evidentemente una progresion geométrica descendente; y siendo las densidades proporcionales á las presiones, queda demostrada nuestra proposición, es decir, que las diferentes capas de aire están en progresion descendente. Preciso es confesar que nunca es exacta esta ley en la naturaleza, porque la temperatura mengua en general á medida que aumenta la altura contando desde la superficie.

Antiguamente encontraban los físicos sus dificultades para concebir que la atmósfera era finita; advirtiendo, sin embargo, que el aire pesa y es elástico, no hay dificultad para comprender que debe rematarse en el punto en que el peso de la última capa y la elasticidad de las que están debajo se equilibren.

Del barómetro.

50. El barómetro es invencion de Torricelli. Meditando este sabio discípulo de Galileo sobre la causa de la ascension del agua en las bombas, tuvo la feliz idea de comparar la altura del mercurio en un tubo á la del agua en aquellas máquinas, y observó que la razon entre ambas elevaciones era la inversa de la de las densidades de los líquidos, el agua y el mercurio, es decir, que la primera que pesa 15,586 veces menos que el segundo, sube á una altura 15,586 veces mayor que el mercurio. Torricelli concluyó asimismo que la presion de la atmósfera es la que produce la ascension en ambos casos.

Data este importante descubrimiento de 1645. En 1646 fué repetido el experimento por Mersenne y Pascal, y este último, en el año siguiente, le dió un caracter mas decisivo ejecutándole á diferentes alturas sobre la tierra, pues observó que á medida que él y su instrumento subian, bajaba lentamente la columna del mercurio. La esplicacion de Torricelli quedó sancionada, y unánimemente fué desechada la idea del *horror de la naturaleza al vacío* con que anteriormente se esplicaba la ascension de los líquidos.

Es indispensable el instrumento que nos ocupa para una infinidad de operaciones, como por ejemplo la manipulacion de los gases en general.

M. Pouillet, hablando de la presion atmosférica, dice <sup>4</sup>.  
 « Supongamos un tubo abierto por ambos extremos, y sumergido en una vasija con agua (Fig. 25); el nivel es el mismo para uno y otro, pues que la atmósfera oprime con igual fuerza en la superficie interior *cd* del tubo, y en la

exterior de la vasija *ab*. Pero si por la parte superior se aspira una parte del aire, sube el líquido como de su propia virtud, y tanto mas cuanto mas vigorosa es la succion. Cesa de subir cuando cesa la aspiracion, y la columna líquida permanece en suspension en el interior del tubo. Este experimento, que no es mas que el juego de un niño, va sin embargo á proporcionarnos el medio de medir la presion atmosférica, como si pudieramos colocar la atmósfera en el platillo de una balanza. Cuando se aspira el aire, se disminuye la presion interior sin que por eso se altere la exterior en lo mas mínimo; mas como esta es entonces la mas poderosa, obliga á subir al líquido hasta que se establece el equilibrio, es decir, hasta que se uniforme la presion sobre toda la capa de nivel, tanto en la interior *cd*, cuanto en la exterior *ab*. En el momento en que son iguales esas presiones, cesa el líquido de subir; debe tenerse presente que la que obra en *cd* se compone de dos partes; primero de la presion debida al peso de la columna que ha subido, y de la presion debida á la elasticidad del aire que se halla sobre dicha columna. Disminuyendo así sucesivamente la elasticidad del aire, va ganando altura el agua en el tubo, hasta que llegue á un punto en que, en virtud de su peso, oprima en *cd* otro tanto como la atmósfera en *ab*; de manera que será preciso que el peso de esa columnita, que está en el tubo, sea igual al de otra columna de aire de la misma base y de toda la altura de la atmósfera. He aquí el medio de pesar una columna atmosférica, cualesquiera que sean los límites de la atmósfera, reduciéndose toda la operacion á procurarse un tubo bastante largo, y á espulsar el aire que contiene interiormente. Hizo Pascal el experimento en Ruan en 1646; tenia su tubo 46 pies de longitud, y para ahorrarse el trabajo de sacar el aire poco á poco, cosa que hubiera rayado en lo imposible en la época á que nos referimos, cerró uno de sus extremos, llenóle despues de

vino y tapó la boca abierta con un tapon. Mediante algunas cuerdas y varias poleas, suspendió su tubo verticalmente, sumergiéndole por la parte del corcho en una vasija con agua. Destapóle enfin, y la columna descendió hasta que su altura con corta diferencia llegó á 52 pies, y como en los 44 restantes no habia siquiera una burbuja de aire, concluyó, y con razon, que una columna de agua ó de vino de 52 pies equilibra á una columna atmosférica de la misma base. Así que todos los puntos de la superficie de la tierra tienen la misma presion que experimentarían si estuvieran cubiertos de una capa de agua de 52 pies de altura, y nosotros que habitamos en el fondo de ese océano estamos comprimidos por todas partes, como si nos halláramos en el fondo de un lago con 52 pies de agua sobre nuestras cabezas.

« Debemos á los fontaneros de Florencia el primer germen de este descubrimiento: habiendo tenido ocasion de construir una bomba de mas de 52 pies de altura, notaron con gran sorpresa que el agua no queria subir hasta la parte superior. En esta época se esplicaba la ascension de los líquidos, diciendo que la naturaleza tenia horror al vacío. Las esplicaciones por *causas ocultas* no eran de las del género que podian contentar á Galileo, y así desde que tuvo noticia del hecho observado por los fontaneros, sospechó que la pesantez del aire era la causa verdadera. Torricelli, su discípulo, dió una prueba mas decisiva; hé aqui con corta diferencia sus raciocinios: « para que dos líquidos ejerzan presiones iguales, es necesario que sus alturas estén en razon inversa de sus densidades; un líquido que pesara una vez mas que el agua equilibraría á la atmósfera con una columna de 46 pies, y el mercurio, que pesa 14 veces mas con corta diferencia, necesaria, para conseguir el mismo equilibrio, la décima cuarta parte de 52 pies ó próximamente 28 pulgadas. Esta proposicion se demuestra fácilmente. Tómese un tubo de vidrio cerrado

por un extremo y de unas 50 pulgadas de longitud; llenándole de mercurio, volviéndole boca abajo, despues de haberle tapado con un corcho y sumergiéndole en una vasija llena tambien de mercurio, se le destapa, y entonces toma con corta diferencia la altura que hemos indicado, es decir 28 pulgadas. Este aparato es el *barómetro*; la columna de agua de Pascal no era mas que un verdadero barómetro de agua. El vacío que está encima de la columna barométrica se llama el vacío barométrico ó el vacío de Torricelli.

Ahora ya con estos datos podemos obtener grande exactitud en nuestros resultados. La altura del barómetro es la distancia de la parte superior *s* (Fig. 24) al nivel *ab*; no es la misma en todas partes; pero á la orilla del mar es ordinariamente de 76 centímetros. De manera que si la base tiene un centímetro la columna tendra 76 centim. cúb., y su peso, que es igual al volumen multiplicado por la densidad, es por consiguiente  $76 \times 15,59$  ó 4k,053, porque la densidad del mercurio es igual 15,59. La columna de aire que, descansando en la superficie del mar, tiene por base 1 centímetro, pesa 4k,053; puede aun llevarse mas lejos el cálculo, y hallar el peso de la masa entera de aire que compone la atmósfera, porque tantos centímetros cuadrados como haya en la superficie de la tierra, tantas veces habrá 4k,053 en el peso total del aire. Y siendo 6566745 metros el radio tendrá 100 mil miriámetros de superficie; y hechos los cálculos competentes, resulta que el peso total del aire es de cien mil millones de millones de *tonnes*, cada uno de mil kilogramas, cuyo peso representa el del aire, el de los vapores, y de todas las exhalaciones que componen la atmósfera (Pouillet).

Se conoce dos especies de barómetros; el barómetro de cuveta, y el barómetro de sifon.

## Del barómetro de cuveta.

51. Consiste este instrumento en un tubo de vidrio de algunas lineas de ancho, unos tres pies de largo, cerrado por un extremo y sumergido por el que está abierto en una vasija de mercurio, cuyo metal sube en el tubo hasta cierta altura en virtud del peso de la atmósfera. Para construirle, se empieza por secar el tubo completamente; se vierte en seguida una cierta cantidad de mercurio hervido, y se le hace hervir de nuevo para espurgar el aire que pudiera estar adherido á las paredes del tubo y al mismo tiempo el que el metal pudiera contener; añádese nueva porcion, y se repite la misma operacion hasta que el tubo quede totalmente lleno de mercurio y sin aire, para lo cual son necesarias de seis á ocho porciones. En seguida, se vuelve el tubo boca abajo introduciéndole en una vasija llena de mercurio y se destapa, de lo que resulta que la columna interior descende hasta una cierta altura, en la que se fija dejando un vacío en la parte superior, abstraccion hecha de la elasticidad del vapor de mercurio que pudiera formarse. La operacion precedente es laboriosa, exige grandes precauciones y sobre todo mucha práctica en este género de operaciones <sup>1</sup>.

En tal estado ya no hay mas que medir la altura de la columna barométrica; pero como esto no puede hacerse

<sup>1</sup> Cuando dura mucho tiempo la ebullicion, se vuelve cóncava la superficie del mercurio, como ha notado M. Gasbois, siendo así que la del mercurio puro es siempre convexa. M. Dulong ha observado recientemente que el mercurio, en el primer caso, se oxida disolviéndose en el mercurio restante, y que el líquido, formado por la mezcla, se porta como los fluidos que mojan el vidrio. (Véanse los *Fenómenos capilares*.)

sino mediante una escala graduada, cuyo cero debe estar en el nivel de la cuveta, resulta ó que este último, ó el nivel de la primera han de ser movibles. M. Fortin adopta el segundo camino para la construccion de sus barómetros. Pone una piel suave por fondo á la cuveta y con un tornillo A (Fig. 25) sube ó baja, como se quiera, su nivel hasta que toca á un punto I de marfil que corresponde al cero de la escala: esta está fija y trazada en un tubo de cobre que rodea al del barómetro, y en sentido de su longitud tiene una raja bastante ancha para poder observar la altura del mercurio.

Es esencial que el instrumento esté vertical. Para esto se le cuelga á un punto fijo y se le deja libremente suspendido. Generalmente se le mete en un estuche que, sirviéndole de soporte, puede dividirse en tres partes. Cuando se quiere hacer una observacion, se abre el instrumento, se colocan en el suelo los tres pies y el barómetro por sí solo se pone vertical.

De este modo pueden observarse fácilmente la altura de la columna barométrica, pero para que todos los resultados sean comparables es necesario referirlos á la misma temperatura; generalmente se elige la de cero por ser el punto de partida para estimar las dilataciones; la temperatura del mercurio se mide con un termómetro encajado en el mismo armazon del instrumento. Pero debe notarse que no solo la del mercurio sino tambien la temperatura del metal en que está trazada la escala deben tenerse en consideracion para las operaciones delicadas. Como el primero mengua de densidad al dilatarse, resulta que la altura es siempre mayor de lo que deberia, pero el otro metal, dilatándose la hace mas pequeña, porque como cada division crece una cierta cantidad, es evidente que para abrazar toda la altura será necesario un número menor á la temperatura  $t$ , á que se opera, que á  $0^\circ$ ; pero hay una diferencia en el modo de apreciar esas dilatacio-

nes, pues nos basta para el metal conocer la lineal, al paso que para el mercurio debemos conocer la cúbica. Segun lo dicho, representemos por  $h$  la altura de la columna de mercurio á la temperatura  $t$ , y llamemos  $k$  al coeficiente de la dilatacion cúbica del mercurio, que es igual á  $\frac{1}{2550}$ . Como los volúmenes que ocupa una cantidad dada de una misma sustancia están en razon inversa de sus densidades, y como estas á su vez y en el caso presente, están en razon inversa de las alturas, resulta que los volúmenes son proporcionales á las alturas. Si por  $1$ , de consiguiente, representamos el volumen de la columna de mercurio á  $0^\circ$ , el volumen de esta misma columna á  $t$  grados, será  $1+k't$ , y la altura  $x$  del mercurio á  $0^\circ$ , se obtendrá mediante la proporcion;

$$1 : 1+k't :: x : h, \text{ de donde, } x = \frac{h}{1+k't}$$

Sea, del mismo modo,  $K'$  el coeficiente de la dilatacion lineal del cobre; en este caso la altura medida está en razon inversa de la longitud de una division; si á  $0^\circ$  esa longitud es  $1$ , á  $t^\circ$  se convertirá en  $1+K't$ , y de consiguiente tendremos

$$1 : 1+K't :: \frac{h}{1+k't} : x',$$

de donde se sacará para valor de la verdadera altura de la columna de mercurio, el valor

$$x' = \frac{h(1+K't)}{1+k't}.$$

No hay necesidad de tomar en cuenta la dilatacion del tubo de vidrio, porque ya sabemos (n.º 40, t. 4.º) que la altura del mercurio en el barómetro es independiente de la anchura del tubo. ®

Ejemplo.

Se desea referir á 0° los resultados de un barómetro cuya altura á 22° es 0<sup>m</sup>,762

$$K' = \frac{1}{59200} \text{ por cada grado centigrado.}$$

$$K = \frac{1}{8550} \text{ id.}$$

Sustituyendo á las letras los valores numéricos en la fórmula precedente, se obtiene que la altura referida á 0° es igual 0<sup>m</sup>,759.

Cuando se quiere trasportar el instrumento de un punto á otro, se levanta el fondo movable de la cuveta hasta que el tubo y el receptáculo estén completamente llenos, y de este modo aunque reciba alguna sacudida en el camino no se romperá, lo que sería muy de temer si hubiera algun espacio vacío en la parte superior, y por otra parte el aire no podrá introducirse. Debe advertirse que el tubo termina en punta en esa parte, para que los saltos del mercurio no puedan romperle.

En fin para que todas las observaciones sean comparables las unas á las otras, debe asimismo tomarse en cuenta la acción capilar, (n° 67, t. 1°.)

Tabla de las depresiones que el mercurio experimenta en el barómetro, en virtud de la capilaridad.

DIAMETRO en milímetros de los tubos.	DEPRESION en milímetros.	DIAMETRO en milímetros de los tubos.	DEPRESION en milímetros.
2	4,56	12	0,26
5	2,90	15	0,20
4	2,04	14	0,16
5	1,51	15	0,12
6	1,15	16	0,10
7	0,88	17	0,08
8	0,69	18	0,06
9	0,54	19	0,05
10	0,42	20	0,04
11	0,35		

Cuando se mide la altura del barómetro es necesario añadir la depresion correspondiente del diámetro del tubo.

Del barómetro de sifon.

52. El barómetro de sifon, llamado así por su figura, no tiene cuveta ó por mejor decir, parte del tubo llena sus funciones. Está doblado en la parte mas baja en c (Fig. 26) y formado por consiguiente de dos brazos CA y CB. Para construirle se toma un tubo cilíndrico perfectamente calibrado, cerrado por un extremo y abierto por el otro, y con la lámpara del esmaltador se le da la forma indicada, haciendo que el brazo mas corto sea el abierto, y que el

cerrado tenga mas de 28 pulgadas de altura. Esto supuesto, si B es el punto hasta donde sube el mercurio en el brazo abierto y A al que llega en el mas corto, la diferencia AB de ambos niveles, será la altura de la columna barométrica. La longitud se mide con una escala, que moviéndose paralelamente á CB, tiene su cero siempre en el punto A.

Tiene una ventaja este instrumento sobre el barómetro de cuveta, y es que como ambos tubos tienen el mismo diámetro, hay compensacion en las depresiones de la capacidad. Sin embargo no es tan sensible, porque la variacion de nivel en uno de los brazos, no es mas que la mitad de lo que en el barómetro de cuveta.

Para hacerle portátil se imaginó poner una llave en el brazo mas corto, pero esto tiene el inconveniente de que la materia grasa indispensable para el juego de la llave, acaba por ensuciar todo el mercurio. M. Gay-Lussac evita el uso de la llave y de la materia grasa del modo siguiente. Primeramente reúne los dos brazos AB y EC del barómetro (Fig. 27) por un tubo mucho mas pequeño, de 4 á 2 milímetros generalmente. En el brazo mas corto, que tambien está cerrado, hace lateralmente un agujero E capilar en forma de embudo. Este agujerito, suficiente de por sí para que la atmósfera funcione como si el tubo estuviera abierto, es por otra parte muy pequeño para que se escape el mercurio cuando el instrumento está boca abajo (Fig. 28). En esta disposicion se le trasporta de un lugar á otro, y si en el tubo capilar BCD se introduce una corta cantidad de aire como demuestra la Fig. 29 cuando el instrumento vuelve á la posicion de la Fig. 27, el mercurio mismo le desaloja. M. Gay-Lussac y Descotils se han servido de un instrumento de este género en sus viajes, sin que se haya alterado visiblemente; con todo, algunos físicos aseguran que al cabo de cierto tiempo se introduce el aire en el brazo mas largo. Para evitar este inconvenien-

te, M. Bunten, habil artista de París, suelda al brazo mas largo un tubito afilado, semejante al que indica la Fig. 50, y de este modo el aire se coloca en la parte  $mK$  de donde se le puede hacer salir sacudiendo el instrumento; aunque por otra parte, situado en el punto  $m$  no influye en la altura del mercurio, con tal que la columna metálica no esté subdividida. Pero debemos confesar que tal disposicion hace muy difícil la construccion del instrumento. Puede encerrársele en un tubo metálico rayado en una parte de su longitud para observar la altura, y aun en un baston se le puede colocar muy cómodamente.

Del barómetro de cuadrante.

55. El barómetro de cuadrante (Fig. 54) difiere del de sifon en que en este hay una poleita perfectamente movable y concéntrica con la lengüeta ó aguja de un cuadrante, por la que pasa un cordon que sostiene dos pesitos, uno en el aire y otro sumerjido en el mercurio del brazo mas corto; el peso exterior  $p'$  equilibra al peso  $p$  y el sistema de estos dos pesos, que con toda libertad se mueven al rededor del punto A, es tal, que el peso  $p$  reposa sobre la superficie del mercurio sin deprimirla.

Por medio de esta disposicion, cuando el mercurio baja en el brazo abierto, sube el opuesto, es decir, cuando la atmósfera gana en pesantez, el peso  $p$  debe bajar con el mercurio y la estremidad de la aguja ocupar la parte superior del cuadrante. En el caso contrario suben el peso  $p$  y el mercurio á la par, y la aguja se situa en la parte inferior del cuadrante, y cuando el mercurio se halle á una altura media, la aguja estará horizontal. Como despues de una porcion de observaciones se ha llegado á saber con certidumbre que si el barómetro sube ó baja, el tiempo cambia, se marca mal tiempo en el punto mas bajo del

cuadrante, buen tiempo en el punto mas elevado del cuadrante, y variable en el punto intermedio.

Antes de servirse de este barómetro, se le deben dar unos golpecitos para vencer el rozamiento de las diversas partes que le componen. De cualquier modo que sea no debe emplearse este instrumento en las operaciones que exigen delicadeza y exactitud.

54. La altura general del barómetro en el océano, cuando el tiempo está sereno, es  $0^m,7609$  ó próximamente 28 pulgadas, cuya altura se ha tomado por término medio de todas las que comunmente se observan en este instrumento. Sin embargo, cuando el tiempo está revuelto y la tempestad se acerca, experimenta el barómetro una porción de variaciones sin interrupción.

55. Réstanos solamente hablar del modo de reunir comparativamente las largas series de observaciones sobre la marcha del barómetro, prefiriendo, entre todos los métodos, el trazado gráfico que es el mas sencillo. Se toma un pedazo de papel y en su parte media se tira una línea recta AB que le atraviese desde un extremo al otro; divídese en seguida en partes iguales que representan los días; se levantan en seguida perpendiculares por todos esos puntos prolongándolas encima y debajo de la recta, y perpendicularmente á los lados, se trazan otras varias, que estén á distancias iguales entre sí.

Hecho esto, cuando se observa el barómetro, se marca el día en la línea principal A si la altura es media, es decir,  $0^m,76$ ; si tiene 1 milímetro mas se sube á la primera paralela que se halla encima de AB, y si fuera 1 milímetro menos se baja tambien á la paralela inferior mas inmediata á AB. De este modo se marcan todos los días sucesivos, cada uno en su punto correspondiente, y por los A, b, c, d, e. Se tira la línea interrumpida *Abcde*... que por sus sinuosidades da á conocer el estado del barómetro en los días de observación. Y con un cuadro semejante, se ha

llegado á saber que si durante muchos días el barómetro ha bajado, el tiempo ha estado lluvioso y que por la inversa varios días de ascension corresponden á un tiempo sereno. Sin embargo se conocen algunas escepciones á esta regla, aunque suelen ser muy raras. Y por observaciones del mismo orden se sabe que su marcha, á ciertas horas del día, experimenta alteraciones mas ó menos considerables. A las nueve de la mañana llega generalmente á la máxima altura, y desciende despues hasta las 4 de la tarde, hora en que llega á la mínima altura. Vuelve á subir de nuevo hasta las once y entonces adquiere otra vez la máxima. Desciende en fin hasta las 4 de la mañana y vuelve á la mínima para tomar de nuevo la máxima á las nueve de la mañana; datos, de cuyo conocimiento somos deudores á las observaciones de Humboldt en América y de Ramond en Francia. Debemos añadir que esta marcha periódica y regular se altera en Europa con bastante frecuencia á causa de las repentinas variaciones de la atmósfera; pero en los trópicos es tan constante que el barómetro, segun Humboldt, puede servir para marcar la hora en esos parages.

En Europa ademas, se ha notado que el maximum de la mañana es á las 9 en invierno y á las 8 en verano.

Tambien hay un barómetro *inclinado*, que lleva este nombre por la posición en que se le coloca para las observaciones, instrumento muy cómodo para diferentes operaciones sobre un mismo sitio. La altura del mercurio en este barómetro es á la del barómetro vertical como  $4 : \cos l$  (Fig. 53), por consiguiente las variaciones serán tambien mayores en la misma relacion.

Hablaremos ahora de otros barómetros, no tanto por su utilidad, cuanto porque son aplicaciones de los principios que hemos establecido en los preliminares.

## Barómetro de Amontons.

56. Este barómetro se reduce á un tubo cónico de cerca de 50 pulgadas de longitud (Fig. 54) en el que el mercurio está á la misma altura que el barómetro ordinario, y lo mismo que en este si crece ó mengua la presión atmosférica, sube ó baja la columna; mas como los efectos de la capilaridad son variables en virtud de la diferencia de diámetros  $m$  y  $n$ , es muy difícil medirla con exactitud. Podría hacerse constante esa variación dando al instrumento, la forma que representa la Fig. 53, y entonces la única ventaja que llevaría á los barómetros comunes sería la de producir variaciones de altura mucho mayores; tendría sin embargo el inconveniente de dividirse, si el aire se introdujera por una casualidad. Si llamamos  $d$  al diámetro pequeño,  $D$  al grande,  $x$  á la variación del mercurio en el tubo pequeño é  $y$  á la variación efectiva del barómetro, tendremos

$$y = x - \frac{d}{D}x, \text{ de donde } x = \frac{yD}{D-d},$$

cuyo valor será tanto mayor, cuanto mas pequeña sea la diferencia entre  $D$  y  $d$ . La figura citada anteriormente representa el instrumento en una posición invertida.

## Barómetro de Descartes.

Este barómetro, representado en la Fig. 56, es mucho mas complicado. Hasta el punto  $H$  está lleno de mercurio, y encima hasta  $I$ , de un líquido mas ligero, y por consiguiente las variaciones de nivel son mucho mayores que en un barómetro ordinario. Para fijarnos bien en esto; supongamos que el diámetro de  $gl$  es cien veces menor que

el de  $KH$ ; si el mercurio sube 1 milímetro en este último, el otro líquido se eleva 400 milímetros en el tubo  $gl$ , y en total la ascension es  $1^{mm} + 99^{mm}$ , de manera que si la densidad del líquido es  $\frac{1}{100}$  de la del mercurio, en variación total equivale á  $10^{mm}9$  de mercurio<sup>1</sup>. Bien entendido que hay que contar con la elasticidad del vapor, que varía siempre con la temperatura.

Barómetro de Huygens<sup>2</sup>.

58. « Este instrumento (Fig. 57) no es mas que una modificación del de Descartes.

« El tubo que tiene la forma de un sifon invertido, termina en  $a$  en un cilindro  $MN$  de gran diámetro y tiene en  $c$  otro cilindro del mismo diámetro que el anterior, y al que está adaptado un tubo capilar  $de$  abierto en la parte superior. De  $x$  á  $y$  no hay mas que mercurio y desde  $y$  en adelante un líquido cualquiera cubierto de una capa de aceite fijo y colorado. Pero tanto este como el de Descartes, á mas de ser perezosos, de difícil construcción y embarazosos, no sirven para medir con exactitud la presión del aire.

## Barómetro de Hock.

59. « Solo se diferencia del anterior, en que el tubo  $de$

<sup>1</sup> Sea  $h$  la variación del barómetro ordinario,  $r$  la relación entre el diámetro de  $KH$  y el de  $gl$ ,  $d$  la densidad del mercurio con respecto á la del líquido, y  $x$  la variación del nivel en el tubo  $gl$ , y tendremos

$$\frac{x}{d} + \frac{x}{rd} + \frac{x}{r} = h.$$

<sup>2</sup> *Traité élémentaire de Physique*, par M. Pélet, t. I, p. 486. — N. del T.

se termina en un cilindro RS (Fig. 58) abierto por la parte superior. De  $x$  á  $y$  hay mercurio; una disolucion salina de  $y$  á  $z$  y aceite fijo de  $z$  á  $t$ . Segun esta disposicion, si el mercurio baja un milimetro en el tubo MN, subirá  $1^{\text{mm}}$  en PQ y el aceite á su vez sube  $1^{\text{m}}$  en RS; pero el punto  $r$  sube una cantidad igual á  $1^{\text{mm}}$  multiplicada por la relacion entre la seccion del cilindro PQ y la del tubo  $de$ .



60. « Compónese de un tubo cilíndrico que doblándose y replegándose varias veces (Fig. 59) está interrumpido por partes cilíndricas todas del mismo diámetro; el mercurio está desde  $a$  hasta  $b$  y desde  $c$  hasta  $d$ ; el líquido colorado ocupa los espacios comprendidos entre  $b$  y  $c$  y  $d$  y  $e$ . Es evidente que la columna que equilibra á la atmósfera se compone de la  $ab$  y  $cd$ , menos las  $d$  y  $de$ .

« Aumentando el número de tubos como se ve en la Fig. 40, se podrá dar á cada uno de ellos, una altura tan pequeña como se quiera. Este instrumento no es ni cómodo ni preciso.

61. « Con objeto de aumentar las variaciones del barómetro sin emplear otro líquido mas que el mercurio, Domingo Cassini y Camilo Bernouilli, han dado al instrumento una disposicion análoga á la que representa la Fig. 41; el mercurio corre de  $a$  á  $b$ ; como el tubo PQ es horizontal, el extremo  $b$  permanece siempre á la misma altura, y las variaciones del punto  $b$  estan con las del barómetro ordinario en la misma razon que las secciones del cilindro MN y el tubo PQ. Marcha siempre á saltos á causa de los grandes rozamientos.

62. « Para hacer fijo y constante el nivel de la cuyeta, se suelen servir los constructores de una combinacion semejante á la que indica la Fig. 42. El cero de la escala se ha-

lla á la altura de un punto fijo, y mediante un tornillo, se hace subir ó bajar el tubo hasta que dicha punta esté en contacto con la superficie del mercurio en la cuyeta.

65. « Hay tambien barómetros de cuyeta independiente, en los cuales están los tubos suspendidos de una balanza, y una aguja convenientemente dispuesta indica el aumento de peso del instrumento. La fuerza necesaria para sostener el barómetro es igual al peso del tubo de vidrio, mas la suma algebraica de las componentes verticales de las presiones que obran sobre el tubo, y es facil cerciorarse (Fig. 45) de que esa suma es siempre igual al peso total del mercurio que se halla en el tubo encima del nivel exterior, cualquiera que sea su forma. » (Péclet.)

64. El barómetro diferencial inventado por H. y Wollaston, se compone de un tubo de tres lineas de diámetro interior y encorvado en forma de sifon, como representa la Fig. 44, y en cuyos extremos hay dos depósitos de 2 pulgadas de diámetro. Uno de ellos está cerrado por todas partes, aunque tiene un agujerito en un costado de una de sus paredes laterales en el que encaja un tubo horizontal. El otro depósito está abierto y la parte curva del sifon llena de agua; el resto y los depósitos hasta una media pulgada estan llenos de aceite. Si cuando el agua está á la misma altura en ambos brazos, se aplica el tubo horizontal al agujero de una cerradura ú otra cualquier abertura practicada en un tabique que separe dos habitaciones cuyas atmósferas sean diferentes, el fluido se deprimirá en la mitad correspondiente. La Fig 44—2 representa el estado del barómetro cuando la atmósfera que comprime á A escede á la que obra en B; en cuyo caso los puntos N y  $n'$  no permanecen mas tiempo en la misma horizontal, y el exceso de la presion en A, mas la columna de aceite  $mN$ , equilibra á la columna de agua  $n'v$  mas la columna de aceite  $m'n'$ .

Llamemos ahora  $d$  á la gravedad especifica del aceite,  $a$

al descenso de nivel en la cubeta A,  $e$  á la longitud de la columna de aceite  $mn$ ,  $A$  á la longitud del descenso del nivel del agua  $N'n$ , que es igual á la elevacion  $Nn'$  y por último  $x$  á la altura de la columna de agua que mide la diferencia de presión buscada, y en ese caso tendremos

$$x + d = 2A + d(1 + 2a - 2A); \text{ de donde}$$

$$x = 2A(1 - d) + ad.$$

Si en el sifon no hubiera mas que un solo líquido, tendríamos  $d=1$ , de donde  $x=2a$ , es decir, que la presión sería igual á la diferencia de nivel en las dos cubetas A y B, como efectivamente sucede.

Si  $R$  es el diámetro de la cubeta A, y  $r$  el del sifon, tendremos  $Ar^2=R^2$ , de donde

$$a = \frac{Ar^2}{R^2},$$

por medio de cuya ecuacion puede conocerse el valor de  $a$ , cuando el descenso en la cubeta sea muy pequeño para medirle directamente.

Cuanto mas pequeña sea la diferencia de las densidades entre los dos líquidos, tanto mas sensible será el barómetro. (Véase en el *Bulletin de la société d'encouragement*, 1825, pág. 281, una nota de M. Hachette.)

Mediacion de las alturas por medio del barómetro <sup>1</sup>.

65. « Disminuyendo la altura del barómetro á medida que él se va alejando de la superficie de la tierra, no hay dificultad en concebir que la distancia entre dos puntos

<sup>1</sup> *Traité élémentaire de Physique*, par M. Pécelet, t. I, p. 498. =  $N_2$  del T.

cualesquiera ha de estar en relacion con la alturas del barómetro, y que por medio de este instrumento podrá apreciarse la de una montaña cualquiera; si la densidad de la atmósfera fuera uniforme, la solución de ese problema sería sencillísima; porque siendo el mercurio 10465 veces mas denso que el aire, un milímetro de descenso en la columna barométrica correspondería á 10,465. Mas como cada capa de aire soporta el peso de las que estan encima, naturalmente la densidad del aire mengua á medida que esas capas se alejan de la superficie, y como dichas variaciones dependen de la temperatura del decremento de la intension de la pesantez y de la cantidad de agua disuelta en el aire, se concibe que la medicion de la fuerza elástica del aire atmosférico en funcion de la altura sobre la superficie de la tierra, es un problema complicado.

« Admitiendo Delaplace que el aire está medio saturado de vapor y que la temperatura varía uniformemente entre las dos estaciones, ha encontrado

$$X = 18595 \left(1 + 0,002857 \cos. 2\pi\right) \left(1 + \frac{2(T+t)}{4000} \log. \frac{H}{h}\right).$$

« Siendo  $X$  la diferencia de altura entre las dos estaciones, en las que las alturas del barómetro son  $H$  y  $h$ ,  $T$  y  $t$  las temperaturas correspondientes y  $\pi$  la latitud. Cuando esta es de  $45^\circ$  la fórmula se convierte en

$$X = 18595 \left(1 + \frac{2(T+t)}{4000} \log. \frac{H}{h}\right).$$

« Con estas fórmulas pueden determinarse aproximativamente los límites de la atmósfera, ó por lo menos la altura en que la fuerza elástica del aire es solamente 1 milímetro. En tal estado la dilatacion del aire es mucho mayor que la que nosotros podemos obtener con nuestras mejores máquinas. Como la temperatura es entonces

—60°, en nuestra fórmula anterior haremos  $T+t=-60$   
— $H=0^m,76$  y  $h=0,^m001$  y tendremos

$$X=18595(0,88) \log. \left( \frac{760}{1} \right) = 46627^m,68$$

próximamente 10 leguas de á 2280 toesas.

« Cuando los sitios cuyo desnivel quiere medirse, no están muy lejos unos de otros, deben ser simultaneas las observaciones. Para dar mas precisión á los resultados, deberá elejirse un momento, en que el aire esté tranquilo y el cielo sereno, pocos instantes despues del mediodia, porque á esta época es cuando el barómetro está en la media presion del día; será tambien muy conveniente reunir un cierto número de observaciones y calcular la altura, si es posible, segun las indicaciones medias anuales del barómetro y termómetro en las dos estaciones. Cuando los sitios de las estaciones están muy distantes, es absolutamente indispensable emplear este último método. Para saber la altura de un parage sobre el nivel del mar, es decir encima de su superficie, suponiendo que con la misma convexidad penetrará por los continentes, se admite que la altura media en este punto es  $0^m,76$ . Parece sin embargo que esa altura lejos de ser constante aumenta con la latitud. Segun M. Humbold es 20 milímetros mayor en la rosca templada que en los trópicos. » (Pé-  
clet).

Tabla para calcular las alturas de las montañas, segun las observaciones barométricas <sup>1</sup>.

« La tabla que vamos á presentar, y que debemos á

<sup>1</sup> *Annuaire pour l'an 1831, présenté au roi par le bureau des longitudes.*

M. Oltmans, nos parece la mas cómoda de todas las que hasta aquí se han publicado, para facilitar el cálculo de las alturas, sobre todo cuando se renuncia al empleo de los logaritmos; he aquí la marcha de las operaciones. Sea  $h$  la altura, en milímetros, en la estacion inferior;  $h'$  la correspondiente ó la superior;  $T$  y  $T'$  las temperaturas centigradas de los barómetros;  $t$  y  $t'$  las del aire.

« Se busca en la *primera tabla* el número que corresponde á  $h$ ; llamemosle  $a$ ; en la misma se busca el correspondiente á  $h'$ ; designémosle por  $b$ ; representemos por  $c$  el número, generalmente muy pequeño, que en la segunda tabla está enfrente de  $T-T'$ ; la altura aproximada es  $a-b-c$  (Si  $T-T'$  es cantidad negativa, deberá escribirse  $a-b+c$ ). Para aplicar á esta altura aproximada la correccion que concierne á la temperatura de las capas de aire, habrá que multiplicar la milésima parte de esa altura por la doble suma  $2(t+t')$  de los termómetros libres; y la correccion será positiva ó negativa, segun que  $t+t'$  sea positiva ó negativa.

« La segunda y última correccion, la de la latitud y la disminucion de pesantez, se obtiene tomando, en la tercera tabla, el número que corresponde verticalmente á la latitud y horizontalmente á la altura aproximada; esta correccion que nunca puede pasar de 28 metros, es siempre positiva.

« En los casos, que son muy raros, en que la estacion inferior se hallase muy elevada sobre el nivel de la mar, habria que hacer otra pequeña correccion, cuyo valor se halla por medio de la tabla cuarta.

« Por lo demas al fin de las tablas hemos puesto un ejemplo. »

TABLA I.

Argumento  $h$  y  $h'$ .

MILIMET.	METROS.	DIFERENC.	MILIMET.	METROS.	DIFERENC.
570	418,5	21,5	598	999,5	20,0
571	440,0	21,5	599	1019,5	19,9
572	461,5	21,4	600	1039,4	19,9
573	482,9	21,5	601	1059,5	19,8
574	504,2	21,2	602	1079,1	19,8
575	525,4	21,2	603	1098,9	19,7
576	546,6	21,2	604	1118,6	19,7
577	567,8	21,1	605	1138,5	19,6
578	588,9	21,0	606	1157,9	19,6
579	609,9	21,0	607	1177,5	19,6
580	650,9	20,9	608	1197,1	19,5
581	651,8	20,9	609	1216,6	19,4
582	672,7	20,8	610	1256,0	19,4
583	695,5	20,8	611	1255,4	19,4
584	714,5	20,7	612	1274,8	19,5
585	755,0	20,6	613	1294,1	19,2
586	755,6	20,6	614	1315,5	19,2
587	776,2	20,6	615	1332,5	19,2
588	796,8	20,5	616	1351,7	19,4
589	817,5	20,5	617	1370,8	19,1
590	857,8	20,4	618	1389,9	19,0
591	858,2	20,5	619	1408,9	19,0
592	878,5	20,5	620	1427,9	18,9
593	898,2	20,2	621	1446,8	18,9
594	919,0	20,2	622	1465,7	18,9
595	959,2	20,1	623	1484,6	18,8
596	959,5	20,1	624	1505,4	18,8
597	979,4		625	1522,2	

MILIMET.	METROS.	DIFERENC.	MILIMET.	METROS.	DIFERENC.
426	1540,8	18,7	465	2204,1	17,2
427	1559,5	18,7	464	2221,5	17,1
428	1578,2	18,6	465	2258,4	17,1
429	1596,8	18,5	466	2255,5	17,1
450	1615,5	18,5	467	2272,6	17,0
451	1655,8	18,4	468	2289,6	17,0
452	1652,2	18,4	469	2506,6	17,0
455	1670,6	18,4	470	2525,6	16,9
454	1689,0	18,5	471	2540,5	16,9
455	1707,5	18,5	472	2557,4	16,8
456	1725,6	18,2	475	2574,2	16,9
457	1745,8	18,5	474	2591,1	16,9
458	1762,1	18,2	475	2407,9	16,7
459	1780,5	18,4	476	2424,6	16,7
440	1798,4	18,1	477	2441,5	16,7
441	1816,5	18,0	478	2458,0	16,6
442	1854,5	18,0	479	2474,6	16,7
445	1852,5	17,9	480	2491,5	16,6
444	1870,4	17,9	481	2507,9	16,4
445	1888,5	17,9	482	2524,5	16,5
446	1906,2	17,8	485	2540,8	16,5
447	1924,0	17,8	484	2557,5	16,4
448	1941,8	17,8	485	2575,7	16,5
449	1959,6	17,7	486	2590,2	16,4
450	1977,5	17,6	487	2606,6	16,5
451	1994,9	17,7	488	2622,9	16,5
452	2012,6	17,6	489	2659,2	16,2
455	2050,2	17,6	490	2655,4	16,2
454	2047,8	17,5	491	2674,6	16,5
453	2065,5	17,5	492	2687,9	16,2
456	2082,8	17,4	495	2704,1	16,1
457	2100,2	17,4	494	2720,2	16,1
458	2117,6	17,4	495	2756,5	16,0
459	2155,0	17,5	496	2752,5	16,0
460	2152,5	17,5	497	2768,5	16,1
461	2169,6	17,5	498	2784,4	16,0
462	2186,9		499	2800,4	

MILIMET.	METROS.	DIFERENC.	MILIMET.	METROS.	DIFERENC.
500	2816,5	15,9	557	5584,8	14,8
501	2852,2	15,9	558	5599,6	14,8
502	2848,1	15,9	559	5414,4	14,8
505	2864,0	15,8	540	5429,2	14,7
504	2879,8	15,8	541	5445,9	14,7
505	2895,6	15,7	542	5458,6	14,7
506	2911,5	15,7	545	5475,5	14,6
507	2927,0	15,7	544	5487,9	14,6
508	2942,7	15,7	545	5502,5	14,7
509	2958,4	15,7	546	5517,2	14,6
510	2974,0	15,6	547	5531,8	14,5
511	2989,6	15,6	548	5546,5	14,5
512	5005,2	15,5	549	5560,8	14,5
515	5020,7	15,5	550	5575,5	14,5
514	5056,2	15,5	551	5589,8	14,4
515	5051,7	15,5	552	5604,2	14,4
516	5067,2	15,4	555	5618,6	14,4
517	5082,6	15,5	554	5655,0	14,4
518	5097,9	15,4	555	5647,4	14,5
519	5115,5	15,5	556	5661,7	14,5
520	5128,6	15,5	557	5676,0	14,5
521	5145,9	15,5	558	5690,5	14,5
522	5159,2	15,2	559	5704,6	14,2
525	5174,4	15,5	560	5718,8	14,2
524	5189,7	15,2	561	5755,0	14,2
525	5204,9	15,1	562	5747,2	14,1
526	5220,0	15,1	565	5761,5	14,1
527	5255,1	15,1	564	5775,4	14,1
528	5250,2	15,1	565	5789,5	14,1
529	5265,5	15,0	566	5805,6	14,1
550	5280,5	15,0	567	5817,7	14,0
551	5295,5	15,0	568	5851,7	14,0
552	5510,5	15,0	569	5845,7	14,0
555	5525,5	14,9	570	5859,7	14,0
554	5540,2	14,9	571	5875,7	15,9
555	5555,1	14,9	572	5887,6	15,9
556	5570,0		575	5901,5	

MILIMET.	METROS.	DIFERENC.	MILIMET.	METROS.	DIFERENC.
574	5915,4	15,9	611	4412,8	15,1
575	5929,5	15,8	612	4425,9	15,0
576	5945,1	15,8	615	4458,9	15,0
577	5956,9	15,8	614	4451,9	15,0
578	5970,7	15,8	615	4464,8	12,9
579	5984,5	15,8	616	4477,7	15,0
580	5998,2	15,7	617	4490,7	12,9
581	4011,9	15,7	618	4505,6	12,8
582	4025,6	15,7	619	4516,4	12,9
585	4059,5	15,6	620	4529,5	12,8
584	4052,9	15,7	621	4542,1	12,8
585	4066,6	15,6	622	4554,9	12,8
586	4080,2	15,6	625	4567,7	12,8
587	4095,8	15,5	624	4580,5	12,7
588	4107,5	15,5	625	4595,2	12,8
589	4120,8	15,5	626	4606,0	12,7
590	4154,5	15,5	627	4618,7	12,7
591	4147,8	15,5	628	4651,4	12,6
592	4161,5	15,4	629	4644,0	12,7
595	4174,7	15,4	650	4656,7	12,6
594	4188,1	15,4	651	4669,5	12,7
595	4201,5	15,4	652	4682,0	12,5
596	4214,9	15,5	655	4694,5	12,6
597	4228,2	15,4	654	4707,1	12,6
598	4241,6	15,5	655	4719,7	12,5
599	4254,9	15,5	656	4752,2	12,5
600	4268,2	15,2	657	4744,7	12,5
601	4281,4	15,5	658	4757,2	12,5
602	4294,7	15,2	659	4769,7	12,4
605	4507,9	15,2	640	4782,1	12,5
604	4521,1	15,2	641	4794,6	12,4
605	4534,5	15,1	642	4807,0	12,4
606	4547,4	15,1	645	4819,4	12,5
607	4560,5	15,2	644	4851,7	12,4
608	4575,7	15,0	645	4844,1	12,5
609	4586,7	15,1	646	4856,4	12,5
610	4599,8		647	4868,7	

MILIMET.	METROS.	DIFERENC.	MILIMET.	METROS.	DIFERENC.
648	4881,0	12,5	685	5525,2	11,6
649	4895,5	12,5	686	5554,8	11,6
650	4905,6	12,2	687	5546,4	11,6
651	4917,8	12,2	688	5558,0	11,6
652	4950,0	12,2	689	5569,6	11,5
655	4942,2	12,2	690	5581,1	11,6
654	4954,4	12,2	691	5592,7	11,5
655	4966,6	12,1	692	5404,2	11,5
656	4978,7	12,2	695	5415,7	11,5
657	4990,9	12,1	694	5427,2	11,5
658	5005,0	12,1	695	5458,7	11,4
659	5015,1	12,1	696	5450,1	11,4
660	5027,2	12,0	697	5461,5	11,4
661	5059,2	12,0	698	5472,9	11,4
662	5051,2	12,1	699	5484,5	11,4
665	5065,5	12,0	700	5495,7	11,4
664	5075,5	11,9	701	5507,1	11,5
665	5087,2	12,0	702	5518,4	11,4
666	5099,2	12,0	705	5529,8	11,5
667	5111,2	11,9	704	5541,1	11,5
668	5125,1	11,9	705	5552,4	11,5
669	5155,0	11,9	706	5565,7	11,5
670	5146,9	11,9	707	5575,0	11,2
671	5158,9	11,8	708	5586,2	11,5
672	5170,6	11,9	709	5597,5	11,2
675	5182,5	11,8	710	5608,7	11,2
674	5194,5	11,8	711	5619,9	11,2
675	5206,1	11,8	712	5651,1	11,1
676	5217,9	11,8	715	5642,2	11,2
677	5229,7	11,7	714	5655,4	11,2
678	5241,4	11,8	715	5664,6	11,1
679	5255,2	11,7	716	5675,7	11,1
680	5264,9	11,7	717	5686,8	11,1
681	5276,6	11,7	718	5697,9	11,1
682	5288,5	11,7	719	5709,0	11,1
685	5500,0	11,6	720	5720,1	11,0
684	5511,6		721	5751,1	

MILIMET.	METROS.	DIFERENC.	MILIMET.	METROS.	DIFERENC.
722	5742,1	11,0	757	6119,1	10,5
725	5755,1	11,1	758	6129,6	10,5
724	5764,2	11,9	759	6140,1	10,5
725	5775,1	11,0	760	6150,6	10,5
726	5786,1	10,0	761	6161,1	10,4
727	5797,1	10,9	762	6171,5	10,5
728	5808,0	10,0	765	6182,0	10,4
729	5819,0	10,9	764	6192,4	10,4
750	5829,9	10,9	765	6202,8	10,4
751	5840,8	10,9	766	6215,2	10,4
752	5851,7	10,9	767	6225,6	10,4
755	5862,5	10,9	768	6254,0	10,4
754	5875,4	10,8	769	6244,1	10,5
755	5884,2	10,9	770	6254,7	10,5
756	5895,1	10,8	771	6265,0	10,4
757	5905,9	10,8	772	6275,4	10,5
758	5916,7	10,8	775	6285,7	10,5
759	5927,5	10,7	774	6296,0	10,2
740	5958,2	10,8	775	6506,2	10,5
741	5949,0	10,7	776	6516,5	10,2
742	5959,7	10,7	777	6526,7	10,5
745	5970,4	10,8	778	6557,0	10,2
744	5981,2	10,7	779	6547,2	10,2
745	5991,9	10,6	780	6557,4	10,2
746	6002,5	10,7	781	6567,6	10,2
747	6015,2	10,6	782	6577,8	10,2
748	6025,8	10,6	785	6588,0	10,2
749	6054,4	10,7	784	6598,2	10,1
750	6045,1	10,6	785	6408,5	10,2
751	6055,7	10,6	786	6418,5	10,1
752	6066,5	10,6	787	6428,6	10,1
755	6076,9	10,6	788	6458,7	10,1
754	6087,5	10,6	789	6448,8	10,1
755	6098,0	10,6	790	6458,9	10,1
756	6108,6				

TABLA II.

Argumento T—T. Termómetro centígrado del barómetro.

O	M	O	M	O	M	O	M
0,2	0,5	5,2	7,6	10,2	15,0	15,2	22,4
0,4	0,6	5,4	7,9	10,4	15,5	15,4	22,7
0,6	0,9	5,6	8,2	10,6	15,6	15,6	22,9
0,8	1,2	5,8	8,5	10,8	15,9	15,8	25,2
1,0	1,5	6,0	8,8	11,0	16,2	16,0	25,5
1,2	1,8	6,2	9,1	11,2	16,5	16,2	25,8
1,4	2,1	6,4	9,4	11,4	16,8	16,4	24,1
1,6	2,5	6,6	9,7	11,6	17,1	16,6	24,4
1,8	2,6	6,8	10,0	11,8	17,4	16,8	24,7
2,0	2,9	7,0	10,5	12,0	17,6	17,0	25,0
2,2	3,2	7,2	10,6	12,2	17,9	17,2	25,5
2,4	3,5	7,4	10,9	12,4	18,2	17,4	25,6
2,6	3,8	7,6	11,2	12,6	18,5	17,6	25,9
2,8	4,1	7,8	11,5	12,8	18,8	17,8	26,2
3,0	4,4	8,0	11,8	13,0	19,1	18,0	26,5
3,2	4,7	8,2	12,1	13,2	19,4	18,2	26,8
3,4	5,0	8,4	12,4	13,4	19,7	18,4	27,1
3,6	5,5	8,6	12,6	13,6	20,0	18,6	27,4
3,8	5,6	8,8	12,9	13,8	20,5	18,8	27,7
4,0	5,9	9,0	13,2	14,0	20,6	19,0	28,0
4,2	6,2	9,2	13,5	14,2	20,9	19,2	28,2
4,4	6,5	9,4	13,8	14,4	21,2	19,4	28,5
4,6	6,8	9,6	14,1	14,6	21,5	19,6	28,8
4,8	7,1	9,8	14,4	14,8	21,8	19,8	29,1
5,0	7,4	10,0	14,7	15,0	22,1		

Para hacer la correccion correspondiente á la temperatura del aire se multiplica la milésima parte de la diferencia de los números correspondientes á  $h'$  y  $h$  por el duplo de la suma de los termómetros centígrados libres. Esta correccion tiene el mismo signo que la suma de los termómetros.

Se toma la suma ó la diferencia de los números correspondientes á  $h'$  y  $T'$ , segun que  $T' - T$  es positivo ó negativo.

TABLA III.

Argumento. Latitud sexagesimal del parage (correccion positiva.)

ALTURA aproximada.	0°	5°	10°	15°	20°	25°
	m	m	m	m	m	m
200	4,2	4,2	4,2	4,0	4,0	4,0
400	2,4	2,4	2,4	2,2	2,0	2,0
600	5,4	5,4	5,4	5,2	5,0	2,8
800	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	5,8
1000	5,7	5,7	5,7	5,5	5,4	4,8
1200	7,0	7,0	6,8	6,4	6,0	5,8
1400	8,2	8,2	8,0	7,6	7,1	6,7
1600	9,2	9,2	9,0	8,8	8,2	7,6
1800	10,4	10,4	10,2	9,8	9,4	8,6
2000	11,6	11,5	11,5	11,0	10,4	9,6
2200	12,8	12,6	12,6	12,4	11,4	10,6
2400	14,0	14,0	13,8	13,5	12,5	11,6
2600	15,2	15,2	15,0	14,4	13,6	12,6
2800	16,6	16,5	16,4	15,6	14,8	13,6
3000	17,9	17,7	17,6	16,8	15,8	14,6
3200	19,1	18,9	18,7	18,0	17,0	15,7
3400	20,5	20,5	20,4	19,5	18,4	16,9
3600	21,8	21,7	21,4	20,4	19,6	18,0
3800	23,1	22,9	22,6	21,6	20,6	19,1
4000	24,6	24,4	24,0	22,9	21,9	20,5
4200	25,9	25,7	25,5	24,5	23,0	21,6
4400	27,5	27,5	26,8	25,8	24,5	23,0
4600	28,9	28,7	28,2	27,1	25,6	24,5
4800	30,4	30,2	29,6	28,4	27,0	25,5
5000	31,8	31,6	30,9	29,8	28,4	26,7
5200	33,0	33,8	32,1	31,0	29,7	28,0
5400	34,5	34,1	32,5	32,4	30,8	29,2
5600	35,7	35,5	34,8	33,7	32,1	30,2
5800	37,1	36,9	36,1	35,0	33,2	31,5
6000	38,5	38,5	37,5	36,5	34,5	32,5

ALTURA aproxima- da.	50°	55°	40°	45°	50°	55°
	m	m	m	m	m	m
200	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
400	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8
600	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6	1,2
800	3,5	3,1	2,8	2,4	2,0	1,7
1000	4,5	3,8	3,4	3,1	2,6	2,2
1200	5,4	4,6	4,2	3,6	3,1	2,6
1400	6,4	5,4	4,8	4,2	3,6	3,0
1600	7,0	6,2	5,6	4,8	4,4	3,4
1800	8,0	7,0	6,5	5,4	4,6	3,8
2000	8,8	7,8	7,0	6,0	5,1	4,2
2200	9,7	8,6	7,6	6,6	5,6	4,6
2400	10,6	9,4	8,4	7,2	6,1	5,1
2600	11,6	10,5	9,2	8,0	6,8	5,6
2800	12,6	11,4	10,0	8,8	7,4	6,2
3000	13,6	12,2	10,8	9,4	8,0	6,6
3200	14,6	13,1	11,5	10,4	8,6	7,0
3400	15,7	14,1	12,4	10,9	9,2	7,7
3600	16,7	15,0	13,4	11,6	9,8	8,2
3800	17,7	16,9	14,5	12,4	10,5	8,7
4000	18,7	17,0	15,1	13,1	11,2	9,4
4200	19,9	18,0	15,9	14,0	12,0	10,1
4400	21,4	19,1	16,9	15,0	12,9	10,8
4600	22,5	20,5	18,0	15,9	13,6	11,5
4800	23,4	21,5	19,0	16,7	14,5	12,1
5000	24,6	22,5	19,9	17,4	15,0	12,7
5200	25,7	23,5	20,8	18,2	15,7	13,5
5400	26,7	24,5	21,7	19,1	16,4	13,9
5600	27,8	25,5	22,6	19,9	17,2	14,5
5800	28,9	26,5	23,6	20,7	17,8	15,1
6000	30,0	27,5	24,6	21,5	18,5	15,7

TABLA IV.

Correccion para 1000<sup>m</sup> de altura.

h	METROS.	h	METROS.
400	1,74	600	0,65
450	1,59	650	0,42
500	1,44	700	0,22
550	0,86	750	0,05

Sea, por ejemplo, en la estacion inferior  $h=600$  milímetros; la diferencia de nivel  $=1500^m$ ; y tendremos

$$100:0,65=1500:0^m,95$$

y la diferencia de nivel ya corregida será  $=1500^m,9$ . Esta correccion es siempre positiva.

Tipo del cálculo.

Altura de Guanajuato observada por Humboldt. Latitud  $=24^\circ$ . En la estacion superior, altura del barómetro  $=600^m,95=h$ ; termómetro del barómetro  $=+21,5=T$ ; termómetro libre  $+21,5=t$ . A la orilla del mar, altura del barómetro  $765^m,15=h$ ; termómetro del barómetro  $+23,5=T$ ; termómetro libre  $+23,5=t$ .

Tabla I. { da para 763 <sup>mm</sup> , 15	6485 <sup>m</sup> , 5...a
para 600 ,95	4280 ,7...b
Tabla II. da para T-T'=4	5 ,9...c
a-b-c, ó altura aproximada.	4896 ,9
1 <sup>a</sup> correccion = $\frac{4897}{1000}(t \times 2 + t')$	+ 176 ,8
Suma.	2075 ,7
2 <sup>a</sup> cor., tabla III, da para 2075 y 21°	+ 10 ,6
Altura.	2084 <sup>m</sup> , 5

De la máquina neumática.

66. La máquina neumática, que pasa por invencion de Otto de Guericck, es un aparato á propósito para enrarecer el aire contenido en un espacio determinado. En su origen estaba muy lejos de ser lo que es en la actualidad. Compónase de un cilindro hueco AC (Fig. 45); llamado cuerpo de bomba, en el cual se movía ludiendo un émbolo *p* adaptado á un vástago ó varilla *t*. Tenia la bomba dos conductos pequeños en uno de los cuales habia una llave R, y en el otro además de su correspondiente llave R' se atornillaba el cuello del recipiente, cuyo aire se queria enrarecer. Abriase la llave R y se cerraba la R' al tiempo de bajar el émbolo, repitiendo la operacion á la inversa cuando este subía, y de esta alternativa de movimientos resultaba vaciarse el recipiente al cabo de un cierto tiempo.

Ofrecia tanta dificultad el abrir y cerrar las llaves que trató de evitarse este embarazo, acudiendo al remedio con dos válvulas A y A' (Fig. 46) colocadas, una en el émbolo y otra en el cuerpo de bomba y abriéndose ambas á dos de dentro á fuera.

67. La válvula A' ofrece sin embargo un nuevo incon-

veniente, y es que al cabo de cierto tiempo pierde su fuerza y no se levanta, despues de que el émbolo ha dado cierto número de golpes; pues que debilitándose la fuerza elástica del aire interior no puede vencer la resistencia de esa válvula, de consiguiente llegando á ese extremo es imposible continuar el vacío. Por esta razon, tampoco se usan ya mas válvulas, sino que se tapa el agujero con un cono pequeño truncado y macizo, sujeto á una varilla metálica *tt'*, que atraviesa, ludiendo, al émbolo como se ve en la Fig. 47. De este modo, cuando el émbolo descende, baja con él la varilla *tt'*, llevando consigo el cono truncado á la embocadura del conducto; mas el émbolo vence el rozamiento de la varilla *tt'* y continua en su descenso; por el contrario, cuando el émbolo sube, se eleva con él la varilla *tt'* y saliendo el cono truncado de su abertura permite pasar al aire del recipiente, por debil que sea su fuerza elástica. Sube sin embargo el émbolo *p* y el cono no puede seguirle, así que la varilla tropieza en la parte superior del cuerpo de bomba. En fin se ha creído muy útil substituir á la válvula *s* otra metálica, fija en el interior del émbolo y que vuelve á cerrarse sobre sí misma mediante un resortito.

68. En tal estado, ofrece la máquina todavía algunos inconvenientes. Al empezar á hacer el vacío en el recipiente, cuesta poco trabajo levantar el émbolo porque el aire exterior é interior tienen con corta diferencia la misma fuerza elástica. Pero cuando el vacío llega á cierto grado, la elasticidad del aire interior queda tan débil, que para levantar el émbolo es necesario hacer un grande esfuerzo porque toda la atmósfera obra sobre su superficie.

Remediase este inconveniente poniendo en vez de uno dos cuerpos de bomba que comunican por un mismo conducto con el recipiente (Fig. 48); son totalmente iguales ó idénticos interiormente al que queda descrito, pero exteriormente hay innovacion, pues las dos

varillas son barras dentadas, ó mejor dicho unas cremalleras, cuyos dientes engranan con los de una rueda dentada que se pone en movimiento con la palanca MM' sujeta á su mismo eje; de manera que girando alternativamente hace subir á uno de los émbolos cuando el otro baja, y como la atmósfera pesa lo mismo sobre el que sube que sobre el que baja, resulta que el esfuerzo es siempre el mismo en todos los periodos de la maniobra.

69. Sea sin embargo el que quiera el grado de perfeccion de una máquina pneumática, nunca produce un vacío perfecto en el recipiente, pues seria necesario continuar el movimiento de los émbolos durante un tiempo ilimitado; sin embargo se llega siempre á un punto en que la elasticidad del aire es tan debil que no puede abrir la válvula del émbolo, y el aceite que se pone para suavizar los movimientos se convierte casi totalmente en gas. Por lo cual en las mejores apenas se llega á obtener el vacío correspondiente á 4 milímetro de elasticido.

Antiguamente se construian máquinas de otra especie mediante las cuales se hacia mayor vacío, pero son tan complicadas que se han abandonadas completamente.

Acaba de inventar Babinet una máquina con la que, sin ser muy complicada, se puede hacer un vacío mas completo que el que ordinariamente se obtiene. Cada cuerpo de bomba comunica con el recipiente por medio de un conducto particular, cuando por este medio se llega á dilatar el aire todo lo que posible, se intercepta por medio de una llave la comunicacion entre uno de los cuerpos de bomba y el recipiente, haciendo que los cuerpos de bomba comuniquen entre sí.

Se continua moviendo los émbolos, y el que ya no está en comunicacion con el recipiente agota el aire del otro.

Sea  $a$  la masa de aire que queda cuando la máquina ordinaria ya no es eficaz;  $R$  la capacidad de cada cuerpo

de bomba y  $v$  el espacio que resta debajo del émbolo cuando está en el punto mas bajo de su carrera;  $\frac{a}{r}$  es de consiguiente la densidad del aire atmosférico ó del aire antes que haya empezado el movimiento de la máquina;  $\frac{a}{R}$  es la del aire enrarecido, y  $\frac{r}{R}$ , por lo tanto, la medida de la rarefaccion. En la máquina de Babinet, el aire del cuerpo de bomba comunica con el recipiente cuando la llave tiene una cierta posicion, y pasa al otro cuando la llave toma otra posicion distinta; de manera que en la capacidad  $r$ , no quedará mas que  $\frac{a}{R} \frac{r}{R}$ ; de manera que la energia ó intension con que la máquina modificada enrarece es á la de la máquina ordinaria  $::r:R$ , y esta facultad puede espresarse por

$(\frac{r}{R})^2$ . pues que es evidente  $\frac{r}{R}:x::r:R$ , siendo  $x$  la cantidad buscada.

70. Para poder juzgar continuamente del grado de dilatacion del aire en el interior del recipiente de la máquina, se hace que este comuniquen con la parte superior de un barómetro de cubeta AB (Fig. 48.). Este instrumento entra en la mayor parte de las máquinas pneumáticas, pero generalmente es de quita y pon. Antes de que el aparato empiece á funcionar su nivel es el mismo que seria en la parte exterior; pero disminuyendo la fuerza elástica del aire interior del recipiente á medida que empiezan los movimientos del émbolo, sube necesariamente el mercurio del tubo. Llamemos  $h$  la altura del mercurio del barómetro adaptado á la máquina y  $p$  á la presion de la atmósfera; la elasticidad del aire interior será  $p-h$ ; mas como antes de que el aire se hubiere enrarecido, el aire del recipiente ocupaba el mismo volumen bajo la pre-

sion  $p$ , y los pesos de un mismo volumen de aire son proporcionales á las presiones, tendremos que

$$1 \times \frac{p-h}{p},$$

será el peso del aire que ha quedado en el globo, siendo 1 el peso primitivo del aire.

Hay tambien algunas máquinas pneumáticas en las que se juzga del grado del vacío por medio de un instrumento llamado probeta ó *barómetro acortado*, que regularmente se halla debajo de una campanita de cristal, herméticamente aplicada sobre una peana hueca que comunica con el recipiente y los cuerpos de bomba: compónese ese instrumento de un tubo BCA (Fig. 49) encorvado en forma de sifon y de 8 á 10 pulgadas de altura. El brazo CB está cerrado y el CA abierto, aunque hay bastante mercurio para que el primero esté completamente lleno. Y cuando el aire del interior de la máquina se halle bastante enrarecido para no poder sostener hasta lo mas alto del brazo cerrado, bajará el metal en ese brazo, aunque siempre su altura será mayor que en el opuesto. En fin ya no hay mas que medir con una escala la diferencia de los dos niveles, y esa diferencia dará á conocer la elasticidad del aire en el recipiente. El instrumento, que acabamos de describir, no sirve sino cuando el enrarecimiento del aire es muy considerable.

70 a. Propongámonos ahora calcular en que proporcion se agota el aire en una máquina de dos cuerpos de bomba. Este problema es sencillísimo cuando se conoce la relacion entre la capacidad del recipiente, comprendiendo en ella la de los tubos de comunicacion, y la de uno de los cuerpos de bomba. Y digo solamente uno porque siendo ambos á dos totalmente iguales y estando dispuestos de modo que cuando uno se halla en el punto mas alto de su curso el otro está en el mas bajo, es evidente que el vo-

lumen de aire que sale en cada vuelta del manubrio es igual á la capacidad de uno solo de ellos.

Llamemos, por consiguiente, F á la capacidad de recipiente, P á la de cada uno de los cuerpos de bomba y A á la masa de aire contenido en ese recipiente. Supongamos, para mayor sencillez, que uno de los émbolos está en el punto mas bajo, y el otro de consiguiente en el mas alto, el cual llegará al mas bajo cuando se le haga dar una vuelta completa al manubrio; y como el volumen de aire es  $F+P$ , pues que el émbolo tiene debajo de sí un volumen de aire igual á P, es claro que cuando llegue al punto mas bajo habrá espulsado ese volumen P, y mediante la proporcion  $A:x::F+P:P$ , tendremos  $x = \frac{AP}{F+P}$  cantidad de aire estraido; de manera que debajo del recipiente

quedará  $A - \frac{AP}{F+P}$  ó bien  $\frac{AF}{F+P}$ . El resto se halla tambien por la proporcion  $A:x::F+P:F$ . Dando segunda vuelta al manubrio baja el otro émbolo y despide un volumen de aire igual á P, cuyo peso, calculado por medio de la proporcion

$\frac{AF}{F+P}:x':::F+P:P$ , es  $x' = \frac{AFP}{(F+P)^2}$  con otra vuelta se quitará  $\frac{AF^2P}{(F+P)^3}$  y con  $m$  vueltas  $\frac{AF^m - 1P}{(F+P)^m}$ . El primer residuo

de aire es  $\frac{AF}{F+P}$ ; el segundo  $\frac{AF^2}{(F+P)^2}$ ; el tercero  $\frac{AF^3}{(F+P)^3}$ ; y por fin el  $m$ ,  $\frac{AF^m}{(F+P)^m}$ .

*Ejemplo.* Se sabe que la relacion entre la capacidad de uno de los cuerpos de bomba de una máquina pneumática y un globo en que se quiere hacer el vacío, es como 5:12 contiene el globo 5 lit. 53 de aire, y se pregunta qué can-

tividad de aire quedará despues de dar 8 vueltas al émbolo.

He aqui la tabla de los resultados correspondientes á cada ascension del émbolo.

	CANTIDADES	
	estraidas.	RESTOS.
	LITROS.	LITROS.
4 <sup>a</sup> ascension del émbolo.	4,557	5,776
2 <sup>a</sup> id.	4,444	2,666
5 <sup>a</sup> id.	0,784	4,882
4 <sup>a</sup> id.	0,555	4,528
5 <sup>a</sup> id.	0,594	0,958
6 <sup>a</sup> id.	0,276	0,662
7 <sup>a</sup> id.	0,495	0,467
8 <sup>a</sup> id.	0,457	0,550

Despues de 8 ascensiones quedan 0 lit. 550.

Hemos calculado los resultados parciales con ánimo de poner á vista del lector la progresion descendente de las cantidades estraidas y de las restantes, pero hubieramos podido calcular inmediatamente el último resto. Para cerciorarse de la exactitud de los cálculos, no hay mas que sumar las cantidades estraidas con los restos correspondientes y en todas las sumas debe aparecer de nuevo la cantidad de aire primitiva.

71. Se emplean con mucha frecuencia en Física los aparatos que acabamos de describir.

Pueden ejecutarse con las maquinas neumáticas una porcion de experimentos muy instructivos. ¿Quiere demostrarse, por ejemplo, lo indispensable de la presencia del aire para la respiracion de los animales? No hay mas

que colocar debajo del recipiente, un pájaro ó un conejo de Indias, etc., y hacer funcionar la máquina, en cuyo caso los animales empiezan á jadear y mueren á los pocos instantes.

¿Quiere probarse la existencia del aire en el agua y demas líquidos? Colóquese debajo del recipiente una cantidad cualquiera de uno de ellos, hágase funcionar la máquina y las burbujas de aire empiezan á desprenderse á poco rato.

Podrá el lector convencerse, mediante la máquina neumática, de que la presion de la atmósfera retarda la ebullicion de los líquidos, y que de consiguiente esa ebullicion ha de verificarse á una temperatura mas baja en la cumbre que en el pie de las montañas. Colocando efectivamente un poco de agua tibia debajo del recipiente de la máquina y enrareciendo el aire, se llega á hacerla hervir á pesar de ser su temperatura muy inferior á la de su punto de ebullicion en circunstancias ordinarias, y si despues se deja entrar el aire cesa repentinamente la ebullicion.

Se concebirá pues que si, en vez del agua pura, se la emplea mezclada con otra sustancia fija, podrá desalojarse el líquido á una temperatura muy baja. Por este método se suelen obtener en los laboratorios de química ciertas sustancias cuando el aire ó el calor las altera.

Tambien se ha empleado en grande, como en la concentracion de los jarabes, de la cola fuerte, etc.

« El carbon, las lámparas, las bujías y en general todos los combustibles, se apagan en el vacío; pero sin embargo puede inflamarse la pólvora ó con un hierro enrojecido ó concentrando los rayos solares con un lente. Es mucho mas difícil la inflamacion que en el aire, y segun parece, es el azufre el que comienza á arder. El eslabon y el pedernal no producen chispas brillantes en el vacío, y las partículas de hierro destacadas se enrojecen sin inflamarse. Se ejecuta el experimento, colocando en la parte interior del reci-

piente una rueda que girando por medio de un movimiento de relojería choca contra un pedernal. » (Person.)

De las máquinas de compresion.

72. El objeto de las máquinas de compresion es inverso del de la pneumática, en esta nos propusimos enrarecer el aire; tratamos ahora de condensarle. La mas sencilla de todas, se compone de un cuerpo de bomba AB (Fig. 50), en el cual se mueve ludiendo un émbolo *p* completamente macizo, y á cuya parte inferior se atornilla el golete del recipiente en que se quiere condensar el aire. A la entrada de este conducto hay una válvula *s* que se abre de arriba abajo, y cerca de la parte superior del cuerpo de bomba se halla una abertura *t* por donde puede pasar el aire exterior. Mediante esta disposición, si el émbolo *p* descende, todo el aire que está debajo se encuentra tan comprimido que abre la válvula *S* y penetra en el recipiente B. Cuando, por la inversa, el émbolo sube, se forma un vacío en el cuerpo de bomba, y entonces la válvula *S* se cierra en virtud de la fuerza con que la comprime el aire del recipiente, y de consiguiente no puede escaparse de ningun modo. Luego que el émbolo salva la abertura *t*, es decir, que se coloca á mayor altura, el aire exterior se precipita en el vacío que aquel ha formado durante su ascension y lo llena completamente. Vuelve á bajarse el émbolo, introdúcese de nuevo el aire en el recipiente B, y de este modo se continua hasta que se juzgue oportuno suspender la operacion.

75. Los cuerpos de bomba que se construyen, en el dia, para la condensacion del aire, difieren poco del anterior; en vez de la válvula *S* se pone una válvula mecánica que abriéndose de fuera á dentro y cerrándose con un resorte que la comprime convenientemente, deja pasar á todo

el aire que trabaja por entrar en B é impide la salida á todo el que quiere escaparse de la misma vasija. La abertura practicada en el cuerpo de bomba está tambien cubierta con una válvula que se abre del exterior al interior, con el fin de dejar entrar el aire, y vuelve á cerrarse sobre sí misma cuando el aire del cuerpo de bomba adquiere cierta elasticidad. Esta válvula esta representada en la Fig. 51.

Para hacer, en fin, mas continuado el juego de la máquina, en vez de uno se emplean dos cuerpos de bomba uniéndolos, como se ha dicho al tratar de la máquina pneumática, con una rueda dentada; sin embargo de que aquí no hacen el mismo oficio que en la pneumática, porque hay que hacer mucha mas fuerza para condensar el aire; con todo reduciendo el diámetro de los cilindros se disminuye la fuerza necesaria para la condensacion.

Como pueden ocurrir accidentes desagradables al operador, pues que á veces revienta la vasija en que el aire se condensa, es muy prudente rodearla con una fuerte regilla metálica sujetándola debidamente entre dos placas de cobre apretadas con sus tuercas correspondientes, segun se ve en la Fig. 52. En fin la construccion de la máquina es tal, que en cada subida ó bajada de los émbolos se introduce la misma cantidad de aire.

Para juzgar del grado de condensacion del aire, el medio mas sencillo que puede emplearse, es poner en comunicacion con el recipiente una cuveta *V* llena de mercurio, y sumergir en ella un tubo de vidrio que esté en contacto con la atmósfera por su parte superior, pues la diferencia de niveles representa exactamente el exceso de la presión interior sobre la exterior, y si, por ejemplo, la altura del mercurio, en el tubo, fuera 28 pulgadas, concluiríamos que la elasticidad interior era de una atmósfera, ó de dos si dicha altura llegara á 56 pulgadas.

Mas como esto exigiria un tubo barométrico de mucha longitud, ha sido impracticable y necesario acudir á otros métodos menos complicados. Generalmente se emplea un instrumento, que consiste en una cuveta llena de mercurio y en un tubo cerrado por la parte superior, sumergido en dicha cuveta y lleno de aire á la presion ordinaria, análogo, en una palabra, al aparato que representa la Fig. 55. Se atornilla este aparato al conducto CD por donde comunican los cuerpos de bomba con el recipiente, y de modo que la cuveta solo comunica con este último. Antes de que la máquina empiece á funcionar, el aire interior y el de la probeta tienen la misma elasticidad, y los niveles son iguales en el tubo y en la probeta. Mas así que el aire del recipiente comienza á condensarse, sube el mercurio en el tubo y midiendo la diferencia de niveles se puede valuar fácilmente el grado de condensacion.

Llamemos  $h$  á esa diferencia. Sabemos ya que la fuerza elástica del aire interior del recipiente equilibra á la del aire del tubo y á la columna  $h$ ; si representamos de consiguiente por  $p$  la fuerza elástica del aire correspondiente al volumen primitivo  $V$ , y llamamos  $V'$  al volumen actual, tendremos que  $\frac{Vp}{V'}$ , segun la ley de Mariotte, representará

la fuerza del aire contenido en la probeta, y  $\frac{Vp}{V'} + h$  la del

aire interior del recipiente; mas como los pesos de un mismo gas, tomados bajo un mismo volumen son proporcionales á las fuerzas elásticas, llamando  $A$  al peso del aire contenido en el recipiente antes del experimento, y  $x$  al peso al fin de la operacion, tendremos la proporcion

$$A : x :: P : \frac{Vp}{V'} + h, \text{ de donde } x = \frac{A \left( \frac{Vp}{V'} + h \right)}{P} = A \frac{Vp + V'h}{V'P}; \text{ ó}$$

en otros términos, el aire se ha condensado en la relacion

$$\text{de } 1 \text{ á } \frac{Vp + V'h}{V'P}.$$

Escopeta de viento.

74. La parte principal de esta arma es una culata hueca de hierro en que hay una válvula elástica que se abre de afuera adentro. Para cargarla se atornilla á su entrada un cuerpo de bomba análogo al de las máquinas de compression. Cuando está suficientemente cargada, se quita la bomba y en su lugar se pone un cañon de hierro de 4 á 5 pies de longitud, en el cual se introduce una bala de su calibre atacandola á la manera ordinaria. Para dispararla se tira con el dedo de un resorte pequeño, que abre la válvula, deja salir el aire y este á su vez lanza la bala con mas ó menos fuerza segun su compression; mas como la válvula vuelve á cerrarse por su propia virtud, así que el resorte vuelve á su primitiva posicion, resulta que solo se escapa una corta porcion del aire, y con el resto pueden tirarse todavia algunos tiros, sin necesidad de volverla á cargar.

Cuando en el taco hay cuerpos duros, como arena ó madera se perciben algunos destellos de luz en la boca del cañon.

De la fuente de compression.

75. En una vasija de la forma AB (Fig. 54) se introduce un tubo pequeño ajustándole á la abertura  $o$  que se abre y cierra por medio de la llave R, segun conviene al operador; suele hacerse el tubo de cobre, y entonces se le atornilla al gollote, haciéndole que penetre casi hasta el fondo.

Llénase en fin la vasija de agua, de manera que solo quede vacío un espacio tal como S; se adapta al tubo un cuerpo de bomba del mismo modo que en la escopeta de viento, y se pone en movimiento el émbolo despues de haber abierto la llave R. El aire que entra se junta con el que está en S, y con pocos golpes del émbolo se puede condensar una gran porcion del aire, que comprimiendo la superficie del líquido le hace subir por el tubo y elevarse hasta una cierta altura, pues no hay mas que cerrar la llave R, y poner un tubito cónico en la parte superior del que penetra en la vasija.



De las bombas.

76. La teoría de las bombas debe colocarse naturalmente al lado de la del barómetro y de todos los aparatos cuyos efectos dependen del peso ó elasticidad del aire.

Hay tres especies de bombas; aspirante, impelente, y aspirante é impelente ó compuesta.

77. Compónese la aspirante de un conducto AB (Fig. 55), llamado cuerpo de bomba, cuya parte interior se sumerge en el agua y en el que subey baja, ludiendo, un émbolo P, por medio del vástago T. Tiene una válvula F que se abre de abajo arriba, y en el interior del cuerpo de bomba á menos de 52 pies sobre el nivel del agua hay otra F', que se abre en el mismo sentido.

Cuando el émbolo P desciende, permanece cerrada la válvula F' en virtud de su peso, y abierta la F á causa de la fuerza elástica del aire comprendido entre el émbolo y la válvula F', que encontrando esa salida se escapa y esparce en la atmósfera. Al subir el émbolo deja vacío todo el espacio que ha corrido, la válvula F se cierra tanto por su peso como por el de la atmósfera; la inversa sucede con la F', se levanta en virtud de la fuerza elástica del

aire que está entre ella y la superficie del agua; el aire se dilata y esparce en el espacio vacío, pierde de tension y entonces la atmósfera, que continuamente obra sobre la superficie del líquido, empuja al agua haciéndola subir en la parte del cuerpo de bomba situada debajo de la válvula F', y continuando los mismos movimientos, el líquido salva esa válvula colocándose encima de ella. El émbolo entonces comprime directamente al agua, que cerrando la válvula F', abre la F y se coloca sobre el émbolo, y este le despide por una abertura lateral O.

Hemos dicho que la válvula F' del cuerpo de bomba no debe estar á mas de 52 pies sobre el nivel del agua del depósito, porque pasado ese límite, el agua no llegaría nunca á F' por mas que se hiciese el vacío en M, lo cual depende de que el peso de la atmósfera, no puede equilibrar mas que una columna de 52 pies de agua.

En las bombas siempre se coloca la válvula á una altura inferior por los rozamientos, imperfeccion del vacío, etc.

78. Compónese tambien la *bomba impelente*, de un cuerpo de bomba AB (Fig. 56) en el cual sube y baja ludiendo un émbolo p, con la diferencia de que este es enteramente macizo: el tubo FC por donde sale el agua, tiene su origen en la parte interior del cuerpo de bomba, sumergiéndose un poco en el depósito de agua mn. A la entrada del tubo hay una válvula F, que se abre de adentro afuera y en la parte inferior del émbolo otra F' que juega en sentido inverso. Cuando el émbolo desciende queda cerrada la F' y se abre la F para dejar salir el aire condensado; cuando sube, por la inversa, se cierra la F y la F'. Como el líquido tiende siempre á ponerse á nivel, se abre para dejar pasar una cierta porcion, y vuelve á cerrarse en seguida: cuando el émbolo desciende de nuevo, se abre la F pasa el agua y sube por el tubo á cierta altura; y continuando de este modo sale por la abertura O. La presion atmosférica no es necesaria para el juego de esta

bomba que puede funcionar en el vacío, al paso que es indispensable en la bomba impelente.

79. La bomba *compuesta*, llamada así porque en ella se reúnen los efectos de la aspirante é impelente, no difiere de esta última, sino en que la válvula  $F'$  y el tubo lateral, por consiguiente, están encima del nivel  $mn$  del agua. Cuando baja el émbolo  $p$ , permanece cerrada la válvula  $F'$  (Fig. 57), y todo el aire que está entre ella y el nivel del agua se escapa por  $F$ . Cuando el émbolo sube, se cierra la válvula  $F$ , se abre la  $F'$ , y el aire comprendido entre ella y el nivel del agua, se esparce en el vacío que el émbolo ha formado al ascender; por consiguiente haciendo subir y bajar suficientemente á este último se llega á colocar el agua encima de la válvula  $F'$ , y de esta al tubo lateral, de cuyo modo sale por el orificio  $O$ . Inútil nos parece advertir que en esta bomba, lo mismo que en la aspirante, la válvula  $F'$  debe estar á menos de 32 pies sobre el nivel del agua.

Si al conducto lateral se le añade un depósito de aire, entonces es continuo el chorro. En virtud del movimiento del émbolo sube el agua en el depósito  $AR$  (Fig. 58) y condensa el aire que el último contiene, hasta que su elasticidad llega á ser tan enérgica que el líquido sale por el tubo  $S$ ; y obrando continuamente ese fluido sobre la superficie del agua, mana por dicho tubo sin la menor interrupcion, al paso que en la anterior corre únicamente cuando el émbolo desciende. Por varias observaciones, se sabe que la capacidad del depósito de aire es igual á veinte y tres veces la de la parte del cuerpo de bomba que el émbolo recorre.

Es muy á propósito este aparato para regar los jardines y otra porcion de operaciones semejantes.

## Bomba de los Sacerdotes.

80. (Fig. 59). En lugar de émbolo se emplea en esta bomba un diafragma de cuero, cuya circunferencia está fija al cuerpo de bomba, y en cuyo centro hay un disco metálico con la válvula necesaria para el juego de la máquina. Si se levanta la varilla  $T$  aumenta naturalmente el espacio situado entre el diafragma y la válvula  $F$ , y esta última se abre, y cuando aquel, el diafragma, desciende, vuelve á cerrarse la válvula, de manera que el diafragma produce el mismo efecto que el émbolo, aunque el rozamiento es mucho menor.

80 a. Se han inventado una porcion de bombas con dos émbolos, la siguiente, propuesta por Richard Franklin, nos parece una de las mas sencillas é ingeniosas.

$ab$  (Fig. 60.) es la palanca que sirve para mover los dos émbolos  $P$  y  $P'$ , y su hipomocion ó punto de apoyo se halla en  $c$ ;  $bd$  es el vástago del émbolo inferior  $P'$ ,  $hf$  la del superior  $P$ ; tanto este como su compañero suben y bajan verticalmente por medio de las ruedas  $m$  y  $m'$ , que giran sobre sí mismas. Cuando la palanca  $ab$  sube, desciende el émbolo superior y se eleva el inferior; mas como sus válvulas se abren de abajo arriba, salva el agua los dos émbolos y se coloca en su parte superior.  $AB$  es el cuerpo de bomba;  $H$  el conducto sumergido en el agua y  $K$  el tubo de desagüe.

81. La bomba de incendios que se emplea en Francia, tiene dos cuerpos de bomba y un depósito de aire  $M$  colocado en el medio (Fig. 61). Se la coloca en un receptáculo lleno de agua, y absorbiendo este líquido le despiden por el tubo de cuero  $CD$ ; para que la arena y otras porquerías que suele contener el agua no penetren en los cuerpos de bomba, se ponen en su parte inferior varias chapas de

cobre agujereadas. Generalmente los cuerpos de bomba comunican con un estanque ó depósito de agua, y entre cada uno de ellos y el receptáculo de aire hay una válvula por donde pasa el agua del estanque al cuerpo de bomba y de este al depósito de aire.

« La bomba americana, llamada también de Farcot, es una bomba sin émbolo y cuyo movimiento es de rotación. Compónese de una caja anular en la cual, y por medio de un manubrio *d* (Fig. 62.), con su correspondiente volante *aa*, se hacen girar varias paletas, que aunque móviles hacen el oficio de tabiques y dividen la caja en diversos compartimentos. En este espacio y entre los orificios de los tubos *f* de aspiración, y *m* de espiración, hay otro tabique fijo con una raja ó grieta para dejar paso á las paletas, siendo todo el resto completamente macizo; para facilitar estos movimientos, hay un tope, que poniéndolas horizontales las hace girar un cuarto de círculo en el momento que llegan á *t*. La distancia entre las paletas y el espesor del tabique son tales que la grieta está siempre cerrada; por consiguiente cuando una paleta pasa al punto *t*, deja detrás de sí un vacío á donde el agua afluye por el tubo de aspiración: la paleta siguiente la empuja obligándola á salir por el tubo de desagüe, y entonces el líquido tiene que subir por este tubo, porque no puede pasar á *C*.

« El aparato representado en la (Fig. 62 a.) sirve también para subir agua y se llama la rosca de Arquímedes. Se compone de un tubo arrollado en forma de espiral á un cilindro cualquiera. Cuando se le da al cilindro una inclinación conveniente y que el orificio inferior del tubo se sumerge en el agua, el líquido sube á lo largo de ese tubo, si se hace girar el aparato; y pasado cierto tiempo se derrama por la parte superior. Se emplea como medio

<sup>1</sup> *Éléments de Physique*, par M. Person, t. I, p. 214.

de desagüe cuando no hay que elevar el agua á grande altura.

82. « Se llama *ventosa* á una campanita de vidrio *A* (Fig. 65.) cuya abertura se aplica sobre la piel de una persona; se hace el vacío interiormente, y la parte que se halla debajo se enrojece é inflama considerablemente. Si el individuo tuviera alguna picadura sale sangre en gran abundancia, la cual depende de que la presión no es uniforme en todo el cuerpo, y el fenómeno es análogo al que se experimenta apretando fuertemente con un cordón un dedo de la mano y dejando libre la parte superior ó inmediata á la uña. Puede ejecutarse el vacío por medio del calor, pero es siempre más cómodo servirse de una bombita aspirante. Las válvulas *m* y *n* se abren en el sentido que indica la figura; pero es más sencillo hacerlas con unos pedacitos de vejiga. La adherencia no es un efecto orgánico; depende de la adherencia entre el recipiente y el disco de la máquina neumática, es en una palabra el efecto de una presión, tan energética, que si el vidrio estuviera afilado podría cortar la piel, aunque siempre es muy dolorosa para el individuo que la soporta.

85. « En los animales se encuentran verdaderas máquinas neumáticas; las sanguijuelas tienen una ventosa en cada uno de sus extremos, de las cuales se sirven para fijarse en los cuerpos y determinar la afluencia de sangre después de la picadura. Todo el mundo sabe que los niños se divierten muchas veces poniendo un disco de cobre sujeto á un cordón sobre el suelo cuando está húmedo, y que tirando del cordón se forma un vacío y el disco se adhiere con gran energía; tal es en realidad el mecanismo de las ventosas y de las sanguijuelas.

85 a. « Con la boca se forma también una ventosa durante la succión; pues que la lengua al retirarse forma un vacío. Puede formarse idea del grado á que ha llegado la succión, ejecutándola en un tubo sumergido en el mercurio.

rio. Con un experimento muy sencillo puede probarse que en la succion y la ascension de los líquidos es efecto de la presion del aire. Llénese de agua una botella, y tápese despues con un corcho atravesado por un tubo de cristal, y por mas esfuerzos que se hagan, no podrá conseguirse que el agua suba en el tubo.

84. « Cuando se separan los discos de un fuelle, se disminuye la fuerza elástica del aire interior, y el exterior, en virtud de su fuerza predominante, penetra por la tobera ó cañon y por la válvula. El mecanismo de la respiracion de los animales es análogo, si se hace abstraccion de la válvula que impide un grande acceso de aire caliente en el fuelle. Si se cola un cinturon al rededor del pecho se observará que se dilata considerablemente cuando las aspiraciones son muy profundas. Sin embargo en las circunstancias ordinarias, no son los costados del pecho los que se dilatan, sino que es efecto del descenso del diafragma CDE (Fig. 64), ó tabique muscular que le separa del abdomen. Este tabique que es convexo por el lado del pecho, se vuelve plano al contraerse. Entra entonces el aire por la abertura T, y los pulmones A y B se desenvuelven estendiéndose en los espacios *a* y *b*, y en esto consiste la aspiracion; para la respiracion vuelve el diafragma á adquirir su curvatura, y sale de los pulmones una cierta cantidad de aire. Este juego de los pulmones es análogo al de la bomba de sacerdotes, en la que en vez de piston hay un círculo de cuero flexible cuyos bordes son fijos, al paso que el centro sube y baja alternativamente.

85. « Para medir la cantidad de aire que penetra en los pulmones, se coloca sobre el agua una campana graduada con una llave y un tubo en la parte superior, por donde pasa el aire de la respiracion; se llena la campana de agua, y el aire desaloja parte del líquido, en cuyo caso ya no hay mas que ver el número de divisiones en que está comprendido. Segun los experimentos de Davy, en los ca-

ordinarios se respira 0 lit. 65, pero cuando la respiracion es profunda, suele llegar á 4 litro y medio ó dos litros. Se admite generalmente que la capacidad del pecho es de 5 á 6 litros, de manera que respirando con fuerza parece posible reducir á dos tercios la fuerza elástica del gas contenido en el pecho, y por consiguiente hacer subir 8 á 9 pulgadas el mercurio en un tubo; sin embargo respirando efectivamente con el pecho apenas se consigue subirle dos pulgadas. Esto depende de que cuando el aire no entra, no podemos apenas obtener en el pecho una dilatacion de 4 y medio á dos litros; pues para conseguirlo es necesario que la fuerza elástica del aire que penetra nos ayude á vencer la presion exterior. Efectivamente por medio de un cinturon se reconoce que el pecho se dilata muy poco cuando se quiere respirar sin que el aire penetre.

86. « La bomba de bodegas ó cata-licores es un tubo que se sumerge en los toneles, abierto por arriba y por abajo como representa la Fig. 65. Al tiempo de retirarle debe taparse el agujero de la parte superior con el dedo y entonces el líquido queda suspendido en el interior del tubo. Para esplicar este hecho basta observar que el punto B á donde llega el líquido está un poco mas bajo que el punto A, en que se hallaba cuando el tubo estaba sumergido; de manera que habiéndose escapado la parte AB, queda mucho mas dilatado el volumen AD de aire, y en ese caso su fuerza elástica, mas el peso de la columna BC, hacen equilibrio á la presion atmosférica. Es indispensable que sea muy estrecho el orificio interior, porque si fuera muy ancho, bastaria el menor movimiento para que entrara el aire y se vaciara completamente el tubo.

87. « La regadera mágica es una vasija análoga á la que representa la Fig. 66, en cuyo fondo hay una porcion de agujeros; se la sumerge en el agua cuando la abertura superior está abierta, y se la cierra con el dedo al tiempo

de retirarla. Se sostiene el agua del mismo modo que en el cata-licores, y mana ó deja de correr segun que se destapa ó cierra el orificio superior.

88. « Con el *embudo mágico*, aunque parece vacío, se puede hacer correr ó impedir la salida del agua del mismo modo que en los aparatos anteriores. Se reduce (Fig. 67) á un embudo doble ó dos embudos, metido uno dentro de otro. En el espacio vacío que queda entre los dos hay dos orificios, uno *a* que se cierra con un poco de cera y el otro abierto cerca del tubo. Para llenar esa cavidad, se cierra la abertura *o*, se abre el orificio *a* y se vierte el líquido en P. Si ahora se cierra el orificio *a*, solamente mana el líquido que está en P, y el de su cavidad intermedia sale ó no segun que está abierto ó cerrado su orificio *a'*. » (Person).

De la fuente intermitente.

89. Este ingenioso aparato se emplea poco en las artes; hablaremos, sin embargo, de él porque es un nuevo ejemplo de las aplicaciones del resorte y pesantez del aire. Su depósito es comunmente un globo de vidrio (Fig. 68) atravesado en direccion de su eje vertical por un tubo metálico *tt*, cuyo extremo superior está siempre á una cierta distancia de la parte mas elevada del globo y cuyo extremo inferior, que en *e* tiene una pequeña escotadura,

1 Puede disponerse de otro modo el aparato, y hacer mas vistoso el experimento. En vez de hacer comunicar los dos embudos con el tubo *O*, se cierra la parte mas baja ó cuspide del cono interior, de modo que únicamente el espacio intermedio comunique con el tubo *O*. Se llena, por ejemplo, de vino ese espacio intermedio, teniendo tapado con el dedo el orificio *a*, se echa agua en el embudo interior, y destapando entonces el orificio *a*, empieza á correr el vino. Los titiriteros ejecutan á menudo este experimento. — N. del T.

llega al fondo de una cubeta *CD* horadada en el centro *v* por cuyo agujero pasa el agua á una segunda vasija.

Llénase de agua el globo por una abertura superior que se cierra en seguida. Como el aire interior hace equilibrio á la presión exterior, sale al principio el líquido por los orificios *jjj* en virtud de su propio peso; de aquí cae en la cubeta *p* y va á parar al recipiente que está debajo, pasando por la abertura colocada en su centro. Mas como esta abertura tiene tales dimensiones, que en un tiempo dado entra por ella menos agua que la que sale por los tubos *jj* reunidos, llegará necesariamente un momento en que la escotadura *e* se hallará obstruida por el agua, y entonces el aire no podrá entrar en el globo.

Pero si el agua continua siempre corriendo por los tubos *jj*, el espacio que está encima, es decir, el volumen del aire que la comprime será cada vez mayor, y de consiguiente su fuerza elástica disminuirá poco á poco, y llegará un caso en que esa fuerza elástica, mas la columna del líquido, serán equivalentes á la presión exterior, y entonces cesará la salida. Mas cuando toda el agua haya entrado por la escotadura *e* podrá pasar por el tubo *tt* é introducirse en el globo una cierta cantidad de aire, y comenzará de nuevo la salida, en fin volverá á interrumpirse cuando la escotadura intercepte el paso al líquido y así sucesivamente.

Conocida la teoría de la fuente intermitente pueden resolverse varios problemas: 1º Tenemos un cilindro cerrado lleno de mercurio hasta cierta altura y en su parte superior contiene una cierta cantidad de aire á la presión exterior *H*. Se pregunta qué cantidad de mercurio manará, abriendo un agujero en su base. Llamemos *A* á la altura total del cilindro, *B* á la del mercurio en este vaso y *X* á la del mercurio que ha salido, y el problema quedará resuelto con la ecuacion

$$B-X+H\left(\frac{A-B}{A-B+X}\right)=H.$$

2° Resolver la misma cuestion, cuando en vez de mercurio, se llena el cilindro con agua. Supondremos los mismos datos y ademas admitiremos que á la temperatura del experimento la fuerza elástica de vapor de agua es F. Cuando la elasticidad del aire seco, mas la fuerza elástica del vapor y mas la columna de agua equilibren el peso de la atmósfera, cesará el líquido de correr. La elasticidad del aire seco es H-F. El volumen aumenta en la relacion de A-B á A-B+X, y como la elasticidad del aire disminuye en la misma relacion, se convierte en

$$\frac{(H-F)(A-B)}{A-B+X}$$

La fuerza elástica es F, pues que hay la cantidad de agua necesaria para saturar todo el espacio. Mas como todas las elasticidades, del mismo modo que la presion exterior, están representadas en alturas de mercurio, es necesario dividir la columna de agua restante por la densidad del mercurio igual 13,586. Por consiguiente la ecuacion general será

$$\frac{(H-F)(A-B)}{A-B+X} + F + \frac{B-X}{13,586} = H.$$

En cuya ecuacion todo es conocido, menos el valor de X, que deberá tomarse como incógnita.

De la fuente de Heron.

90. Compónese este aparato (Fig. 69) de dos globos unidos uno á otro por medio de un tubo cilindrico y de metal que llega cerca de la parte superior del globo mas alto.

Encima hay una cubeta AB, y por su centro pasa un tubo vertical OC que se sumerge casi hasta el fondo del globo superior adelgazándose hácia su abertura superior O. En fin un tubo lateral HK pone tambien esta cubeta en comunicacion con el globo inferior.

Quando se echa agua en el globo superior, permanece el líquido al mismo nivel en el globo y el tubo OC, porque el aire exterior comprime la superficie del agua tanto como la atmósfera exterior que puede penetrar por el orificio O. Pero si por el tubo HK se vierte agua en el globo inferior, el aire que este tenia sube al superior, y uniéndose al que se hallaba ya en este espacio, reunen entre los dos una fuerza elástica suficiente para hacer salir un chorro de líquido por el orificio O. A medida que cae en el pilon AB corre por el tubo HK, y va á parar al globo inferior, y de este modo se mantiene la fuerza elástica del aire interior de los dos globos; y el chorro dura tanto mas tiempo cuanto mayor es la capacidad del globo inferior con respecto al superior. (Véase mas adelante la aplicacion de esta fuente á las lámparas hidrostáticas.)

Del sifon.

91. Los efectos que se observan en el sifon son debidos á la presion atmosférica. Este instrumento que sirve para trasegar los líquidos, consiste en un tubo encorvado cuyos dos brazos son enteramente desiguales, y de los cuales el mas corto es el que siempre se sumerge en la vasija cuyo líquido se va á trasegar. Sea AB (Fig. 70) esa vasija llena de agua y N el frasco en donde la queremos recoger. Suméjase el brazo mas corto HO en la primera, y aspírese por el extremo opuesto C de modo que se enrarezca el aire interior del tubo. (Generalmente se llena de líquido el sifon\* y se introduce el brazo mas corto en la vasija,

teniendo cuidado de tapar el mas largo con el dedo, y de este modo se evita el hacer la succion ; pero supongamos que se opere enrareciendo el aire en el tubo ; el líquido se introduce inmediatamente y cae acto continuo por el brazo mayor, durando entonces la salida hasta que quede vacía la vasija AB.

La teoría es sencillísima. La presión atmosférica obra con la misma intension en el extremo del brazo mayor y en la superficie del líquido : es decir, que antes de que el aire empiece á enrarecerse el líquido estará al mismo nivel en la vasija y en el tubo. Pero al hacer la succion disminuye la elasticidad del aire del tubo, y el peso de la atmósfera determina entonces la ascension, y el tubo se llena. Si el sifon está lleno, los puntos O y E experimentan la misma presión del aire exterior, y los trozos HO y HE se equilibran, pero la parte EK, como no está contrarrestada, debe caer, y reemplazándola continuamente el agua de la vasija, continuará el desagüe hasta que todo el líquido haya pasado al vaso N.

He aquí una esplicacion general de sifon.

Supongámosle colocado en un fluido UVMN de una densidad  $d$ , y llamemos  $d'$  á la densidad del líquido en el sifon O. Como es simétrico para los puntos O y E, resulta que las columnas OH y HE, del mismo modo que las OO y EP no tienen la menor influencia en el desagüe, y este es únicamente efecto de la diferencia entre las presiones  $hd$  y  $hd'$  siendo  $h = EK$ . Ordinariamente  $d$  es menor que  $d'$ , y por consiguiente  $hd < hd'$  y el líquido EK debe caer y arrastrar consigo al del sifon. Pero si el aparato estuviera sumergido en el mercurio ó si en el agua se sumerjese enteramente un sifon lleno de aceite, tendríamos  $hd > hd'$  y el líquido subiría en el vaso AB.

Si se colocara el sifon completamente lleno de líquido en el vacío, entonces caería por ambos brazos en virtud de la pesantez.

92. Cuando los líquidos son corrosivos, no puede aplicarse la boca al extremo del tubo, porque se espondría mucho la persona que lo hiciera ; en tales casos se le añade al tubo principal del sifon un cañoncito EF (Fig. 74) por el que impunemente se ejecuta la succion teniendo la precaucion de hacerle mas ancho por la parte inferior.

Se puede poner en su lugar una pequeña bomba aspirante, pero en uno y otro caso es necesario cerrar la parte inferior  $m$ .

Sirve tambien el sifon para vaciar un trozo de un canal ó de un rio. En ese caso se le construye de tablas, se le llena por la parte superior cerrando las dos estremidades ; se abren estas en seguida y se cierra la abertura superior. Es tan sencillo y espedito este método que apenas puede calcularse la cantidad de agua que es posible vaciar con un sifon de 4 metro de diámetro.

93. Estriba en la misma teoría del sifon, la construcción de un aparato muy curioso conocido con el nombre de vaso de Tántalo. Redúcese á una copa de la forma ordinaria, en cuyo interior hay un tubo encorvado COH (Fig. 72) cuyo brazo mas corto OC termina en el mismo vaso, y el mas largo sobresale un poco de la peana. Si se vierte agua en el vaso de modo que su parte mas elevada O no quede cubierta, no se observa nada de particular ; pero desde el momento en que el nivel está encima del vértice O sale el líquido por el brazo mas largo y no se llena el vaso por mas agua que se añada.

94. Hay tambien fuentes intermitentes naturales, cuyos movimientos son análogos á los del sifon ó á los del vaso de Tántalo. Si  $mno$  (Fig. 75) es una cavidad del terreno y las aguas llegan al punto mas elevado K, correrá la fuente hasta que el agua se halle debajo de  $mnp$ , y comenzará de nuevo la salida cuando las lluvias eleven el agua otra vez al punto K.

95. « Además <sup>1</sup> de servir el sifon para trasegar los líquidos sirve tambien para poner varias vasijas á un mismo nivel, ofreciendo la gran ventaja de no enturbiar los sedimentos porque se puede detener la operacion cuando se quiera. Entre otros aparatos muy curiosos que se conocen, citaremos uno con el que se obtiene un chorro encima del receptáculo general del agua. En la parte superior del sifon hay una vasija AB cerrada con un tapon que los dos brazos atraviesan; la menor toma el agua de una vasija inferior, y la mayor sirve para el desagüe. Para cebar el sifon ó para que empiece á funcionar se aspira por el brazo mas largo, ó bien volviendo el sifon boca abajo se llena el vaso hasta la mitad, y el agua al salir por el brazo mas largo forma un vacío en el aparato.

96. « Se aprovecha tambien la presion y elasticidad del aire para mantener constante el nivel del aceite, ú otro liquido, que se emplea en los velones, lámparas y quinqués. Tomemos primero, como ejemplo la vasija AB representada en la Fig. 73, y cuya forma y disposicion es análoga á la que se emplea en los tinteros de cristal. La parte B está abierta y la A cerrada. Si en la primera se quita una gota de liquido, pasa una burbuja al interior y se restablece el nivel, y el mismo fenómeno se repite cuando la fuerza elástica del gas, mas el peso de la columna mas alta, no equilibran en B á la presion atmosférica. De la misma forma se construyen á veces los bebederos de los pájaros. En los quinqués se puede levantar el receptáculo A; se le llena entonces de aceite y se le vuelve á poner en su sitio de modo que la abertura esté hácia abajo; tiene su válvula correspondiente, y cuando se desprende una gota de aceite sube inmediatamente una burbuja de aire á reemplazarla. » (Person.)

<sup>1</sup> *Eléments de Physique*, par M. Person, t. I, p. 220.

## Lámparas hidrostáticas.

97. *Lámpara de Girard*. Debemos advertir, antes de pasar á la esplicacion de este aparato, que en la fuente de Heron disminuye el chorro progresivamente y que Girard ha conseguido hacer constante su altura.

La Fig. 77 representa el aparato. El depósito de aceite A está colocado sobre otros dos receptáculos B y C llenos de agua hasta cierta altura. La columna líquida del vaso intermedio, en virtud de la cual se verifica el movimiento, tiene una altura invariable durante todo el tiempo que la lámpara funciona, pues que esta columna comunica con el aire exterior por medio de un tubo *ab*, y nosotros sabemos (n.º 64 tom. 4.º) que debe cortarse la altura desde el punto *a*. El tubo *cd* que conduce el agua desde el depósito B al C, penetra por su parte interior en un cilindro *mn* cuyos bordes están siempre á una altura á que jamas llega el nivel del receptáculo C. Resulta de aquí que el agua sobrante rebosa por esos bordes, y que la altura que determina el movimiento es igual y constante á *ad*. Para hacer independiente de la altura del nivel en la vasija A, la ascension del aceite, se encorva el tubo *hik*, que conduce el aire del depósito C al A, de tal modo que el extremo K se halle al nivel del extremo inferior *l* del tubo *lp* por el cual debe subir el aceite. Esto demuestra que la elasticidad del aire en el receptáculo A es mas debil que en el receptáculo C, y que el exceso puede representarse por  $Ki$ ; por consiguiente el aceite subirá á una altura igual  $op = ad \times \frac{d}{d'} - Ki$ , siendo *d* la densidad del agua y *d'* la del aceite. Mas como *Ki* es igual á *lo*, altura del nivel del vaso A sobre el extremo del tubo *ep*, es evidente que el aceite permanecerá, en este tubo, á una altura, contada desde *l*,

igual á  $ad\frac{d}{d'}$ . Generalmente se arregla de modo que la mecha esté colocada en el extremo superior del tubo *pl*. Con la cual hemos concluido la esplicacion de la lámpara de Girard, debiendo advertir finalmente que sus dimensiones son proporcionadas al tiempo que la lámpara debe funcionar.

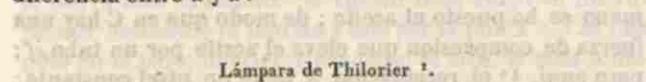


98. La lámpara de disolución salina difiere totalmente de la anterior. La disolución salina, en esta lámpara, equilibra la columna de aceite. Sea A un receptáculo (Fig. 78) cerrado y lleno en parte de una disolución de este género; y B un depósito de aceite, y en fin *ef* el tubo para la mecha. Para hacer constante la altura del líquido encima del receptáculo B, se adapta al depósito A un tubo abierto por sus dos extremos de los cuales el superior está en la atmósfera. Es decir que la columna que determina el movimiento es igual á *ag*. Hacemos abstracción de la variación de nivel de la disolución salina en el recipiente B, porque este último es muy ancho. Aunque puede calcularse la disminución de la altura de la columna de aceite. Sea, en efecto *h*, la elevación de nivel de la disolución salina en la vasija B; llamemos *d* á su densidad y *d'* á la del aceite,

y en ese caso tendremos  $h\frac{d}{d'}$  igual á la altura del aceite correspondiente á *h*; mas como el aceite ha subido *h* en el depósito B, resulta que el descenso efectivo del extremo de la columna de aceite, no es mas que

$$h\frac{d}{d'} - h \text{ ó } h\left(\frac{d-d'}{d'}\right)$$

cuyo valor será tanto mas pequeño cuanto menor sea la diferencia entre *d* y *d'*.



99. La teoría del vaso de Mariotte (tomo I), sirve para arreglar la altura del aceite en la lámpara hidrostática de Thilorier. La parte sombreada de la Fig. 79 contiene una disolución muy concentrada de sulfato de zinc. La parte punteada está llena de aceite. La presión en B depende únicamente de la distancia al nivel, que se halla siempre en A y en cuya posición permanece mientras hay líquido en el depósito anular; y como la presión es uniforme sobre todos los puntos de la capa horizontal BC, resulta que la columna CD es en realidad la que equilibra á AB; mas como las alturas de entrambas están en una relación determinada que depende de sus densidades, es evidente que si AB no varía, CD tampoco se alterará. Para restablecer el equilibrio, á medida que el aceite se quema en D, está dispuesto el aparato de manera que un volumen de disolución igual al consumido baja y se vierte en F. Sirve la caja BF para que permanezca invariable la verdadera superficie de separación de los líquidos, desde la cual se parte para contar las alturas. Si se eleva el tubo A, se derrama el aceite por el tubo D con mucha uniformidad.



100. « La parte principal de este aparato es una fuente de Heron. El aceite (Fig. 80.) desciende desde el receptá-

\* *Éléments de Physique*, par M. Person, t. I, p. 222. — N. del T.

culo A, por el tubo *ab*, al depósito B, de donde desaloja el aire que se condensa en la vasija C en el que de antemano se ha puesto el aceite; de modo que en C hay una fuerza de compresion que eleva el aceite por un tubo *ef*; pero aquí, 1° el receptáculo A tiene un nivel constante; 2° la columna invariable, en su longitud *ab* condensa el aire en B, porque ese fluido ejerce su presion en *b*, en el borde de la caja por donde se derrama el aceite; 3° ese mismo aire es el que sube al punto *o*, en el que la presion puede sostener una columna de aceite igual á *ab*; en el punto *c*, que pertenece á la misma capa, es idéntica la presion; de manera que la columna que puede ser sostenida es igual á *ab*. Si ahora suponemos que se detiene en el tubo en el punto *f'* el desagüe será constante.

« El aceite, que llega en exceso á la mecha con objeto de dar mayor intension á la llama, se vuelve al receptáculo A, en el cual desciende un tubo como en el vaso de Mariotte. Para llenar ese depósito, se cierra el orificio del tubo *ab* (Fig. 84) y se vierte el aceite en A, que desalojando al aire que aquel contenia le hace salir por el orificio *n* del tubo *mn*. Funciona la lámpara hasta que el receptáculo C está completamente vacío, y se le llena de nuevo volviendo el aparato y teniendo cuidado de cerrar el orificio *a*; pasa entonces el aceite que se habia aglomerado B, á C, y el aire de este último pasa por el tubo *ef*.

Fuente de circulacion.

401. « En los almacenes de barómetros se ven muchas veces ciertos aparatos en los que un líquido colorado mezclado con burbujas de aire, circula horas enteras al traves de tubos doblados y replegados de mil maneras. La Fig. 82 representa una de esas fuentes de circulacion. Para hacerlas marchar se vierte el líquido por un orificio *b* y se

le cierra acto continuo. Se vuelve boca abajo el instrumento, desciende el líquido y sale por la punta *c*. Cae una gota en la parte inferior y condensa el aire, la gota inmediata sube empujada por este aire y así sucesivamente; de manera que cuando la puerta está bien colocada se ve alternativamente subir una gota de líquido y una burbuja de aire. La presion que se ejerce desde el nivel *a* puede sostener una columna de la misma altura; y una columna mas alta pero mas ligera, pues que consta en parte de aire, puede ser empujada y aun conducida al depósito *a*. De este modo se mantiene mucho mas tiempo la circulacion; pero al fin todo el líquido pasa á la bola inferior y es necesario volver el instrumento para que marche de nuevo. Nos parece preferible poner otra punta en *a*.

Lámpara de gas hidrógeno.

402. « Esta lámpara, inventada por Gay-Lussac, está representada en la Fig. 85. Tiene un recipiente para condensar el gas, y abriendo una llave que le mantiene cerrado sale con violencia y se inflama, bien sea por medio de la chispa eléctrica ó ya atravesando con un pedazo de platina porosa ó *esponja* de platina<sup>1</sup>. El frasco inferior está lleno de una mezcla de agua y ácido sulfúrico, y de uno de sus golletes está suspendido un trozo Z de zinc. Descomponiéndose el agua en presencia del ácido y del zinc, se desprende el gas hidrógeno y comprimiendo á la mezcla de ácido y de agua la hace subir al globo B que tiene

<sup>1</sup> Prepárase la *esponja* de platina disolviendo el metal en agua regia (ácido cloro-hídrico ó muriático + ácido nítrico), y precipitándole en seguida con el hidro-clorato de amoníaco, y calcinando el precipitado. En ese estado, tiene la propiedad de calentarse y enrojarse cuando le atraviesa una corriente de gas hidrógeno, que por consiguiente inflama. — N. del T.

una abertura en *m*. Entonces el gas está suficientemente comprimido, en virtud de la columna AB, y no hay mas que abrir la llave para tener un chorro bastante uniforme. El aparato con la esponja de platina es preferible á todos los otros, y nunca falla su efecto si se tiene cuidado de emplearle con frecuencia. Para ponerle en estado de servir no hay mas que enrojecer la esponja con un chorro del mismo gas pero inflamado de un modo diferente. » (Person).

No trataremos ni de los grandes fueles ó máquinas de viento para las fundiciones, ni de algunos otros aparatos fundados en la elasticidad y demas propiedades del aire, por ser demasiado complicados, y el objeto, mas bien de ciertas ciencias de aplicacion que de las obras elementales de fisica.



## MAQUINAS DE VAPOR.

405. Son tan generales é interesantes las aplicaciones de estas máquinas desde hace un corto número de años, que aun su historia merece un lugar preferente en las obras elementales.

Depende el juego de estas máquinas de la fuerza elástica que desarrolla el vapor de agua por medio del calor.

La fuerza motriz del vapor reemplaza generalmente con una superioridad incontestable la fuerza del hombre, de los animales, del agua y del viento, y de su uso ha resultado una revolucion en todos los ramos de la industria.

Las antiguas máquinas eran de simple efecto, es decir, que el vapor no obraba en ellas mas que sobre una de las caras del émbolo. Casi todas, en el dia, son de doble efecto, ó el vapor obra sobre ambas caras del émbolo. Se distinguen en máquinas de *baja, media y alta presion*. La elasticidad del vapor en las primeras se halla comprendida entre una y dos atmósferas, en las segundas entre dos y tres, y es siempre superior á tres en las de alta presion. Las máquinas de baja ó media presion son de *condensacion*, es decir, que se condensa por medio del agua fria el vapor á la salida de los cilindros, al paso que las de

una abertura en *m*. Entonces el gas está suficientemente comprimido, en virtud de la columna AB, y no hay mas que abrir la llave para tener un chorro bastante uniforme. El aparato con la esponja de platina es preferible á todos los otros, y nunca falla su efecto si se tiene cuidado de emplearle con frecuencia. Para ponerle en estado de servir no hay mas que enrojecer la esponja con un chorro del mismo gas pero inflamado de un modo diferente. » (Person).

No trataremos ni de los grandes fuelles ó máquinas de viento para las fundiciones, ni de algunos otros aparatos fundados en la elasticidad y demas propiedades del aire, por ser demasiado complicados, y el objeto, mas bien de ciertas ciencias de aplicacion que de las obras elementales de fisica.



## MAQUINAS DE VAPOR.

405. Son tan generales é interesantes las aplicaciones de estas máquinas desde hace un corto número de años, que aun su historia merece un lugar preferente en las obras elementales.

Depende el juego de estas máquinas de la fuerza elástica que desarrolla el vapor de agua por medio del calor.

La fuerza motriz del vapor reemplaza generalmente con una superioridad incontestable la fuerza del hombre, de los animales, del agua y del viento, y de su uso ha resultado una revolucion en todos los ramos de la industria.

Las antiguas máquinas eran de simple efecto, es decir, que el vapor no obraba en ellas mas que sobre una de las caras del émbolo. Casi todas, en el dia, son de doble efecto, ó el vapor obra sobre ambas caras del émbolo. Se distinguen en máquinas de *baja, media y alta presion*. La elasticidad del vapor en las primeras se halla comprendida entre una y dos atmósferas, en las segundas entre dos y tres, y es siempre superior á tres en las de alta presion. Las máquinas de baja ó media presion son de *condensacion*, es decir, que se condensa por medio del agua fria el vapor á la salida de los cilindros, al paso que las de

alta presión son muchas veces sin condensación; el vapor pasa entonces á la atmósfera despues de haber producido su efecto sobre el émbolo.

Por último hay máquinas de media ó alta presión con expansión, y son aquellas en que se aprovecha la expansión ó dispersión del vapor; estas máquinas tienen uno ó dos cilindros. Verifícase la expansión en las primeras durante una parte de la carrera del émbolo, y en las segundas la misma operación se ejecuta en el cilindro mayor destinado únicamente á ese objeto sin que se interrumpa la comunicación con la caldera, como sucede siempre en el primer caso.

Nos limitaremos á hablar de tres de las principales máquinas que se conocen: 1.º la de Watt; 2.º la de Woolf; 5.º de Trevithick. Sin embargo, con el objeto de dar á conocer el punto de partida y la marcha seguida hasta llegar á las máquinas actuales, daremos primeramente una sucinta descripción de la de Newcomen, y creemos que con lo que vamos á decir se hallará el lector en el caso de comprender todas las demas.

Máquina de Newcomen ó de Cowley (de simple efecto).

104. Supongamos, para dar desde luego idea del modo de servirse del vapor como fuerza motriz, que queremos poner en movimiento el émbolo de una de las bombas descritas en los párrafos anteriores. Sea P ese émbolo que tratamos de hacer subir y bajar en el cuerpo de bomba AB (Fig. 84). Para esto se ata el vástago del émbolo á una cadena que se pliega sobre una palanca curva CDC'D' que se mueve sobre el punto O. Si en el otro extremo de esa palanca se hace otro tanto, no habrá mas que tirar de la cadena para que el émbolo P se eleve. Supongamos ahora que el P' sea bastante pesado para que abandonado á sí mismo

llegue al fondo de su cuerpo de bomba; no hay mas que tirar de la cadena C'D' y se le hará subir de nuevo y así sucesivamente.

Pero como se trata de que suba y baje en virtud de la fuerza del vapor, se coloca una caldera debajo del cuerpo de bomba A'B'. La temperatura del vapor puede ser mayor ó menor de 400° y para introducirle se pone una llave R en el conducto que va desde la caldera al cuerpo de bomba, dejando salir el aire que está debajo del émbolo por un tubito lateral th, que se abre de adentro á fuera. Supongamos que aquel, el émbolo, ha llegado al punto mas bajo de su carrera; debajo de él solo hay una corta cantidad de aire; y si en tal estado se abre la llave R se precipita el vapor en el cuerpo de bomba, le desaloja y él se va tambien en parte por el conducto th, y el resto en virtud de su resorte levanta el émbolo P', descendiendo P al mismo tiempo, á cuya operación ayuda el contrapeso W. Cuando el P' llega al punto mas alto de su carrera, cierra el obrero la llave R introduciendo al mismo tiempo por el conducto lateral vu, una corriente de agua fria que condensa el vapor; el agua que resulta de esta condensación y la que procede de la inyección corren juntas por el conducto cz, y como ya no hay aire debajo del cuerpo de bomba, el vacío es casi completo. La presión atmosférica, que constantemente obra sobre la cara superior del émbolo P' le obliga á descender, elevando al mismo tiempo al émbolo P. Corre por K el agua del pozo y sirve el conducto K' para mantener lleno el depósito A.

El vapor solo sirve en realidad para hacer el vacío debajo del émbolo P', pues que si este desciende, arrastrando en su movimiento al P, es solo en virtud de la presión de la atmósfera, por cuya razón se ha dado á estas máquinas el nombre de *atmosféricas*.

El agua tiene siempre, cuando menos, 400° de temperatura en el momento en que el vapor se precipita debajo

del émbolo, y tanto su temperatura como su elasticidad aumentan cuando la llave está cerrada. Para evitar las explosiones se coloca una válvula H en la parte superior de la caldera, y sujetándola á una palanca se coloca en la otra un peso conocido y determinado. Interin la fuerza elástica del vapor es igual ó inferior á la presión de la atmósfera, permanece cerrada la válvula; pero si dicha fuerza elástica es igual á la presión de la atmósfera y le resta todavía la fuerza suficiente para vencer el peso de la válvula, la abre, el vapor se escapa y ya no es temible la explosión. Mas como suele suceder que por causas imprevistas no se abre á tiempo oportuno, es mas que prudente hacer bien sólidas las calderas.

405. En esta máquina hay defectos é inconvenientes de gran consideracion. Se pierde parte de la fuerza del vapor porque al inyectar el agua se enfrían el émbolo y el cilindro, y cuando penetra el vapor se condensa y de consiguiente disminuye su resorte. El segundo es que necesita de un obrero para abrir y cerrar la llave, etc., pues que en una buena máquina la accion del motor debe por sí sola, y sin ayuda de otro agente, poner en movimiento todas las piezas del ingenio. En el dia sin embargo se abren y cierran por sí mismas las llaves de las máquinas de Newcomen establecidas en ciertas fábricas. Refiérese que un niño encargado de esta manipulacion, discurrió atarlas con unas cuerdas á ciertas piezas de la máquina para que se abriesen y cerrasen sin su presencia, que era mas necesaria en los juegos de sus camaradas.

Esta máquina, aunque imperfecta, es con mucho superior á las que antecedieron y es invencion de Savery perfeccionada por Newcomen y Cowley.

Máquina de Watt (baja presión).

406. Admirado Watt (constructor de instrumentos en Glasgow), de la gran cantidad de vapor que se perdía por la inyección del agua en el cilindro, imaginó ejecutar esa operacion en una vasija separada dándole el nombre de *condensador*. Si el condensador, hallándose vacío de aire está en comunicacion con el cilindro en el momento de la inyección del agua fría, el vapor por completo se precipita en esa vasija, de manera que ya no se trata mas que de mantener el condensador sin agua y sin aire para que esté constantemente vacío, y fácilmente concebirá el lector que esta máquina tendrá una bomba aspirante para llenar esa condicion. La forma que tenia el condensador en este género de máquinas era tan poco á propósito para la completa extracción del aire, que era preciso, para continuar el trabajo, dejar escapar el vapor que desalojaba el aire haciéndole salir por un tubo particular.

En la máquina de Newcomen es indispensable que el aire repose sobre la superficie superior del émbolo, y para impedir que el vapor interior traspasase al exterior, se cubria dicha superficie con una capa de agua que en las ascensiones y descensos del émbolo mojaba y enfriaba continuamente las paredes del cilindro, y en tal estado esa máquina era de *simple efecto*. Watt sin embargo concibió bien pronto la atrevida idea de suprimir del todo la presión de la atmósfera, y de hacer que el émbolo se moviera únicamente en virtud de la sola fuerza del vapor. Valioso para esto de vapor de una elasticidad igual ó un poco mayor que la presión de la atmósfera, y para impedir el acceso del aire cubria el cilindro con una tapadera sólidamente adherida, y en la que, ludiendo, entraba el vástago del émbolo. En la máquina de Watt hay economía de tiempo

y de combustible, pues que cada carrera del piston es eficaz y que no se emplea inútilmente vapor para mantener el émbolo y el cilindro á un grado de calor muy subido. Segun parece se economizan los tres cuartos de vapor que son necesarios para la máquina de Newcommen. Así es que Watt reunió en poco tiempo un gran caudal, procurando á su nacion, que reconocida acaba de levantar su estatua, grandes ventajas sobre todos sus rivales.

La Fig. 85 representa la seccion vertical de una máquina de Watt perfeccionada tal como hoy dia se construye.

El vapor pasa desde la caldera al intervalo ó espacio vacio que queda entre el cilindro AA' y la cubierta CB. Mediante el juego de una válvula de tirador (véase mas adelante) se coloca alternativamente encima y debajo del émbolo P, cuyo vástago T camina siempre verticalmente en virtud del paralelógramo LK, que en maquinaria se llama el paralelógramo de Watt. Trasmítese el movimiento al balancin IH y de este, por medio de un barra MN de coyunturas en sus extremos, pasa á un arbol horizontal R, cuya marcha se regula con un gran volante, de suerte que el movimiento rectilineo se trasforma en movimiento de rotacion. El regulador está en J (véase mas adelante *Regulador*.)

Para hacer subir y bajar el tirador E se pone una escéntrica en el eje del volante, fijando el anillo ó argolla en que se mueve á un triángulo *zuc*, cuyo vértice está sujeto á una palanca de codo *sqr*, en la que *q* representa el eje al rededor del que gira. Avanzando y retirándose el extremo *u* del triángulo *zuc* en virtud de los movimientos de la escéntrica imprime á la palanca un movimiento de vaiven.

El extremo *r* de esa palanca hace subir y bajar el vástago E, y con la misma palanca se abre y cierra la válvula del condensador, y siempre que el vapor se precipita en

el condensador O penetra una cierta cantidad de agua fria. La bomba de aire *t'p'* saca el agua del condensador y la lleva á un depósito *aa'*, de donde por medio de la bomba alimenticia *tp*, pasa una parte á la caldera y sale el resto fuera de la máquina. En *fff* hay una chapita agujereada por donde sale el aire que puede haber en el condensador. K es el depósito que está lleno de agua fria que se alimenta del agua que saca la bomba *t'p'* que comunica con un pozo ó manantial de agua fria. En fin por medio de ciertas aberturas practicadas á las alturas convenientes se consigue que los receptáculos *aa'* y *bb'* se llenen completamente de liquido.

Máquina de Woolf (de presion media y con expansion).

107. La invencion de las máquinas de dos cilindros data de 1781, en cuya época Hornlower obtuvo un privilegio de invencion por una máquina de ese género que funcionaba con la presion de una atmósfera. Woolf ha construido despues máquinas análogas, pero de dos á tres atmósferas<sup>1</sup>.

En esta clase de máquinas tiene el vapor de la caldera una temperatura superior á 400°, y los dos cilindros la misma altura con bases proporcionales á la expansion que se quiere dar al vapor. Es decir que si la fuerza elástica del vapor en la caldera y en el cilindro menor es de tres atmósferas, la base del mayor será tres veces mas grande que la del menor, si se quiere lograr una expansion de cerca de una atmósfera, pero es mas ventajoso que llegue la expansion á media atmósfera. Cuando la temperatura en el condensador es 40° se pierden 0,07 de atmósfera en la presion, á pesar de la expansion. ¿Hasta qué punto

<sup>1</sup> Los señores Stal y Aitkin, que han modificado el sistema de Wolf, proponen tres en vez de dos cilindros.

puede disminuirse esa pérdida aumentando la expansión del vapor? Esta cuestión solo puede resolverse prácticamente.

Los émbolos están en este género de máquinas sujetos al mismo balancín, de manera que suben y bajan al mismo tiempo. Entra el vapor primeramente en el cilindro menor, y desde su parte superior pasa á la inferior del cilindro mayor; por la inversa de la inferior del menor va á colocarse en la superior del mayor, según representa la Fig. 86, y no se precipita el vapor en el condensador, sino después de haber funcionado en los dos cilindros. Para que ambos conserven en lo posible una temperatura constante, ha discurrido Woolf cubrirlos con otro tercer cilindro de hierro colado, y los dos tubos que vienen de la caldera comunican el uno con la parte superior de la cubierta y el otro con la inferior, y de aquí pasa el vapor al cilindro mas pequeño. Hubo quien creyó muy conveniente calentar el cilindro evolvente con un hogar particular, pero después se ha abandonado ese proyecto.

108. Han experimentado infinitas modificaciones las máquinas de dos cilindros, pero nosotros hablaremos solamente de la máquina que Edwards ha introducido en Francia. Está representada de frente en la Fig. 87.

AA chapa de hierro colado en que descansa la máquina.

BB el nivel del suelo. Con el objeto de hacer visibles todas las partes de la máquina se suponen quitados todos los tabiques de fábrica contruidos en AA y en BB.

CC es el balancín, formado de una sola pieza de hierro colado y sostenido en una pieza *aa*, cuya forma varia según la fuerza de la máquina y las localidades.

DD es volante de la misma materia que la pieza anterior y compuesto de seis segmentos unidos con unos pernos.

E, tubo que conduce el vapor de la caldera á la cubierta de los cilindros.

FF, barra de hierro que trasmite el movimiento del balancín al manubrio del volante.

HH paralelogramo del vástago del émbolo.

I condensador, colocado en el fondo del cilindro de la bomba de aire.

KL, tubo que conduce el vapor del cilindro mayor al condensador.

M, pequeña bomba alimenticia, que saca una porción del agua del condensador y la conduce á la caldera. El exceso del agua de condensación es espelido, por la bomba de aire, fuera de la máquina, y puede utilizarse para baños, etc. La llave *r* sirve para arreglar la cantidad de agua caliente que debe entrar en la caldera, á donde pasa por el conducto *qr*.

P, regulador de fuerza centrifuga.

QR, palanca que va desde el regulador á la varilla de la llave por donde se introduce el vapor.

Hay otra llave por medio de la cual se arregla la cantidad de agua que debe pasar del depósito del agua al condensador.

Hace algunos años que Edwards ha introducido varias mejoras en las piezas de estas máquinas, pero es imposible darlas á conocer en una obra elemental.

#### Máquinas de alta presión.

109. Hay máquinas de alta presión en las que la elasticidad del vapor suele ser de 8 y aun 40 atmósferas. Su carácter principal es obrar sin condensación del vapor. Olivier, Evans y Trevithick han establecido un gran número de ellas en América, y se emplean en la actualidad con grande éxito en las minas del Perú. Sin embargo son

aun mucho mas ventajosas para las máquinas locomotrices ó carros de vapor; las calderas de estas máquinas deben ser muy sólidas; mas como el vapor pasa á la atmósfera á una temperatura muy elevada, es considerabilísima la pérdida de fuerza, la cual podria disminuirse haciéndolas de expansion.

Ordinariamente no se emplean máquinas de mas de tres á cuatro atmósferas las que no tienen condensador, en atencion á que las presiones mas elevadas exigen muchas reparaciones, originan una gran pérdida de vapor y son sobre todo mucho mas peligrosas.

110. Despues de haber dado á conocer las máquinas de vapor mas importantes, creemos muy util entrar en ciertos pormenores de las partes mas principales que las componen.

111. *Regulador.* Esta pieza, una de las mas necesarias en toda máquina de vapor, está representada en la Fig. 88 y sirve para regular la entrada del vapor.

El émbolo principal comunica al vástago *ab* un movimiento de rotacion, y la brida *cd*, sujeta al mismo vástago *ab*, y agujereada en *c* y en *d*, recibe las palancas *lp* y *qh*; en la corona *mn* hay un cilindro hueco que puede subir y bajar levantando ó bajando la palanca *rv* á que está sujeta la llave de introduccion. Si el movimiento de la máquina es muy rápido, gira tambien con mucha celeridad el eje de rotacion *b*; las bolas *h* y *p* se separan una de otra en virtud de la fuerza centrifuga, descendiendo al mismo tiempo la corona *mn*, y entonces la llave se vuelve de modo que deja entrar menos vapor. Cuando la velocidad del mismo eje se retarda produce un efecto totalmente contrario.

112. *Émbolo.* El que se usa mas comunmente está representado en la Fig. 89. Compónese de dos chapas *mn* y *eq* unidas entre sí por medio de un tornillo; de varias estopas ó pelotones de cáñamo impregnado de sebo que ocupan el espacio *AB*, y á medida que este se desgasta

por el roce, se aproximan las chapas una á otra. Es muy ventajoso para las máquinas de baja presion; pero en las de alta presion es necesario emplear émbolos metálicos, porque el cáñamo se inutiliza en poco tiempo.

La Fig. 90 representa la seccion de uno de los mejores émbolos metálicos que se conocen, consta de seis piezas de cobre; las tres *A*, *B* y *C*, tienen la forma de segmentos de círculo, y entre ellas se ven, en la figura, las tres cunas *a*, *b* y *c*; parten del centro varios resortes que ajustan perfectamente las cañas y los segmentos contra el cuerpo de bomba, y á medida que estos, los segmentos, se desgastan, avanzan las cañas impelidas por los resortes, y de este modo el émbolo permanece siempre cilindrico; y dispuestos así, pueden servir muchos años sin la menor reparacion.

Es condicion indispensable, para que las máquinas no se destruyan inmediatamente, que el movimiento del émbolo sea rectilíneo. Llénase de varios modos esta condicion.

En las máquinas antiguas se adaptaba al émbolo una cadena de Waucanson, que se plegaba á uno de los extremos del balancin como se vé en la máquina de Newcomen representada en la Fig. 84. Pero así que empezaron á usarse las máquinas de doble efecto, en las que el vástago del émbolo sube y baja con la misma impulsión, fué necesario buscar otro medio. Las Fig. 85 y 87 representan el paralelógramo que se emplea en el dia para conseguir ese objeto.

Quando las máquinas no son muy considerables no hay inconveniente en servirse del mecanismo representado en la Fig. 91. Redúcese á una barra sujeta al extremo del balancin con dos discos, uno á cada lado, que se apoyan en los largueros *AA* y mantienen vertical al vástago del émbolo.

Válvulas para dar paso al vapor.

445. Consultando la Fig. 92. Podrá concebirse el juego de las válvulas, por medio de las cuales pasa el vapor de la caldera al cilindro y de este al condensador.

A tubo que conduce el vapor de la caldera á la parte inferior del émbolo. BC conducto para pasar al condensador D, *mn* y *pq* dos cajas divididas, cada una en tres compartimentos y en las cuales se ven las válvulas *a, b, c, f*, que se abren hácia arriba; cada una de esas cajas comunica con el fondo y la parte superior del cilindro. En el compartimento del centro de cada caja, hay una comunicacion en K y en *e* que corresponde á la parte mas alta y mas baja del cilindro. Llega el vapor por el tubo A á la cámara superior de la caja *mn*, y por el tubo E pasa á la cámara superior de la caja inferior.

Cuando la válvula *a* está abierta, la parte inferior del cilindro comunica con el condensador D por medio de la abertura *e* y el tubo BC, y hallándose abierta al mismo tiempo la válvula *b*, el vapor, desde el centro de la caja mas alta, pasa á colocarse sobre el émbolo pasando por K. Si por la inversa, las válvulas *a* y *b* estan cerradas, y abiertas las *f* y *c*, el vapor de la caldera llega debajo del émbolo por la abertura *e*, de manera que mientras el vapor de la parte superior del cilindro comunica con la caldera, la parte inferior está en comunicacion con el condensador.

Se han inventado otras válvulas, de las cuales solo citaremos las de *corredera* ó *tirador*, por ser las que mas tiempo duran. El rozamiento que experimentan al moverse, lejos de ser perjudicial, las hace mas á propósito para llevar su objeto, y por esto y la razon anterior, se construyen con ellas todas las máquinas modernas. La

Fig. 95 nos servirá para dar la competente explicacion.

Llega el vapor por el tubo T á la caja ABCD, en que se halla contenida otra semejante, aunque mas pequeña EF, que rozándose, resbala contra la parte AID, por medio del vástago vertical HK, el cual atrayese en K una caja impermeable al vapor. De la caja ABCD salen tres conductos PS, P'S' y RV. Comunica el primero con la parte superior del cilindro; con la parte inferior el segundo, y el tercero con el condensador.

Pasa el vapor de la caldera á la parte mas alta del émbolo por medio del tubo P'S, y por los VR y P'S' se va, el que está debajo, al condensador. Cuando suba la caja EF, pasará el vapor de la caldera por P'S' á colocarse encima del piston, etc.

Válvulas de seguridad.

444. Una válvula de seguridad, cuya invencion se atribuye á Papin, se reduce á una chapa metálica que se aplica sobre la abertura de un gollete ajustada á la caldera del vapor, segun representa la Fig. 94. Su objeto es dar salida al vapor cuando adquiere una elasticidad superior á la necesaria para que la máquina funcione. Si el peso que la mantiene cerrada estuviese aplicado sobre la misma placa seria necesario 4 kilogramo por centímetro cuadrado, pero como generalmente se le coloca al extremo de una palanca *cdf*, se puede, con menos peso, producir el mismo efecto. Las calderas tienen diferente espesor, segun la presion de la máquina; es decir que es mucha mayor en las de alta que en las de baja presion. Los obreros algunas veces cargan imprudentemente las válvulas, y el gobierno francés, fundándose en un informe presentado por la academia de ciencias, ha acordado que en cada

caldera haya dos válvulas de seguridad, de las cuales una esté bajo llave; y temiendo además que esas válvulas, privadas largo tiempo de movimiento por la falta de uso, no se abriesen en momento oportuno para impedir la explosión, ha ordenado también que en cada caldera haya dos placas de aleación metálica, y de tal naturaleza que la temperatura del vapor, antes de la explosión pueda fundirlas y escaparse por el boquete que antes cerraban, bien entendido que la temperatura ordinaria del vapor de la máquina no debe fundirlas, porque entonces abría dos boquetes perpetuos, y el vapor perdería su elasticidad. Generalmente una de ellas es fundible á 40°, y la otra á 20° sobre la temperatura ordinaria del vapor en la máquina. El bismuto, el estaño y el plomo, forman, aliándolos, combinaciones fusibles las unas á 100°, las otras á 140°, etc., según sus diferentes proporciones, y con esos metales se forman las placas de que acabamos de hablar, y para evitar que no ceda mucho antes de la temperatura de su fundición, se la cubre con una red metálica de menuda malla.

Tienen un inconveniente las placas, y es que es necesario construirlas de nuevo, cuando una vez se funden para dar paso al vapor. Algunos han propuesto placas metálicas que cederían á una presión determinada.

Se ha observado que la válvula de seguridad cede siempre antes que el manómetro haya llegado al grado de presión correspondiente al peso que soporta la placa de la válvula.

Y para evitar esto propone M. Garnier que se disminuya el borde que reposa sobre la abertura de la caldera.

Parécenos que la válvula mas segura de todas sería adaptar á la caldera un tubo lleno de mercurio, semejante á los que se emplean en los aparatos de química (Fig. 95). Edwards ha hecho ensayos sobre este objeto.

Por último creemos aun mas fácil sumergir en un baño

de mercurio un tubo curvo de la forma representada en la Fig. 96.

La capacidad de ese tubo AB, debe ser suficiente para contener bastante mercurio en el caso de absorción, y no nos parece difícil hallar un sitio conveniente para colocarle al lado de la caldera, teniendo la ventaja de ser aplicable á las máquinas de 5 á 4 atmósferas de presión, ó en una palabra á todas las máquinas que hoy día se usan.

#### Válvulas interiores.

445. Abrense de afuera hácia adentro; estan colocadas en la caldera, y sirven para impedir que se forme vacío en su interior por la condensación repentina del vapor, y son por consiguiente necesarias, para que en tales casos no se aplasten las calderas cediendo á la presión de la atmósfera.

#### Calderas.

446. Constrúyense de cobre en unos casos, de palastro algunas veces y las mas de hierro colado.

Las de las antiguas máquinas son esféricas al exterior y planas por la parte en contacto con el hogar; pero de algunos años á esta parte han sufrido una porción de reformas.

En las de media y alta presión, consiste en dos tubos de hierro colado cilíndricos que se llaman los *hervideros*, y que colocados el uno junto al otro estan debajo y en comunicación por medio de unos conductos, con otro cilindro de mayor diámetro, según se ve en la Fig. 97. En la parte superior de este cilindro, ó depósito del vapor, hay

una abertura *m* por la que penetra un obrero en el interior para examinar si hay ó no necesidad de composicion, limpiar las paredes, etc. Y ademas, para colocar las válvulas, las placas fusibles, introducir el agua caliente y dar salida al vapor, se practican otra porcion de aberturas.

Estas calderas se usan mucho en la actualidad, porque en ellas se aprovecha muy bien la llama que despues de haber calentado los hervideros, pasa al rededor del cilindro mayor.

En algunas otras máquinas se han puesto en vez de dos, varios hervideros, y es muy conveniente, en las de alta presion, que los tubos sean estrechos, porque su resistencia está en razon inversa de sus diámetros.

Hay tambien calderas formadas con dos cilindros concéntricos en los que la llama pasa por el eje comun de entrambos, y por esta razon se las llama de *hogar interior*.

La Fig. 98 representa la caldera, con todos sus accesorios, de una máquina de baja presion; suelen llamarse *calderas de cofre*.

Manómetro.

447. El manómetro de las máquinas de vapor es un tubo de Mariotte aplicado á una de sus paredes y comunicando con el interior, segun se ve en la Fig. 99. Al cabo de cierto tiempo se ensucia é inutiliza, y tiene ademas el inconveniente de no dar con exactitud la presion interior de la caldera, porque siendo diferentes entre si las presiones interior y exterior, cede y aumenta su capacidad. Parécenos mas á propósito poner en su lugar un tubo (Fig. 400) para las máquinas de media y baja presion, y en ese caso la altura de la columna de mercurio en el tubo

abierto, mas la del barómetro al exterior, representarían exactamente la presion interior de la caldera. ¿No seria conveniente servirse, en las máquinas locomotrices de alta presion, de una probeta (Fig. 401) en la cual estando, el tubo graduado, comprimido igualmente por dentro y por fuera, indicase exactamente la elasticidad?

Volante.

448. Fitz Gerard ha empleado, por primera vez, el volante para regular el movimiento de las máquinas de vapor, sin cuyo auxilio no podrian servir mas que para sacar agua de un pozo, piedras de una cantera, etc.

Esta pieza lejos de aumentar la fuerza ó potencia de las máquinas, la disminuye cierta cantidad que depende del rozamiento de su eje y de la resistencia que el aire le opone cuando se mueve; sin embargo es indispensable para regular la velocidad del arbol principal.

La letra M de la Fig. 85 representa el volante que mas se usa en la actualidad, y en algunas máquinas se sustituye con el de la Fig. 402.

¿Que dimensiones deben darse al volante segun las diferentes clases de máquinas á que se aplican? Cuestion es esta que sale fuera del plan que nos hemos trazado (Consultense las adiciones de Navier á la obra de Belidor, en las que podrá el lector recoger los datos que crea necesarios.)

Ventajas comparativas de las diversas máquinas de vapor.

449. Recordaremos al lector, que las máquinas de vapor son de tres especies, esto es, de baja, de media y de alta presion.

Comparando el consumo de combustible y los gastos de conservacion de las máquinas, con la utilidad que producen, se está ya en camino para poder dar la preferencia á unas ó á otras. Sabido es que en las de alta presion con condensador es mucho menor el consumo de combustible, aunque mayores los gastos de conservacion, que en las máquinas de baja presion. La razon entre estos elementos depende siempre de las localidades.

En las minas profundas, como en las de Cornuailles, por ejemplo, las máquinas tienen un solo cilindro, el vapor obra por expansion, y son de simple efecto, puesto que el vapor ejerce solo su accion en la parte superior del émbolo durante un cierto tiempo de su descenso. Cuando sube, la parte superior é inferior se comunican entre si, pero ninguna de ellas está en comunicacion ni con el condensador ni con la caldera, y si el émbolo sube es solo en virtud del peso del agua de las bombas de la mina.

120. Todas las máquinas de vapor necesitan cantidades de agua mas ó menos considerables, y tanto mas cuanto son mas poderosas; en todos casos es bastante considerable para no poderla trasportar como se hace con el combustible. Por consiguiente habrá circunstancias en que no podrán emplearse en los sitios en que mas convenientes serian, principalmente para las explotaciones que exigen siempre máquinas de mucha potencia.

M. Madalein, capitan de artilleria, hace servir de nuevo el agua de condensacion enfriándola convenientemente, y de este modo abastece una máquina de 6 caballos con  $\frac{1}{10}$  solamente de la cantidad de agua necesaria en circunstancias ordinarias. Segun M. Madalein un décimo representa un límite á que no se llegaría con máquinas mas poderosas. Las personas que deseen adquirir mas pormenores, acudan al *Bulletin de la société d'Encouragement*, del mes de junio de 1827.

120ª. Se compara en el dia la fuerza de una máquina de vapor á la de un caballo, que no es la misma en todos los paises. M. Navier, combinando una porcion de resultados, dignos todos de la mayor confianza, cree que puede representarse la fuerza mecánica de un caballo marchando al paso en un picadero y trabajando 8 horas al dia, por  $40\frac{1}{2}$  kilógramas, elevadas á un metro de altura en 4 segundo de tiempo. La unidad dinámica, ó la fuerza del caballo de fuego, no es la misma para todos los constructores, unos toman 60; otros 70, 75 y aun 80 kilógramas. De consiguiente una máquina de vapor de 6 caballos podría hacer seis veces ese trabajo. Generalmente no se emplean mas que de 6 á 10 caballos, pero las hay de cincuenta, de ciento y aun mas, pues en Cornuailles se ven algunas que alcanzan á quinientos caballos<sup>1</sup>.

Como la unidad dinámica, ni es legal, ni precisa, por lo que acabamos de decir, seria de desear un método simple y correcto para poder valuar esa potencia, evitándose de ese modo una porcion de contestaciones que con frecuencia se suscitan. He aquí lo que ha propuesto M. Prouy.

Fija en el eje del volante de la máquina de vapor, cuya potencia quiere conocer, un aparato á que llama freno, y que está representado en la Fig. 405. Las partes CF y CF' se equilibran, es decir, que su centro de gravedad pasa por el centro del eje; mas el peso P tiende á hacer girar al freno en sentido contrario del movimiento del volante indicado por la flecha. Se supone que durante el experimento, está el freno perfectamente ajustado al arbol del volante, de manera que mientras dure el movimiento del eje,

<sup>1</sup> El señor D. Joaquin Ezguera, profesor de mecánica aplicada en la Escuela de Ingenieros de minas de Madrid, ha adoptado por caballo de vapor 8 arrobas elevadas á 4 vara de altura en 4 segundo.—N. del T.

esté perfectamente horizontal el brazo CF, condicion facil de llenar con los pernos *bb* y *aa*.

Redúcese entonces la cuestion á determinar el efecto dinámico producido, hasta que el freno vuelve á ponerse horizontal, en virtud del movimiento de la máquina.

Sea *P* el peso colocado en *H*;

*R* la distancia entre el centro de gravedad y el centro del eje; *r* el radio del eje y  $\pi$  la relacion del diámetro á la circunferencia;

*Q* la unidad dinámica, igual á un peso convenido, multiplicada por una altura igualmente convenida, á la cual se supone elevado ese peso durante la unidad de tiempo. *M* el número de unidades de fuerza que representan el efecto dinámico que se trata de determinar.

Por medio de ciertas consideraciones matemáticas, ha obtenido *M. Prouy* la relacion

$$M = \frac{2\pi NPR}{Q},$$

en cuya ecuacion son conocidos los valores  $\pi$ , *P*, *Q* y *R*, siendo *N* igual á *K* ó número de revoluciones en un tiempo dado, dividido por el número de unidades de tiempo, es decir, que tenemos  $\frac{K}{T} = N$ . (Véanse los *Annales des*

*Mines*, t. XII, p. 94; y la p. 465 del tomo XIX de los *Annales de Chimie et de Physique*.)

Cálculo de los efectos dinámicos de las máquinas de vapor.

421. Se ha convenido en tomar por unidad de medida un metro cúbico de agua elevado á un metro de altura.

1° Para las máquinas de condensador, sin expansion, se entabla y ejecuta el cálculo por un método sencillísimo.

Sea *T* la temperatura del vapor de la caldera, *H* la fuerza elástica del vapor á esa temperatura, *t* la temperatura del condensador y *h* la fuerza elástica correspondiente; llamemos *B* á la base del émbolo y *L* por fin la altura del cilindro que recorre; la fuerza que obra sobre el émbolo, se representa por

$$BLH - B/h = BL(H-h) \dots (A)$$

Si *B* y *L* estan espresados en metros y *H* y *h* en alturas de agua, el resultado será un cierto número de metros cúbicos de agua elevados á un metro en la unidad de tiempo.

2° El cálculo para las máquinas de expansion puede hacerse, con el auxilio de los principios elementales. Sean *b* la base del émbolo menor, *l* la altura del cilindro que recorre, *H* la elasticidad del vapor en la caldera y cilindro menor, *H'* la elasticidad en el mayor y *h* la del condensador; despues de la expansion total, tendremos la presion ejercida en el cilindro menor, representada por la espresion

$$bl \left( H - \frac{H+H'}{2} \right).$$

La presion ejercida sobre el cilindro mayor es

$$BL \left( \frac{H+H'}{2} - h \right).$$

y la fuerza total que el vapor comunica á los dos émbolos es

$$bl \left( H - \frac{H+H'}{2} \right) + BL \left( \frac{H+H'}{2} - h \right) \dots (B)$$

Debemos advertir que este cálculo no es mas que aproximado, porque el vapor no tiene exactamente la misma

elasticidad que en la caldera, y los medios aritméticos no son por otra parte muy rigurosos. Por último al entablar el cálculo debe determinarse  $H'$ , admitiendo que el vapor sigue en su expansión la ley de Mariotte, cosa que no se aparta mucho de la verdad cuando las presiones no son muy elevadas; y para llegar á esa determinación no hay mas que entablar la proporción

$$H:H'::BL:bl, \text{ de donde } H' = \frac{Hbl}{BL} \text{ ó } \frac{Hb}{B}.$$

pues que generalmente  $L=l$ . De todos modos basta este pequeño cálculo para dar idea de lo ventajoso que es emplear la expansión del vapor.

Ejemplo.

$$B=24, b=10, T=140^\circ \text{ y } t=35^\circ.$$

Por la tabla del n° 449, tomo I, sabemos que  $H=2^m,58$  y  $h=0^m,040$ . Multiplicando  $H$  y  $h$  por la densidad del mercurio igual á 15,586, se tendrán las alturas de agua correspondientes.

Por medio de estos datos y por las fórmulas (A) y (B) pueden hallarse los efectos dinámicos de una máquina de Watt sin expansión y de una de Woolf con ella.

Máximo efecto que produce la cantidad de vapor formada por la combustión de una kilograma de carbon en una máquina ordinaria.

122.  $H$  presión del vapor en el cilindro. } en alturas de  
 $H'$  presión en el condensador. } agua.

$P$  el peso de un metro cúbico de agua á la misma densidad que la correspondiente á las alturas  $H$  y  $H'$ .  $V$  el volumen del vapor, cuyo efecto se obtiene por la fórmula

$$P.V.H' - PVH, \text{ ó bien } PHV \left(1 - \frac{H'}{H}\right);$$

es decir, la presión ejercida sobre una de las caras del émbolo por el vapor de la caldera, menos la presión ejercida por el vapor del condensador.

$1 - \frac{H'}{H}$  es conocido; solo queda por calcular  $P.H.V$ , en

cuya expresión no hay mas incógnita que  $V$ , que puede fácilmente hallarse según lo que queda dicho acerca de los gases y vapores. Si llamamos  $h$  la presión y  $V$  el volumen del vapor á  $400^\circ$  se tiene, suponiendo que la ley relativa á los gases sea aplicable á los vapores,

$$\frac{H}{h} = \frac{v(1+0,00565t)}{V \times 4,565} \text{ por consiguiente}$$

$$PHV = Phv \frac{(1+0,00565t)}{4,565}.$$

Fáltanos ahora calcular  $V$  ó el volumen del vapor á  $400^\circ$  que se puede formar con una kilograma de carbon tomando el agua á la temperatura del condensador. Una kilograma de carbon puro desprende 7944 grados de calor; y suponiendo que el agua, al entrar en la caldera, está á  $50^\circ$  se halla que una kilograma de carbon volatiliza 15 kil., 07 de agua á  $0^m,76$ , lo que da un volumen de  $15,07 \times 4^{mc}7 \text{ ó } 22^{mc}21$ ; de manera que se tendrá

$$PHV = P.0,76 \times 22^{mc},21 \frac{(1+0,00565t)}{4,565}, \text{ en cuya expresión}$$

todo es conocido, y  $PHV \left(1 - \frac{H'}{H}\right)$  se convierte en

$$\left(1 - \frac{H'}{H}\right) P.0,76.22^{mc},21 \frac{(1+0,00565t)}{4,565}.$$

He ahí la espresion de la potencia mecánica de la cantidad de vapor, que produce una kilógrama de carbon, representado todo en kilógramas y en una máquina sin expansion en la que el agua entra en la caldera á 50° de temperatura. Segun mis esperimentos 7914 representa el número de grados á que se eleva la temperatura de una kilógrama de agua por el calor que produce la combustion de una kilógrama de carbon puro. En la mayor parte de las obras relativas á las máquinas de vapor ese número varia desde 7000 á 7050 grados, que á mi parecer es demasiado pequeño. La hornaguera ó turba, desprende al quemarse aun mas de 7914 grados de calor. Es cierto que ese combustible contiene siempre cerca de  $\frac{1}{29}$  de tierra, pero la gran cantidad de hidrógeno que le acompaña compensa mas que suficientemente los  $\frac{1}{29}$  de materia inerte.

125. Son demasiado complicados los cálculos necesarios para determinar rigurosamente el efecto que puede producir la combustion de una kilógrama de carbon, para tratarlos en una obra elemental, y nos limitaremos únicamente á recomendar, á las personas que desean conocerlos, una memoria que M. Combes ha publicado en el tomo IX de los Anales de Minas.

Máquinas locomotrices. — Barcos de vapor.

124. Papin, en 1695, concibió la idea de aplicar la fuerza del vapor á la navegacion<sup>1</sup>; Jonatas Hull publicó en 1756

<sup>1</sup> Ya que el autor entra en esta cuestion, que, como alguna otra, nos parece agena de un curso elemental de fisica, citaremos, por temor de pasar por demasiado negligentes, una nota que el señor de Navarrete ha publicado, en 1826, en la correspondencia astronómica del baron de Zach, y que le habia sido transmitida por D. Tomas Gonzalez, director del real archivo de Simancas; dice así:

la descripcion de un buque de vapor; construyó Perier un barco de esta especie en el Sena en el año de 1775; sin embargo hasta que el americano Fulton se ocupó en esa

« Blasco de Garay, capitan de navio, propuso, en el año de 1545, al emperador Carlos V, una máquina con la que podian vogar las embarcaciones, aun en calma, sin remos y sin velas.

« A pesar de los obstáculos y contrariedades con que luchó este proyecto, ordenó el emperador que se hiciese el esperimento en el puerto de Barcelona, como efectivamente se verificó el día 17 del mes de junio del dicho año de 1545.

« Aun cuando Garay no quiso hacer público su descubrimiento, notóse sin embargo en el momento de la prueba, que consistia en una gran caldera de agua hirviendo, y ruedas de movimiento colocadas á uno y otro lado de la embarcacion.

« Hizose el ensayo en un navio de 200 toneladas, llamado la Trinidad, que venia desde Colibre á descargar trigo á Barcelona, á las órdenes del capitan Pedro de Scarza.

« Asistieron á este acto, por orden del emperador Carlos V, D. Henrique de Toledo, el gobernador D. Pedro de Cardona, el tesorero Ravago, el intendente de Cataluña, y algunas otras personas.

« Aprobóse, en todas las relaciones que se hicieron al emperador, la excelencia de esta ingeniosa invencion, sobre todo por la facilidad con que el navio viraba.

« Celoso el tesorero Ravago y enemigo declarado del proyecto, dijo que él haria caminar dos leguas en tres horas las embarcaciones; que la máquina era muy complicada y demasiado costosa, y que habia siempre la esposicion de que la caldera reventase. Y los otros testigos, á su vez, aseguraban que el navio viraba con tanta velocidad como las galeras, por el método ordinario, andando una legua por hora, cuando menos.

« Acabado el esperimento, se apoderó Garay de la máquina de que habia armado el navio, y, depositando el maderage en los arsenales de Barcelona, guardó para sí todo lo restante.

« A pesar de la declarada oposicion y perseveradas contradicciones de Ravago, quedó aprobada la invencion de Garay, y si la expedicion que ocupaba entonces el ánimo del emperador no hubiera sido un grande obstáculo para la realizacion, hubiera, sin duda, obtenido la invencion una acogida mas favorable.

« Concedió sin embargo un grado al inventor, hizole presente de

materia, no se conocian buques completamente perfectos.

Navegaron los primeros barcos de vapor en América en 1807; pasaron á Inglaterra en 1812 y en 1816 se consuyeron en Francia.

200.000 maravedises, dió la orden competente á la tesorería para que se le abonasen todos los gastos y adelantos, y acordó por fin otras varias mercedes.

« Resulta, cuanto va referido de los documentos y registros originales que se conservan en los reales archivos de Simancas, entre los pápeles del estado del comercio en Cataluña, y los de las secretarías de guerra, de tierra y de mar, del mismo año 1543.

« TOMAS GONZALEZ.

« Simancas, 27 de agosto 1825. »

Hemos tomado esta nota de una noticia sobre las máquinas de vapor, publicada por M. Arago en *les Annales du bureau des longitudes* de 1829 et 1837. Añade ese sabio francés varias razones por las cuales cree que deben desecharse las pretensiones á que da lugar la nota citada, y en resumen presenta las tres causas siguientes: 1.<sup>a</sup> que el documento de que se trata no ha sido impreso ni en 1543, ni aun despues; 2.<sup>a</sup> que no prueba que el motor de la barca de Barcelona fuera una verdadera máquina de vapor; 3.<sup>a</sup> en fin que si, en efecto, habia tal máquina de vapor, seria, segun todas las apariencias, la colipila de reaccion descrita ya en las obras de Heron de Alejandria.

No me atreveré á comentar ni discutir las razones del señor Arago, por no sentirme con fuerzas suficientes para sostener una polémica con persona de tan avanzada y general reputacion; pero no puedo dejar de observar que, para nosotros, los Españoles, es el archivo de Simancas el tesoro mas respetado de la nacion, y que á pesar de las continuas revoluciones de que nuestro pais ha sido teatro, ningun partido, ningun Español ha dudado un solo momento de la autenticidad de sus documentos. Y en fin permitásenos añadir que si gratuito es suponer que una caldera con agua hirviendo que hacia mover dos ruedas colocadas á los costados del navio, era una máquina de vapor; no es mas riguroso decir que, segun todas las apariencias, no podia ser otra cosa, sino la colipila descrita por Heron, como asienta el señor Arago en sus conclusiones. — N. del T.

Las ruedas de los barcos de vapor son de paletas, y reciben su movimiento por medio del arbol que directa ó indirectamente comunica con la gran barra que en las máquinas de vapor está sujeta al extremo del balancin, que á causa de la poca altura de las embarcaciones, se halla generalmente debajo de cubierta. Hay casos en que se pone una sola rueda ó popa, y esto basta para que el buque navegue; pero lo mas general es colocar una á cada lado, y el arbol entonces está siempre transversal unas veces en el medio, otras mas cerca de una punta del navio que la otra. Del mismo modo que en todas las demas máquinas de vapor, regúlase en los buques la velocidad por medio de un volante, aunque poniendo dos máquinas, no hay necesidad de aquella pieza; el vapor, v. g. que va desde Paris al Havre tiene dos máquinas de simple presion, y cuando el émbolo de la una se eleva, desciende el de la otra y asi sucesivamente, consiguiéndose con tal disposicion que el movimiento del arbol sea regular.

Empleábase en un principio y casi esclusivamente la máquina de baja presion; pero en la actualidad se mueven los barcos con las de media y aun alta presion. (Véanse una obra de M. Marestier, el curso de M. Dupin, una nota de M. Morard en los *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXIII, y una discusion de M. Arago en el *Annuaire du Bureau des Longitudes*. — 1850).

#### Carruajes de vapor.

125. Hace algunos años que se han aplicado las máquinas de vapor á la conduccion de carruages en caminos de carriles, á los que comunemente se llaman *caminos de hierro*. Andan 5, 4, 3 y mas leguas por hora arrastrando tras si un convoy de 8, 12 y 16 carruages cargados de mercancías ó viajeros, y hay caminos en los que se ha logrado

dar 15 leguas por hora, aunque esto es una escepcion porque en los caminos ordinarios, no pasa de 2 á 5 leguas.

No tienen esas máquinas, como el lector podrá imaginar, condensador; funcionan bajo presiones de 3 á 4 atmósferas y tienen comunmente la fuerza de 8 á 10 caballos.

Han sufrido tantas mejoras en estos últimos tiempos, que ya en el día se manejan con facilidad y no son muy dispendiosas.



Armas de vapor.

426. Perkins ha hecho diferentes ensayos para lanzar directamente los proyectiles sirviéndose de la fuerza elástica del vapor, y con una gran rapidez ha llegado á lanzar un número considerable de balas, que á gran distancia taladraban tablas de pino de once líneas de espesor. Colocabalas en una especie de tolva, de donde caía al cañon que las arrojaba en el mismo instante.

Prometiase este ingeniero lanzar del mismo modo las balas de diferentes calibres; pero M. Madalein, capitán de artillería, ha demostrado que el proyecto de M. Perkins no es util para la guerra, asegurando que dicho ingeniero no podrá dar bastante velocidad á los proyectiles, aun cuando sean de los mas pequeños, como balas de á 4. El mismo señor Madalein tomando la cuestion bajo otro punto de vista, cree, que para defender las plazas cuando el enemigo está cerca, puede sacarse partido de las máquinas ordinarias de vapor haciéndolas mover grandes volantes con mucha velocidad y comunicando el movimiento por medio de engranages. Los volantes deberian estar armados de fuertes y elásticas paletas; estas arrojarian uno á uno proyectiles del mismo calibre, y cuyo peso podría

subir hasta diez y seis libras, colocados en una tolva que giraria combinando su movimiento con el del volante, y situando las máquinas en las casamatas, etc. (Véase el diario des *Sciences Militaires*. (Enero 1827).

Máquinas movidas por el ácido carbónico, etc.

427. Además del vapor de agua, se han propuesto últimamente como motores, el vapor de mercurio y el gas ácido carbónico. Como el primero presenta muchos inconvenientes, pasaremos inmediatamente á ocuparnos en la máquina de Brunel en la que el ácido carbónico sirve de motor pasando alternativamente de liquido á gas.

Conviértese en liquido el gas ácido carbónico á 56 atmósferas de presión y temperatura del hielo al derretirse, y su fuerza elástica casi se duplica, cuando la temperatura sube 40 á 50 grados, en cuya propiedad se funda la nueva máquina de Brunel.

Representa la Fig. 404 una seccion vertical de la máquina, en la que se ve un cilindro AB, cuyo émbolo P se trata de poner en movimiento.

Son semejantes entre sí los dos cilindros C y C'; ambos estan llenos de aceite hasta la mitad de su altura y sobre sus niveles se ven dos cuerpos flotantes F y F'. Cada cilindro está encerrado en una caja ó cubierta exterior, y el espacio intermedio E sirve para echar alternativamente agua caliente y fria.

El ácido carbónico sale de un gasómetro convenientemente dispuesto y pasa á los cilindros D y D' por medio de una bomba impelente. A su debido tiempo pasa el ácido carbónico á los cilindros C y C'; se liquida en ellos y entonces se cierran las aberturas O y O' por donde se ha introducido.

Si se pone agua caliente en el espacio E del cilin-

dro C, por ejemplo, entonces se convierte en gas el ácido carbónico que comprimiendo al cuerpo flotante F y este al aceite, hace subir al émbolo P. Llega despues el agua caliente á la cubierta E' y el agua fria á la cubierta E, y entonces, por la inversa, el émbolo desciende; de manera que la fuerza de impulsión es la diferencia entre las elasticidades del ácido carbónico á la temperatura ordinaria y la de 50 á 60°.

No se ha establecido aun en grande ninguna máquina de esta especie, porque presentan graves inconvenientes; primeramente como la presión interior es muy considerable, es necesario que todas las partes ajusten muy bien unas con otras para que no se salga el gas, y que sean muy recias para evitar las explosiones. En segundo lugar, los cambios repentinos de temperatura deben deteriorar los cilindros que contienen el ácido carbónico y el gran consumo de agua caliente debe aumentar los gastos; de manera que es mas que probable que esta máquina no presente ventajas positivas al ponerla en práctica aunque es siempre una ingeniosa aplicación de las propiedades de los gases, por cuya razón nos ha parecido oportuno describirla.

Creemos que los nuevos descubrimientos de Thylorier sobre el ácido carbónico líquido, darán margen á nuevos proyectos de máquinas mas sencillas.

De las explosiones de las máquinas de vapor.

428. Por desgracia, sucede en ciertas ocasiones que las válvulas de seguridad no son bastante eficaces para impedir las explosiones, de cuya fuerza podrá formarse idea por los ejemplos que vamos á dar á continuación. El 5 de febrero de 1844 rebentó la caldera de una máquina de vapor que con la presión de 4 atmósferas funcionaba

en una fábrica de aguardientes de Loerin, cerca de Edimburgo; un gran trozo de la caldera, cuyo peso era de 440 quintales, atravesó el techo elevándose á 70 pies de altura. El 4 de marzo de 1827 rebentaron á un tiempo varias calderas del buque llamado Ródano, lanzando masas de 50 quintales á mas de 250 metros de distancia, de resultas de que el ingeniero habia cargado las válvulas con exceso.

2º Podriamos citar varios ejemplos de explosiones precedidos en unos casos de la abertura, ó despues de haber descargado las válvulas, y en otros, de una disminución notable en la elasticidad del vapor. Los señores Tabareau, Rey, etc., han observado que cuando las válvulas se abren aumenta en seguida el resorte del vapor. Arago y Dulong han obtenido lo contrario en los esperimentos, cuyos principales resultados hemos espuesto en el número 496 del tomo I.

La esplicacion de las explosiones producidas en el momento en que se abre la válvula y cuando no hay mucha agua en la caldera, no es difícil de comprender. Cuando no es abundante el agua de la caldera, puede suceder que su parte superior esté á la temperatura roja del mismo modo que el vapor que está en contacto con ella, y que la superficie del agua sea mas pequeña, que en las circunstancias ordinarias en que la caldera funciona con regularidad.

Tambien puede suceder que ademas de todo eso la temperatura del agua no pase de 100 y algunos grados. Si en tal estado se abre la válvula, disminuye la presión, y una porción del agua será proyectada contra la parte superior de la caldera, y trasformándose súbitamente en vapor, adquirirá una elasticidad capaz de vencer la resistencia de la caldera y determinará súbitamente su explosión.

Algunas veces tambien se aplastan, abriéndose en se-

guida, los cilindros de las calderas de hogar interior, á causa de la presión del vapor contenido en el espacio anular; el agua caliente se esparce entónces por los talleres ó el edificio en que está colocada y suele causar graves daños. Es indispensable que en tales casos se forme un vacío en el cilindro mas pequeño. Cuando se cierra el registro ó compuerta de la chimenea, dejando abierto el hogar, continúan desprendiéndose los gases de la combustión, y mezclándose entonces con el aire del hogar puede efectuarse la detonación, á la que seguirá un vacío que producirá acto continuo la explosión del cilindro; tal es la explicación que ha dado John Taylor de la explosión del Mold-Mines en la que se notó una bocanada de llamas antes que el cilindro interior rebentase.

M. Arago, en un artículo (*Annuaire* 1850), de donde hemos tomado los hechos citados, observa que sería muy útil dar mayor latitud á los boquetes de las válvulas. Cree además que los ensayos que se hacen con las calderas no son suficientes para impedir las explosiones, 1º porque esos ensayos se hacen á frío, y es sabido que la tenacidad del hierro forjado es mucho menor en caliente que en frío; 2º porque un aumento súbito de la elasticidad del vapor puede ocasionar una ruptura en el mismo punto en que no producía el mas mínimo efecto una presión graduada; 3º porque la caldera se deteriora con el tiempo; 4º porque permaneciendo largo tiempo la válvula de seguridad en reposo, puede perder la facultad de moverse con libertad á causa de la oxidación.

(Véanse en los *Anuarios* ó de 1829 ó 1857 un artículo de M. Arago sobre la historia de las máquinas de vapor.)

429. « M. Jacquemet', de Burdeos, acaba de señalar un

' M. Lamé, en su *Curso de Física de la Escuela Politécnica*, dice en la pág. 474 del tom. 1, lo que copiamos en el texto. — N. del T.

hecho enteramente desconocido, del que puede deducirse una nueva teoría de las explosiones de las calderas. Hé aquí en que consiste ese fenómeno. Cuando en una caldera existe una presión superior á la de la atmósfera y se da salida al vapor por la parte mas alta, sale únicamente vapor si dicha sección es muy pequeña relativamente á la de la pared en contacto con el fuego. Si el boquete es mayor se desprende juntamente con el vapor, una cierta cantidad de agua, tanto mas abundante cuanto mayor es su sección. Por fin llegado un cierto límite de sección, inferior siempre á la que tienen las válvulas, no sale mas que agua que obstruyendo el paso al vapor, hace primero ceder al manómetro, pero el nivel de este sube luego con tal rapidez, que sería peligroso prolongar tal situación.

« La explicación siguiente abraza perfectamente todas las circunstancias del fenómeno. Si la tensión del vapor es de 5 atmósferas, por ejemplo, y se levanta una válvula que deje gran abertura, disminuye súbitamente la presión interior, pues que el barómetro desciende en el mismo instante. De aquí resulta que gran parte del líquido se trasforma en vapor que gana el orificio de salida arrastrando consigo el cieno del fondo de la caldera.

« Un chorro de la misma sección, formado de vapor puro, saldría bajo la presión de 5 atmósferas con una velocidad de 562 metros por segundo, llevándose una cantidad de calor latente que podría llegar á ser, al maximum, diez veces mayor que el que produce el hogar; resultaría de aquí enfriamiento súbito en la caldera y su temperatura descendería á 400°. Pero cuando el chorro se compone casi esclusivamente de líquido, las circunstancias no son las mismas. La masa es entonces mas considerable, y su velocidad, bajo la misma presión, se reduce á 28 metros por segundo; cierto es que el agua que sale de este

modo roba á la caldera una cantidad de calor mucho mayor que cuando el chorro es de vapor puro, pero es sin embargo facil de ver que la temperatura interior, á pesar de eso, debe crecer. En efecto, el vacio que deja el líquido detras de sí, es reemplazado por el vapor que toma su calórico latente al calor termométrico del agua contenida; pero esta pérdida que no es, segun la relacion de las susodichas velocidades, mas que la vigésima parte de la que resultaría del primer chorro, es ademas la mitad del calor que produciría el hogar. El exceso de ese calor debe, por consiguiente, elevar la temperatura de la caldera; la densidad y elasticidad del vapor interior deben tambien aumentarse.

« Si el calor penetrara únicamente por la parte inferior y se dividiera uniformemente entre toda la masa líquida, como acontece en el estado normal, la elevacion de temperatura seguiria una progresion bastante lenta. Pero si á consecuencia del descenso de nivel una parte de las paredes y el vapor se hallaran muy calientes en el momento de empezar el chorro, se formarían una porcion de vapores, no instantánea sino rápidamente, lo cual explicaria suficientemente la ascension del manómetro. En efecto, en tales circunstancias, bastarian algunos segundos para que la tension subiera desde 5 á 14 atmósferas. En resumen, segun M. Jacquemet, la proyeccion del agua sobre paredes muy calientes, no basta para explicar la explosion, porque la formacion de vapor que se sigue no es instantánea sino que se prolonga durante un cierto número de segundos: en este corto instante, los chorros de vapor que salen por las válvulas bastan para oponerse á un aumento peligroso de tension. Pero si esta funcion importante de las válvulas se destruye en parte por los chorros casi líquidos, la formacion rápida de vapores que resulta del contacto de la espuma con las partes muy calientes, puede ocasionar la explosion; porque hallándose

obstruidas las aberturas, no deben cesar los progresos de la presion interior.

« El fenómeno que sirve de base á esta teoria es análogo á otros varios hechos conocidos. La diferencia del chorro, segun la seccion de la abertura, se observa al destapar las botellas llenas de licores cargados de gas, como el vino de Champaña, la cerveza, etc., sin soltar el tapon se le debe inclinar en el cuello para formar una abertura bastante ancha y entonces sale únicamente el gas; si esa abertura es muy ancha el chorro es totalmente líquido, y cuando el corcho cede enteramente á la presion interior, la espuma le sigue inmediatamente, y sale el líquido casi en totalidad cuando hay mucho gas disuelto. El estado de la masa heterogénea contenida en la caldera, cuando sale el chorro líquido, es comparable al de la leche hirviendo sobre un hogar bastante activo; todo el mundo sabe que este líquido se convierte en espuma, y que el único medio que se conoce para impedir que se salga de la vasija es retirarla del fuego<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Hay todavía otra causa mas poderosa que contribuye á las explosiones de las calderas, y la mas terrible de todas. Cuando la caldera no contiene mucha agua, y la temperatura del hogar es enérgica, se descompone parte del vapor del modo siguiente; todo el mundo sabe que el agua, y de consiguiente su vapor, se compone de dos gases, oxígeno é hidrógeno; el primero, en el caso presente, se combina con el hierro, y le oxida, ó enmohece, como vulgarmente se dice; el segundo tiene la propiedad de detonar cuando se halla *mezclado* (no combinado químicamente, sino mezclado mecánicamente) con el oxígeno ó el aire atmosférico. Estos hechos que son consecuencia de las leyes de la afinidad y propiedades químicas de los cuerpos, son conocidos desde hace mucho tiempo; pero nadie sospechaba que podían ocasionar en las calderas las explosiones de que hablamos, porque estaba generalmente admitido que en esas calderas no habia aire que pudiera mezclarse con el hidrógeno. En este mismo año, M. Jobard, profesor del Museo de la Industria de Bruselas, se ha ocupado en ese asunto, probando, despues de repetidos experimentos, que las bombas alimenticias introducen en la caldera

450. « Esta es la ocasion de referir un hecho muy singular que se observa en el vapor que se escapa por la válvula de seguridad de una caldera. Si se coloca la mano en medio del chorro se experimenta una sensacion de calor muy diferente, segun que la caldera es de alta ó de baja presion : en el último caso es insufrible el calor y se que-

ciertas cantidades de aire, y que todo lo demas se verifica del modo que hemos espuesto. Pero añade ademas que hay todavía otro hecho con el que puede explicarse la incandescencia de la mezcla. En efecto, es sabido que cuando un chorro de vapor sale rozándose contra los bordes del boquete de una válvula, etc., se produce electricidad; de aquí resulta la chispa que, al desprenderse, inflama la mezcla detonante, segun han experimentado M. Jobard y algunos otros individuos del ya citado Museo. Esto explica porqué las esplosiones se verifican casi siempre, ó cuando la máquina empieza á funcionar, ó cuando se levanta alguna válvula. Por otra parte, es mas que probable que el disco de la válvula produzca en ciertos casos el efecto del platillo de electróforo (véase su descripcion en el cap. *Electricidad*) al levantarse de su asiento. Añade por fin M. Jobard que cree casi imposible, segun sus experimentos, que una caldera llena de agua fria ó caliente pueda reventar, porque los agujeros, antes de romperse, se ovalan ó dejan salir el vapor y el agua por todas partes.

Creo que de 7 á 44 partes de gas hidrógeno se mezclan con 400 de aire, y producen las mezclas de que se ha hablado.

Como las calderas de cobre no pueden descomponer el agua, las creemos ventajosas á las de hierro para este género de accidentes.

Tienen otra ventaja las de cobre, y es que ese metal se utiliza cuando las calderas están estropeadas, al paso que el hierro en tal estado no puede aprovecharse.

En el párafo 244 del tomo I, y refiriéndonos á la obra de M. Lame, citamos un hecho muy singular, á saber, que el agua á una temperatura muy elevada se evapora lentamente, y que la evaporacion es casi repentina cuando baja la temperatura. Por esta razon, es muy peligroso disminuir súbitamente el calor de los hogares de las calderas, cuando están muy calientes, porque, bajando entonces repentinamente de temperatura, puede producirse instantáneamente tal cantidad de vapor, que ni la caldera ni las válvulas basten á contenerle, y entonces es inevitable la esplosion. — N. del T.

ma la mano como si se metiera en el agua hirviendo; en el primero, es decir, cuando es de alta presion, es muy tolerable el calor y la mano puede permanecer impunemente en medio del chorro.

« Cuando la caldera es de baja presion, posee el vapor la misma fuerza elástica que el aire que desaloja, conservando su densidad y la temperatura de 400°. Cuando es de alta presion, el vapor tiene una tension de muchas atmósferas; se dilata rápidamente al mezclarse con el aire, y una parte de su calor sensible se convierte en calor latente; si esa dilatacion cesa cuando la tension del vapor llegase á ser igual á la presion atmosférica, la temperatura del chorro descende á 400°; pero en virtud de la velocidad adquirida por las moléculas de gas, pasa ese limite la dilatacion, se mezclan el vapor y el aire, y disminuyendo su temperatura, baja tanto mas cuanto mas considerable era la tension primitiva; de manera que es necesario que la temperatura final no pase de 50 á 400 para que sea soportable la sensacion que produce. » (Lamé)

## DE LA ELECTRICIDAD.

451. Este hermoso ramo de la física debe la mayor parte de sus progresos á los descubrimientos modernos. Limitáronse, durante muchos siglos, los conocimientos de los hombres en este asunto, á la propiedad que tiene el ambar de atraer, por frotacion, los cuerpos ligeros.

Nociones preliminares.

452. 1º Un tubo de vidrio, un trozo de ambar ó una barra de lacre frotados con un pedazo de lana ó una piel de gato, atraen hácia sí los cuerpos ligeros.

Llábase *electricidad* á la causa de esa propiedad, porque los fenómenos de ese género se observaron por primera vez en el ambar, que, en griego, se llama *ηλεκτρον*; hecho que conoció Thales de Mileto, 600 años antes de la era cristiana.

Si se aproxima á la mejilla una barra de vidrio frotada, como hemos dicho, se experimenta una sensación análoga á la que produciría una tela de araña.

Y si se acerca el dedo ó una bola de metal se oye el estallido de una chispa luminosa, y una luz azulada que serpeatea sobre el tubo, cuando el parage está oscuro.

2º Pertenece esta propiedad á todos los cuerpos, simples ó compuestos, sólidos, líquidos y aeriformes. Cuando se agita un poco de mercurio en un vaso de vidrio, este último se electriza. Es mas curioso el experimento, ejecutado del modo siguiente; se llena de mercurio una cap-

sula de madera; colocándola en la parte superior de un tubo ancho de vidrio, se hace el vacío en el interior de este último, y atravesando, el mercurio, el fondo del vaso en virtud de la presión atmosférica, cae á lo largo del tubo en forma de lluvia y le electriza, de modo que aproximándole cuerpos ligeros los atrae hácia sí.

Inférese de aquí la esplicacion de un fenómeno que se observa en los barómetros bien purgados de aire, á saber: cuando se inclinan sus tubos, para que el mercurio los llene repentinamente, se nota, si la habitación está á oscuras, una luz fosforescente semejante, en un todo, á lo que produce la elasticidad en el vacío. Atribúyese ese fenómeno á la condensacion del vapor mercurial, por ser un hecho reconocido que cuando la temperatura es 0º ó inferior, no hay el menor destello de luz.

Un cuerpo sólido se electriza sensiblemente por el rozamiento de un gas; es decir, que un vidrio se electriza cuando el chorro de aire de un fuelle, por ejemplo, le hiere directamente. Es sumamente difícil probar que dos gases, rozándose, desarrollan electricidad, pero no hay dificultad en concebirlo por analogia, y tal vez es factible que una parte de la electricidad de la atmósfera provenga del rozamiento del aire contra sí mismo y contra las nubes.

3º Se propaga la acción eléctrica á distancia y al través de todas las sustancias. Así, una bolita de médula de sauco suspendida de una seda debajo de una campana de vidrio, es atraída por una barra de lacre electrizada, colocada de la parte de afuera.

4º Es un hecho que la electricidad se propaga al través de todos los cuerpos, pero hay sustancias mas á propósito que otras, para *conducirlas*, como se acostumbra á decir; los unos, como los metales, el agua y todos los líquidos en general (á escepcion de los aceites), y el carbon calcinado son buenos conductores; las resinas y sobre todo la

que lleva el nombre de goma laca, el lacre, la seda, el azufre, las piedras, el vidrio, los oxidos y el aire y los otros gases semejantes, son malos conductores. Debemos á Grey y á Weeler la distincion de cuerpos buenos y malos conductores, que publicaron en 1729 (*Historia de la Electricidad*, tomo I, pág. 56) antes de cuya época no pudo la electricidad figurar entre las ciencias.

Para probar la diferencia que existe entre los cuerpos conductores y no conductores, tómense dos bolitas iguales de médula de sauco y suspendáseles una de un hilo de vidrio ó de seda sugeto á un tubo ó barra de vidrio, y la otra á un alambre de metal enganchado en una barra de lo mismo; electrizense entrambas por medio de una barra de vidrio electrizado, y se advertirá que la que cuelga del alambre pierde instantáneamente su electricidad, al paso que la otra la conserva perfectamente; consiste la diferencia en el modo de comunicar con la tierra, porque en la del metal la electricidad halla facil pasaje y se disipa instantáneamente, y en la otra tropieza con un cuerpo poco conductor que la impide el paso; los efectos son semejantes cuando en vez de la seda se emplea uno de resina, de azufre, etc. Lo que prueba que esas sustancias no sirven para transmitir la electricidad. Mójense con agua todos los hilos y desaparecerá instantáneamente la electricidad, porque ese liquido es muy buen conductor.

Pueden ejecutarse otra porcion de esperimentos que sirven para entablar la misma distincion. Si se toca el conductor de una máquina eléctrica con una barra de vidrio ó de resina, apenas se disminuye la tension de su electricidad, pero si en vez de esa barra se emplea otra de metal, la máquina se descarga repentinamente.

Se dice que un cuerpo está *aislado* cuando está apoyado, sostenido ó colocado sobre un mal conductor, seda, lacre, vidrio, etc. Llámase *taburete* eléctrico, á una tabla soste-

nida con cuatro pies de vidrio y sirve para aislar á las personas que se quieren electrizar. Es indispensable aislar los cuerpos en una porcion de circunstancias. Si se trata de saber, por ejemplo, si los metales se electrizan por fraccion, es necesario aislarlos con un mango de vidrio; y si en ese estado se los frota con un pedazo de lana ó con una piel de gato se electrizan como los cuerpos malos conductores; si se los tuviera simplemente en la mano, se disiparia la electricidad, porque el cuerpo humano es buen conductor.

El aire atmosférico es mal conductor, pero se hace bueno cuando está muy húmedo; por esa razon, es muy difícil hacer esperimentos eléctricos cuando el tiempo está en ese estado, porque se disipa la electricidad á medida que se produce, siendo un hecho comprobado que los esperimentos salen muy bien durante los frios secos, en que hay muy poco vapor en el aire.

Preciso es decir que el mayor obstáculo para hacer esperimentos cuando el tiempo es húmedo, consiste en que el aire, hallándose próximo de su punto de saturación, deposita el vapor sobre todos los cuerpos.

5° La electricidad no altera las dimensiones de los cuerpos; efectivamente, cuando se sumerge un termómetro en una vasija llena de agua, y se electriza, por medio de la máquina, el liquido y la vasija, no se advierte la menor variacion en aquel instrumento (Abate Nollet).

Este esperimento es concluyente, á no ser que todos los cuerpos esperimenten la misma alteracion de parte de la electricidad.

6° Parece ser inmensa la velocidad de la electricidad, pues segun C. Wheatstone, es de 444000 leguas por segundo. (Institut. 1854.)

7° El aire, como hemos dicho, es mal conductor, y por su presion mantiene la electricidad en la superficie de los cuerpos, pues que si se coloca debajo del recipiente de la

máquina neumática un cuerpo conductor, y aislado sobre soportes, de resina ó de vidrio, pierde, antes de que el vacío esté completo toda la electricidad con que estaba cargado. Si se hace el mismo experimento con un cuerpo mal conductor, como una barra de lacre electrizada por frotación, se disipa también la electricidad aunque con mayor lentitud, siendo necesario bastante tiempo para que la pierda completamente.

Hecho que prueba que la electricidad permanece en la superficie de los cuerpos no conductores, por efecto de la presión del aire juntamente con la dificultad que experimenta para separarse de sus partículas.

8º La tierra por la que circula y se pierde la electricidad lleva el nombre de receptáculo común.

9º Para facilitar el desarrollo de la electricidad por frotación es necesario secar previamente los cuerpos que se van á experimentar, y calentar la habitación en que han de hacerse las observaciones, para que el aire no pueda depositar vapor sobre los cuerpos.

452. Volvamos á los primeros experimentos, y examinemos con mas atención las propiedades de los cuerpos electrizados.

Atanse para esto dos bolitas de sauco á dos alambres metálicos, suspendiéndolas de una barra de lacre (Fig. 105) y frotándolas con una tela de lana, las dos bolas se separan, repeliéndose mutuamente, á una cierta distancia. Si se hace el experimento con una barra de lacre y una bola y se aproxima esta última á las dos primeras, habrá también repulsión.

Repetiendo esos dos experimentos, con la sola diferencia de reemplazar la barra de resina con una de vidrio, se repelen también las bolas.

Si ahora se aproximan las bolas, electrizadas con el vidrio, á las de la resina, se atraen mutuamente. Continuando esos ensayos se advertirá:

1º Que dos cuerpos *cargados de la misma especie de electricidad se repelen*;

2º Que dos cuerpos *cargados de electricidades de diferente naturaleza se atraen mutuamente.*

Resulta además, de otros varios experimentos, que entre todos los cuerpos, unos dan la misma electricidad que el vidrio frotado con una tela de lana ó de seda, como los óxidos, las piedras, etc., y á esa electricidad se le ha dado el nombre de *vitrea*; y que otros, como los cuerpos inflamables, el ambar, la seda, etc., dan la misma electricidad que la resina frotada con una piel de gato, llamándola por esto electricidad *resinosa*<sup>1</sup>. Dufay, miembro de la Academia de ciencias de París, descubrió otra propiedad por los años de 1775 y 1774.

453. La tela de lana, la piel de gato, y todas las materias que se emplean para frotar un cuerpo sólido, se cargan de electricidad negativa si adquieren electricidad positiva y vice versa; y para cerciorarse no hay mas que presentar á un péndulo eléctrico la tela que ha servido para electrizar la resina y atraerá las bolitas de sauco cargadas de electricidad negativa repeliendo las cargadas de electricidad positiva.

454. Estudiando la naturaleza de la electricidad desarrollada por la frotación de una porción de sustancias, se advierte que no hay nada de absoluto y que depende de la naturaleza del cuerpo frotante y de la del frotado. La seda, por ejemplo, frotada con vidrio pulimentado, adquiere electricidad positiva, y frotada con resina la toma nega-

<sup>1</sup> Como el vidrio no toma siempre la electricidad *vitrea*, y la resina la *resinosa*, y que las dos reuniéndose se destruyen recíprocamente sus propiedades, se ha convenido generalmente en reemplazar las expresiones de electricidad vitrea y resinosa con los términos *positiva* y *negativa*, dándoles el mismo valor que se da en geometría á las ordenadas positivas ó negativas.

tiva; una barra de vidrio frotada con una tela de lana se electriza positivamente y con una piel de gato negativamente <sup>1</sup>.

Los cuerpos incluidos en la tabla siguiente se electrizan positivamente cuando se les frota con uno de los que le siguen, y negativamente con uno de los que les preceden.

Piel de gato.	Papel.
Vidrio pulimentado.	Seda.
Tela de lana.	Goma laca.
Plumas.	Vidrio sin pulimento.
Maderas.	

Se ha intentado por varios medios hallar las circunstancias bajo las cuales cada uno de los cuerpos citados adquiere una especie particular de electricidad; pero todos los ensayos han sido infructuosos.

Y ya que hemos hablado de la produccion de la electricidad, citaremos un experimento muy curioso, que con frecuencia se repite en los gabinetes de fisica. Se colocan dos personas, cada una sobre un taburete, y una de ellas sacude á la otra con una piel de gato bien seca. La primera se carga de electricidad positiva, y la segunda de negativa; ambas ó dos darán chispas cuando se les aproxima-

<sup>1</sup> No depende únicamente de su naturaleza, sino de otras circunstancias, que los cuerpos adquieran tal ó cual electricidad. Dos discos de vidrio frotados uno contra otro adquieren recíprocamente diferentes electricidades. El mas liso toma la positiva, y el mas áspero la negativa. Dos pedazos de una misma cinta de seda ó galon, se cargan de electricidades diferentes, cuando se frota uno de ellos al través del otro, el frotado transversalmente adquiere electricidad negativa. Cuando sobre una placa de metal se hacen resbalar polvos de la misma sustancia, se electrizan los últimos negativamente. Cuando uno contra otro se frotan dos cuerpos de la misma naturaleza, pero cuyas superficies están en diferente estado, no hay mas que calentar uno mas que otro, y entonces el mas caliente se electriza negativamente.—N. del T.

men cuerpos conductores que comuniquen con el suelo; y se hallarán rodeadas de una atmósfera luminosa, si la habitacion está oscura. Las dos atraerán un péndulo que esté en el estado natural, y un instrumento de la misma especie cargado positivamente, será atraído por la primera y repelido por la segunda.

455. No solo por frotacion, sino de otros varios modos puede desarrollarse la electricidad, aunque aquel es el mas comun y el primero que se ha conocido. De ciertos experimentos de M. Pécelet, resulta que la tension ó la fuerza de la electricidad, que se produce por rozamiento, es independiente de la velocidad de presion, del espesor de los cuerpos que se frotan, de la estension de las superficies en contacto y del modo de verificar el rozamiento.

En lo sucesivo veremos que la *compresion*, el *cambio de temperatura*, las *combinaciones químicas*, etc., son manantiales de electricidad.

Por ejemplo, una barra de azufre se le electriza cuando se la sumerge en mercurio (M. Dessaigues). Tal vez la luz que despiden los grandes témpanos de los mares polares, cuando se chocan, es efecto de la electricidad.

456. Cualquiera que sea el medio que se emplee, siempre se produce una de las dos electricidades positiva ó negativa. Necesario es confesar que no es siempre facil demostrar su presencia, por cuya razon esperaremos á tener instrumentos bastante delicados, para estudiar con provecho tales circunstancias.

Hipótesis teóricas.

« Atribúyense <sup>1</sup> generalmente los fenómenos eléctricos á

<sup>1</sup> *Curso de Fisica de la Escuela Politécnica*, por M. Lamé, t. I, p. 40.—N. del T.

dos fluidos imponderables que rechazan sus propias moléculas y se atraen mutuamente. Está admitido que todos los cuerpos de la naturaleza tienen esos fluidos ó esas dos electricidades en estado de combinacion. Esta combinacion de las dos electricidades se llama *electricidad natural ó fluido neutro*, y su valor es en cierto modo cero ó nulo con relación á los fenómenos de atraccion ó repulsion eléctricas. Segun ese principio, cuando dos cuerpos se frotan, el fluido se reparte desigualmente. Se ha tratado, hasta ahora en vano, de averiguar la causa de esa reparticion; parece, sin embargo, muy probable que depende de la diferencia de capacidad y facultad de conducir el calor de los dos cuerpos frotados.

« Puede probarse con un experimento directo, que las cantidades de los dos fluidos, combinados en la electricidad natural, y que al mismo tiempo se manifiestan cuando se frotan dos cuerpos *aislados*, son en realidad las mismas. Efectivamente, interin subsiste el contacto de los dos cuerpos frotados, no se observa ningun signo de electricidad, pero si se separan los cuerpos uno de otro, los dos fluidos libres que resultan de la desigual reparticion que ocasiona la frotacion, producen los efectos de costumbre. Las dos cantidades de electricidades diferentes, que desarrollan la frotacion, descomponiendo el fluido neutro, son pues iguales, por que producen efectos contrarios que se destruyen, cuando obran sobre los cuerpos exteriores á distancias iguales.

« Sostienen todavía algunos fisicos las ideas de Franklin, y admiten un solo fluido eléctrico, que se rechaza ó repele á sí mismo, y atrae la materia ponderable. En esa hipótesi debe contener cada cuerpo una cierta cantidad de fluido, que depende de su masa y de su naturaleza, para que haya equilibrio eléctrico entre ese cuerpo y los que le rodean. Varias causas accidentales y entre otras la frotacion, pueden aumentar ó disminuir esa cantidad que es

necesaria para el equilibrio, y el cuerpo entonces se electriza positiva ó negativamente. Pero la atraccion ó repulsion que se observa entre dos cuerpos electrizados de diferente ó de la misma manera, es un fenómeno mas compuesto y de mas complicada esplicacion en la teoria de un solo fluido que en la de las dos electricidades. (Lamé.)

De las leyes que siguen las acciones eléctricas.

457. La electricidad, segun hemos visto, se ejerce á distancias apreciables. Durante mucho tiempo se ha admitido, aunque sin demostracion, que las acciones eléctricas siguen la misma ley que las planetarias, es decir, que su intension decrece como el cuadrado de las distancias.

Coulomb, fisico francés, ha demostrado experimentalmente la ley de las acciones eléctricas, por medio de la *balanza de torsion*, instrumento con que ha enriquecido la ciencia.

Fúndase ese aparato en la propiedad que tienen los alambres metálicos de desplegar una fuerza de reaccion igual al ángulo de torsion (74. tomo I).

Es tal su sensibilidad, que se pueden medir con él fuerzas que no escedan al peso de una diez milésima de grama.

458. Compónese (Fig. 406<sub>a</sub>) de un cilindro de vidrio AB de 12 pulgadas de diámetro, y 18 de altura, cubierto con un disco de vidrio de 15 pulgadas de diámetro, y en cuya superficie se advierten dos agujeros; en el uno, *f*, se asegura un tubo de vidrio de 20 líneas de diámetro y 24 pulgadas de altura. En cuya parte superior hay un micrómetro de torsion. Compónese á su vez el micrómetro de un tubo de cobre que entra ludiendo en el de vidrio; de una placa agujereada en el medio, por donde pasa un vés-

taguito del que pende una aguja *on* que á su tiempo gira con dicho vástago. El borde de la chapa está dividido en 560 partes, y la forma del vástago es parecida á la de un lapicero que se aprieta ó afloja por medio de un anillo. Los brazos ó chapitas de esa especie de lapicero hacen el oficio de unas pinzas y agarran el extremo de un alambrito de plata sujetándose el otro extremo en las pinzas de un cilindro de cobre *pr*, que está abultado y agujereado en *C* (Fig. 407) para recibir la aguja *ag*. El peso de ese cilindro es tal que mantiene estirado el alambre sin romperle, y la aguja *ag*, suspendida en el centro de la vasija está compuesta ó de una seda cubierta de lacre, ó de una paja también revestida de lacre, siendo de goma laca la parte *ag*. En el extremo *a* hay una bolita de sauco de dos ó tres líneas de diámetro, y en *g* una hojita de papel mojado en trementina que sirve de contrapeso á la bolita *a*, disminuyendo la velocidad de las oscilaciones.

En la tapadera *AC* hay otro agujero *W*, por el que se introduce un cilindro *Wt*, terminado en un hilito de goma laca al que está sujeto una bolita de sauco. Al rededor de la vasija y á la altura de la aguja se traza un círculo *Kz* dividido en 560 partes, correspondiendo el agujero *W*, con corta diferencia, al cero de esa division.

Cuando se quiere hacer uso del instrumento se coloca la aguja *nm* del micrómetro superior sobre el cero de la division, haciendo girar, en seguida, todo el micrómetro en el tubo vertical, hasta que la aguja *ag* corresponda con la primera division del círculo *Kz*. Electrízase despues un conductor pequeño que en resumidas cuentas no es mas que un alfiler de gran cabeza (Fig. 408) que se aísla sumergiéndole en un poco de lacre; se le introduce en la vasija por el agujero *W*, haciendo que la bola *t* toque á la bola *a*; se retira ese conductor y hallándose las dos bolas cargadas de la misma electricidad se repelen mutuamente á una distancia que puede medirse. Se hace girar el mi-

crómetro superior de manera que se tuerza el hilo de suspension y que se aproximen de consiguiente las bolas, y de este modo se observan las distancias correspondientes de las bolas *a* y *t* á los diferentes ángulos de torsion; determinándose la ley de la repulsion por la comparacion de las fuerzas de torsion con las distancias de entrambas bolas.

159. *Experimentos*. La distancia de repulsion de las bolas *a* y *t* ha sido 56, hallándose en el cero el índice del micrómetro superior.

La torsion del alambre por la parte superior fué de 426 grados, aproximándose y deteniéndose las bolas á 48 grados de distancia.

De manera, que á 56° de distancia, la reaccion eléctrica hace equilibrio á 56° de torsion; á 48° de distancia la misma reaccion equilibra á

$$426^\circ \div 18^\circ = -444^\circ.$$

Por manera que las intensiones eléctricas decrecen como el cuadrado de las distancias.

Deben hacerse los experimentos en tiempos muy secos para disminuir, en lo posible, la pérdida de electricidad que ocasionan el aire y los apoyos; pérdida que es necesario saber apreciar para hacer las correcciones competentes.

El día en que se hicieron los experimentos, de que acabamos de hablar, fué casi insensible la pérdida por la sequedad del aire y la excelente calidad de los apoyos ó soportes: para que el estado de sequedad del aparato sea constante deben colocarse algunos bocales llenos de cal.

La distancia de las dos bolas, cuando se separan una de otra por su accion repulsiva recíproca, no se mide precisamente por el ángulo que forman, sino por la cuerda del arco que reúne sus centros. Por otra parte, la accion

repulsiva de la bola fija sobre la movible es tanto mas oblicua cuanto mayor es la distancia ; pero la construccion de la máquina tiene la ventaja de que ambas causas obran en sentido inverso, siendo tanta mas exacta la compensacion, cuanto mas pequeña es la distancia. (*Memorias de la Academia de ciencias de Paris, 1783, pág. 569.*)

*Comprobacion.* Admitamos la ley precedente. La fuerza con que las dos bolas se atraen ó repelen, es recíprocamente proporcional al cuadrado de la distancia entre sus centros <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Llamemos  $F$  á la intension de esa fuerza á la unidad de distancia de las dos bolas ; á la distancia  $D$ , se convierte en  $\frac{F}{D^2}$ , obrando en la direccion de la cuerda  $ab$ , que une las dos bolas (Fig. 409).

Mas como esa fuerza  $\frac{F}{D^2}$  obra en direccion oblicua á  $cb$ , se la puede descomponer en otras dos, una perpendicular á  $cb$ , y otra en direccion de  $cb$ . Destruyese la última por la resistencia del punto  $c$ , y solo queda la primera que, equilibrando por sí sola á la fuerza de torsion, se representa por  $\frac{F}{D^2} \cos. \angle abl$ , segun la regla del paralelogramo de las fuerzas.

Los ángulos  $abl$  y  $hcb = acb$  son iguales por ser sus lados perpendiculares, y, designando el último por  $C$ , podrá representarse la fuerza ne-

cesaria para que las bolas se rechazen por  $\frac{F}{D^2} \cos. \frac{1}{2} C$ .

Tambien se puede representar la distancia  $D$  en funcion del arco  $a$ . Efectivamente, la perpendicular  $ch$ , tirada desde el centro  $c$  á la cuerda  $ab$ , la divide en dos partes iguales  $ah$  y  $hb$ , y designando por  $r$  el radio  $cb$ , tendremos  $D = 2r \operatorname{sen.} \frac{1}{2} C$ ; y poniendo en vez de  $D$ , este último valor se convertirá la fuerza de torsion en  $\frac{F \cos. \frac{1}{2} C}{4r^2 \operatorname{sen.}^2 \frac{1}{2} C}$ .

Sea  $B$  el número total de grados de torsion del alambre en el caso de equilibrio; sabemos que la fuerza de torsion es proporcional á ese arco,

El cálculo de la nota adjunta, esfundado en esa ley, y datos positivos de estática, da la ecuacion

$$\frac{F}{4r^2 m} = B \operatorname{sen.} \frac{1}{2} C \operatorname{tang.} \frac{1}{2} C,$$

y como en ella son numéricas las cantidades del primer miembro, se infiere que las del segundo deben ser constantes en todos los esperimentos, si la ley es verdadera : efectivamente en la tabla que á continuacion insertamos, se advierte que cualquiera que sea el ángulo que la aguja haya formado, su espresion conserva siempre el valor 5,6.

	C	B	$B \operatorname{sen.} \frac{1}{2} C \operatorname{tang.} \frac{1}{2} C$ .
Primer esperimento.	56	56	5,614
Segundo esperimento.	48	444	5,568
Tercer esperimento.	$8 \frac{1}{2}$	$575 \frac{1}{2}$	5,469
El mismo suponiendo.	9	576	5,537

Los dos primeros resultados están perfectamente acor-

y que puede representarse por  $mR$ , siendo  $m$  un coeficiente particular del alambre empleado, ó la fuerza correspondiente á un grado de torsion, y como suponemos que hay equilibrio, serán iguales esas dos fuerzas, y tendremos

$$\frac{F \cos. \frac{1}{2} C}{4r^2 \operatorname{sen.}^2 \frac{1}{2} C} = mB,$$

De donde  $\frac{F}{4r^2 m} = B \frac{\operatorname{sen.}^2 \frac{1}{2} C}{\cos. \frac{1}{2} C}$ , ó bien, sustituyendo  $\frac{\operatorname{sen.} \frac{1}{2} C}{\cos. \frac{1}{2} C}$  por su valor  $\operatorname{tang.} \frac{1}{2} C$ , tendremos  $\frac{F}{4r^2 m} = B \operatorname{sen.} \frac{1}{2} C \operatorname{tang.} \frac{1}{2} C$ . (A)

des, y el desvio que en el tercero se advierte, depende de un error de  $\frac{1}{2}$  grado en la observacion del arco. Tambien depende en parte ese error de la pérdida de electricidad, durante el experimento, y de los nuevos fenómenos que se desarrollan á tan corta distancia. (Véase mas adelante los artículos *Pérdida é Influencia*.) Hagamos sin embargo abstraccion, considerando la ley, que hemos hallado para la balanza de torsion, como un hecho perfectamente comprobado.

Por medio de experimentos análogos, á los que nos acaban de ocupar, se ha logrado probar que las atracciones eléctricas siguen la misma ley que las repulsiones.

440. Coulomb ha demostrado la ley de las atracciones eléctricas de otro modo, que aunque no tan directo, es mas facil que el anterior.

Consiste ese método en suspender una aguja, electrizada por uno de sus extremos, á una cierta distancia de un globo cargado de diferente electricidad; y entonces la primera oscila y por medio del cálculo, partiendo del número de oscilaciones hechas en un tiempo dado, se determina la fuerza atractiva á diferentes distancias, como él determina la fuerza de la gravedad por las oscilaciones de un péndulo ordinario. (*Academia de ciencias de París*, 1785, pág. 581.)

Compónese la aguja de un hilo de goma laca, de 45 líneas de longitud, suspendida á un hilo de seda de 7 á 8 pulgadas, en el mismo estado que sale del capullo, y en uno de los extremos de la aguja y perpendicularmente á su direccion se fija un circulito de papel dorado de 7 á 8 líneas de diámetro. Atase el hilo á una barra de lacre, y la flexion es tal que con un peso de  $\frac{1}{120000}$  de grano colocado en el extremo de la aguja horizontal, se la hace describir un círculo entero. Antes de servirse de ese aparato se le deja algun tiempo en un parage tranquilo para que desaparezca la torsion, si es que la habia.

El globo ó es de cobre ó de carton cubierto de estaño, (Véase *Distribucion de la Electricidad*), y está colocado sobre cuatro tubos de vidrio, encima de cada uno de los cuales hay un cilindrito de lacre. Su centro debe hallarse en frente de la aguja, á la cual se acerca ó aleja, segun las necesidades.

En tal estado, se carga el globo con la botella de Leyden ó de otro cualquier modo, y la aguja de electricidad contraria, para que respectivamente se atraigan, y entonces se hallan los resultados siguientes:

DISTANCIA del globo al centro del círculo dorado.	TIEMPO que duraron 15 oscilaciones.
9 pulgadas.	20''
18	40
24	60

Como el círculo no tiene mas que 7 líneas de diámetro, y se aproxima ó separa del globo una cantidad insensible, durante un mismo experimento, resulta que la fuerza atractiva del globo sobre el círculo es constante, y si llamamos  $F$  á la unidad de distancia, se convierte en  $\frac{F}{D^2}$  á la distancia  $D$ . En el caso presente podemos considerar como puntos al globo y al círculo, en atencion á la forma esférica del primero y pequenez del segundo.

Ademas, como las oscilaciones son muy cortas y muy considerable la distancia entre el globo y la aguja, relativamente á las dimensiones de esta última, se sigue que las líneas tiradas desde el círculo de papel al centro del glo-

bo, durante los diferente periodos de una oscilacion, son paralelas entre si. Por consiguiente los fórmulas del péndulo (24. tomo I) pueden aplicarse á la cuestion que nos ocupa.

Si llamamos  $l$  á la longitud del péndulo,  $T$  al tiempo que dura una oscilacion y  $g$  á la intension de la fuerza atractiva, tendremos

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Refiriéndola á nuestro esperimento, tenemos que reemplazar  $g$  por  $\frac{F}{D^2}$ , lo que da

$$T = D\pi \sqrt{\frac{l}{F}}$$

Fórmula que indica, que con una misma aguja, siendo igual la fuerza atractiva, los tiempos de las oscilaciones, son proporcionales á las distancias  $D$ . Esto es tambien lo que resulta de las observaciones referidas en la página precedente.

Las dos primeras concuerdan perfectamente, pero la tercera debería haber dado  $55\frac{1}{3}$ .

Mas como los tres esperimentos duraron solo 4 minutos y el dia en que se hicieron perdía la electricidad  $\frac{1}{10}$  de su intension, se encuentra haciendo la correccion <sup>1</sup> que debia haber durado 57' si no hubiera habido pérdida, en vez de  $55\frac{1}{3}$  que se tiene por la rigurosa proporcionali-

<sup>1</sup> Si se supone que la intension es 70, al empezar el esperimento, se reducirá á 9 al fin de la operacion, y tendremos

$$T = D\pi \sqrt{\frac{l}{\frac{e}{40}}} \text{ y } 60 = D\pi \sqrt{\frac{l}{\frac{e}{9}}}$$

de donde  $T:60::\sqrt{9}:\sqrt{40}$ , y de aquí  $T=57$ .

dad; lo cual reduce á  $\frac{1}{20}$  próximamente, el error del resultado final. En fin, estos esperimentos confirman la ley establecida con la balanza de torsion. (*Academia des Ciencias de Paris*, 1785, p. 584).

No es difícil repetir esos esperimentos con electricidades de la misma naturaleza, pues la única diferencia que se advierte es que la aguja oscila en una direccion enteramente opuesta á la que tenia en el esperimento en que las electricidades eran de diferente naturaleza. Coulomb sin embargo (Mem. cit. pág. 586) ha preferido, para verificar la ley de las repulsiones, servirse de la balanza anteriormente descrita.

441. Réstanos por descubrir la proporcion con que cada cuerpo contribuye al efecto total en la reaccion mutua de dos cuerpos electrizados.

Se quita, para esto, á uno cualquiera de los cuerpos, la mitad de su electricidad, lo que se consigue tocándole con un cuerpo enteramente semejante.

Supongamos, por ejemplo, que en la balanza de torsion, las bolas electrizadas están á  $28^\circ$  de distancia y que la repulsion puede equilibrar  $120^\circ + 28 = 148^\circ$  de torsion.

En tal estado se toca la bola fija con otra de igual volumen, de la misma materia y sin electrizar, que la roba la mitad de su electricidad. Destuércese en seguida el hilo de suspension hasta que de nuevo aparezca el equilibrio á la distancia de los mismos  $28^\circ$ , y se advierte que el micrómetro superior corresponde solo á  $44^\circ$ , y que por consiguiente el hilo de suspension, se ha torcido solo  $44^\circ + 28^\circ$  ó  $72^\circ$ .

Añadiendo á 72 la pérdida de  $\frac{1}{30}$  por minuto, tiempo que dura el esperimento, se tiene  $72 + \frac{72}{30}$  ó 75 y medio. Este último valor se aproxima tanto á 74, mitad de 148, que se puede, sin el menor inconveniente, despreciar el error.

Los resultados son idénticos, cuando se repite el mismo experimento con bolas, círculos, etc., de donde se sigue que la atracción y la repulsión de dos cuerpos electrizados

á la distancia  $D$ , puede representarse por  $\frac{FEE'}{D^2}$ , siendo

$E$  y  $E'$  dos constantes proporcionales á las cantidades de electricidad de cada cuerpo, y  $F$  la fuerza eléctrica en el caso en que los dos cuerpos poseyeran cada uno una cantidad de electricidad igual á la unidad y se hallaran colocados á la unidad de distancia.

Es un hecho muy curioso que la electricidad se reparte con absoluta independencia de la naturaleza de las bolas; así, la bola fija de médula de sauco pierde la mitad de su electricidad, lo mismo por el contacto de una bola semejante que por el de otra de cobre. Como la repartición de la electricidad entre cuerpos conductores de la misma forma é igual volumen, se verifica siempre en iguales proporciones, cualquiera que sea la naturaleza de las sustancias, se infiere que esos cuerpos ó carecen de afinidad química para la electricidad, ó que esa afinidad es la misma para todos.

Por esa razón, cuando el grado de tensión es el mismo, todos los cuerpos (de la misma forma é igual volumen), poseen la misma cantidad de electricidad. Es decir, la capacidad eléctrica es la misma para todos los cuerpos; resultado bien diferente del que obtuvimos en el calor. (Véase *Capacidades*, tomo I)

Pérdida de la electricidad por el aire y por los soportes: Leyes segun las cuales esa pérdida se efectúa.

442. Enseña la experiencia, que la electricidad de un cuerpo mengua y se anonada con mucha rapidez. La dis-

cusión de esa pérdida es indispensable para estudiar la mayor parte de los experimentos de la electricidad.

445. *Dos causas* parecen ser las principales que contribuyen á esa pérdida. 1º No se conoce sustancia ninguna que impida el paso á la electricidad cuando es enérgica. Para probarlo, no hay mas que formar cilindros con las sustancias que peor conducen, como el lacre, el vidrio, la goma laca y ponerlas en contacto con el conductor de la máquina eléctrica, en cuyo caso se cargan de cantidades de electricidad sensibles ó electroscópicas<sup>1</sup>, y aun puede al mismo tiempo observarse que la intension con que la electricidad se propaga en el cilindro es decreciente. Por consiguiente, es un hecho que todos los soportes ó apoyos que se emplean para aislar los cuerpos, se cargan de electricidad, y sobre todo si son cortos adquieren electricidad en toda su longitud y la pérdida es entonces inevitable. Por otra parte el vapor del aire se precipita sobre los soportes, como sobre todos los cuerpos, y aumentando su facultad de conducir, ocasionan nueva pérdida; así es, que para hacer experimentos de la electricidad es necesario secar previamente los apoyos, y demas piezas de los aparatos.

2º Como todos los cuerpos de la naturaleza estan rodeados de aire atmosférico, resulta que las partículas mas inmediatas al objeto electrizado se cargan de electricidad, y rechazadas por el primero ceden el puesto á nuevas moléculas de aire y reemplazándose unas á otras sin interrupción acaban por apoderarse de toda la electricidad.

<sup>1</sup> Quiere decir el autor que las cantidades serán tales, que podrán apreciarse con un instrumento llamado electroscopio, que á su tiempo se describirá. — N. del T.



Pérdida que ocasiona el aire.

444. Coulomb ha conseguido apreciar por separado la pérdida que el aire ocasiona. Despues de repetidos y variados ensayos se ha cerciorado de que cuando la electricidad no es muy enérgica, un cilindrito de lacre ó de goma laca de media línea de diámetro y 48 á 20 líneas de longitud es suficiente para aislar una bola de sauco de 5 á 6 líneas de diámetro; y que cuando el aire está seco, una seda bañada en una caldera de lacre hirviendo, que en tal estado forma un cilindro de un cuarto de línea, llena tambien el mismo objeto, con tal que tenga 5 á 6 pulgadas de largo. Un hilo de vidrio, preparado con la lámpara del esmaltador, de 5 á 6 pulgadas de longitud, puede solo aislar la bola en los días muy secos y cuando la carga de electricidad no es considerable; lo mismo sucede con un cabello ó con una seda, con tal que no esten untados con lacre ó mejor aun con goma laca. Reconócese que los soportes ó apoyos aislan bien, cuando multiplicándolos ó aumentando su número, no crece la pérdida de la electricidad. (*Academia des Ciencias de Paris, 1785, p. 646.*)

445. Guiado de las observaciones que anteceden, suspendió Coulomb una bolita de médula de sauco á una seda untada con lacre y terminada en un cilindrito de goma laca de 48 á 20 líneas, proporcionando tales disposiciones el casi perfecto aislamiento de la bolita. El de la bola movable lo era igualmente, pues que hemos visto, n° 457, que está sostenida por una aguja de goma laca. Ambas á dos tenian el mismo diámetro, y era tal la flexibilidad del líquido, que una palanca de 4 pulgadas y un peso de  $\frac{1}{31}$  de grano bastó para torcerle 560 grados.

Veamos el experimento: Electrizó Coulomb las dos bo-

las con un alfiler de gran cabeza, en una palabra, con lo que en español se llama una aguja á la Valenciana; se rechazaron á 40 grados de distancia y despues aumentó la torsion hasta que redujo aquella á 20°. Supongamos ahora que sea necesario, para esa operacion, torcer el alambre 440°; nótese el momento en que esas bolas, con el mismo grado de torsion, permanecen á la distancia de 20°; pero como la electricidad se pierde poco á poco, se aproximan las dos bolas algunos minutos despues de la operacion; así para poder siempre observarlas á la primera distancia de 20° se destuerce 50° el hilo de torsion (por medio del índice superior), y el rechazo las hace alejar mas de 20° pero se espera á que esten exactamente á esa distancia midiendo el tiempo que trascurre, que nosotros supondremos de 5 minutos.

Al principio del experimento era la intension  $440 + 20$  ó 460 grados.

Al cabo de tres minutos  $440 + 20$  ó 460 grados.

Es decir que menguó 50° en 5 minutos ó 40° por minuto

Pero como la intension media es  $\frac{460 + 450}{2} = 455$ , re-

sulta que la pérdida por minuto era  $\frac{40}{455}$  ó  $\frac{4}{45,5}$ .

Mediante un sin número de experimentos de este género, ha llegado Coulomb á cerciorarse de que la relacion entre la fuerza eléctrica perdida y la fuerza total, puede representarse, cuando las circunstancias del estado del aire son invariables, por una cantidad constante, es decir, que la *pérdida de la electricidad es siempre proporcional á la intension eléctrica*. Es verdadero ese resultado, cualesquiera que sean el volumen, naturaleza y figura de los cuerpos; cualquiera que sea la razon entre las cantidades de electricidad.

Parece que Coulomb tambien, armó una de las bolas de su balanza con un alambrito de cobre de 40 líneas de longitud y de un cuarto de línea de diámetro, sin que por esto fuese mayor la pérdida; aunque debe entenderse que esto solo hace referencia á cargas poco considerables de electricidad.

De los mismos experimentos se deduce, que la pérdida que el aire ocasiona es tanto mayor, quanto mas próximo está de su límite de humedad.

Pérdida que ocasionan los apoyos.

446. Conocida, por lo que antecede, la pérdida de electricidad por el mero contacto del aire, réstanos ahora investigar la que ocasionan los soportes ó apoyos imperfectos.

La primera idea que á la imaginacion se ofrece es elegir soportes que aislen imperfectamente, para que de ese modo sea considerable la pérdida con relación á la que el aire solo, produce; sin embargo un desperdicio de electricidad de tanta consideracion, ofrece un grave inconveniente. En efecto, cuando se electrizan las dos bolas, oscila la aguja algun tiempo; oscila asimismo cuando se toca el micrómetro para disminuir ó aumentar la torsion del alambre; de manera que si la pérdida se produce con rapidez, se anonada toda la electricidad antes que la aguja llegue á reposarse. Es pues indispensable servirse de aisladores perfectos, para que la intension de la electricidad no experimente variacion considerable durante los experimentos; tales son la seda, el pelo, el vidrio, etc.

En algunos de sus experimentos suspendia Coulomb la bola fija de una sola hebra de seda, en el mismo estado en que sale del capullo: tenia quince pulgadas de longitud; los diámetros de las bolas, movable y fija, eran igua-

les, y la primera se hallaba completamente aislada: mediase la pérdida como en los casos precedentes. Hiciéronse los experimentos en el mismo dia á que nos referimos al hablar de la pérdida del aire; por consiguiente se puede descontar de esta última la pérdida que hubiera resultado sin la imperfeccion de los soportes.

La primera observacion que estos experimentos ofrecen es que el decremento de la electricidad, que es al principio mucho mas rápido que si la pérdida fuera solo efecto del contacto del aire, va ganando gradualmente en lentitud á medida que disminuye la intension de la electricidad, la cual debe ser algo considerable para que la observacion sea efectiva; por lo dicho, se concebirá que ha de haber un momento en que la bola suspendida de la hebra de seda no pierde mas, que si estuviera colgada de un hilo de goma laca. Resulta de aquí, que cuando llegue ese límite, la hebra de seda de quince pulgadas de largo, es un aislador perfecto, y que conserva esa propiedad en los mas débiles grados de electricidad.

*Ese hecho es general, es decir, que para cada aislador imperfecto, existe una electricidad, que puede aislar completamente.*

Cuanto mayor es la pérdida que el aire ocasiona, tanta mayor es la de los soportes.

En fin Coulomb, ha llegado á otro resultado, á saber; que la intension eléctrica que una hebra de seda, un cabello, y cualquier otro cuerpo cilindrico de sustancias muy finas, aísla, es, permaneciendo constante el estado del aire, *proporcional á la raíz cuadrada* de la longitud; de manera, que si una hebra de seda de 1 pie de longitud, por ejemplo, empieza á aislar un cuerpo cuando su electricidad es  $A$ , una hebra de seda de 4 pies podrá aislar ese cuerpo cargado con una intension electrica  $2A$  (*Academia de Ciencias de Paris, 1785*).

Colocacion de la electricidad en la superficie de los cuerpos conductores aislados.

447. *La electricidad se coloca en la superficie de los cuerpos.* Los experimentos siguientes lo prueban. 1º Tómese una esfera hueca de metal con una abertura de 2 á 5 cent. de diámetro, y colóquesela sobre un soporte ó apoyo aislador cargándole de una cierta cantidad de electricidad; y si se quiere pónganse en comunicacion el interior y el cuerpo electrizado. Si, en seguida, se separa dicha esfera del conductor que la electrizaba, y en su interior se coloca una bolita de metal sujeta á una hebra de goma laca, se observará al presentar la última, fuera ya del interior de la esfera, al péndulo eléctrico, que no está cargada de la menor cantidad de electricidad. Si, por la inversa, se toca con la bolita la superficie de la esfera, toma la cantidad suficiente para hacer oscilar al péndulo, y si de antemano se electriza al último, podrá observarse que la esfera tenia la misma electricidad que el conductor.

Es indispensable tener mucho cuidado, al hacer el experimento, de retirar la bolita metálica con prontitud y sin que toque á los bordes de la abertura. Obsérvanse algunas veces ciertos signos de electricidad en la bola, de naturaleza diferente de la esfera, que no desaparecen aun cuando esté en contacto con cuerpos conductores. No pertenece en realidad á la bola, sino que la goma laca se la comunica á medida que la adquiere. En lo sucesivo vere-

! El péndulo eléctrico no es mas que una bolita de médula de sauco, suspendida de una hebra de seda sujeta á una vara de vidrio, de lacre, ú otro cualquier cuerpo mal conductor. — N. del T.

mos, porque la goma laca puede tomar á cierta distancia una electricidad contraria á la de la bola.

2º Se electrizan juntamente dos esferas del mismo radio, y se las separa en seguida; es evidente que de ese modo adquieren la misma cantidad de electricidad; tóquese ahora, la una con una esfera metálica maciza, y la otra con una esfera metálica hueca; cada una de las últimas robará la misma cantidad de electricidad, y las dos primeras perderán, cada una, la mitad de su electricidad, como podrá reconocerse con el *plano de prueba*. (Véase mas adelante.)

5º Hay todavía otro experimento muy curioso, para hacer patente la tendencia de la electricidad á colocarse en la superficie de los cuerpos. MN (Fig. 440) es un cilindro conductor aislado, movable al rededor de un eje horizontal: sobre él está arrollada una cinta metálica á cuyo extremo se ata un cordón de seda, y este aparato comunica con un electroscopio E, compuesto de dos alambres metálicos de cuyos extremos penden dos bolitas de médula de sauco. Si se electriza la cinta y el cilindro, se separan las dos bolas.

Desarróllase la primera, tirando del cordón de seda D; se aproximan entonces los alambres, lo cual manifiesta el decremento progresivo de la intension eléctrica, y aun podria parecer insensible la separacion de las bolas, si la cinta fuera muy larga comparativamente á la carga eléctrica del aparato. Vuelve, en fin, á aparecer la divergencia si se arrolla de nuevo la cinta sobre el cilindro, y si el aire está seco, la reaccion de los alambres es, con corta diferencia, la misma que al principio.

De estos experimentos, que con facilidad se pueden variar, resulta que la electricidad se coloca en la superficie de los cuerpos conductores, y que de ningun modo permanece en su interior. Enseña la esperiencia que la presion

del aire es la que la retiene, impidiéndola que abandone á esos cuerpos (551, tomo I).

148. Cuando el cuerpo conductor de que se trata tiene la forma esférica, la sola razon de simetría indica que el espesor de la capa eléctrica debe ser uniforme sobre todos sus puntos; hecho que la esperiencia confirma.

Aunque en lo sucesivo insistiremos sobre este punto no podemos menos de hacer notar, que cuando sobre una esfera se acumulan cantidades de electricidad que van progresivamente aumentando, es indiferente, para los experimentos, que las nuevas capas se sobrepongan á las primeras aumentando el espesor, ó que, permaneciendo el mismo el espesor, aumente la densidad de la electricidad en cada uno de sus puntos.

Método para averiguar la distribución de la electricidad en cuerpos de diversas formas.

149. Un disco pequeño de metal, aislado por medio de un hilo de goma laca, puede muy bien servir para ese objeto. Podrá con él reconocerse, no solamente la naturaleza de la electricidad, sino tambien la cantidad absoluta que se halla en cada parte del cuerpo. Para eso se le pone primero en contacto con un punto cualquiera del cuerpo, presentándole despues al disco movable de la balanza eléctrica, que de antemano debe estar cargado de una cierta cantidad de electricidad de la misma naturaleza. La reaccion del plano pequeño será proporcional á su carga (nº 542); y si se repite la misma prueba, sobre otro punto diferente del mismo cuerpo, pero sin cambiar la primera carga del disco movable, es evidente que las torsiones necesarias para colocar los discos á una distancia conocida, darán las relaciones entre las cargas del plano de prueba<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Se sabe en efecto (nº 441) que la reaccion eléctrica de dos cuerpos

Ahora es necesario ver, si un plano pequeño aplicado al cuerpo electrizado le quita una cantidad de electricidad proporcional á la intension del elemento que le toca. Hé aquí la manera de asegurarse.

1º Supóngase un cilindro conductor aislado y cargado de una cierta cantidad de electricidad; que su longitud es mucho mayor que su latitud, y que se coloque un plano de prueba primero en el centro y luego á uno de sus extremos; se encontrarán dos cantidades diferentes; truéguese en fin ese cilindro por otro de naturaleza, forma y dimensiones exactamente semejantes é igualmente aislado, y la reparticion será uniforme para los dos cuerpos; por consiguiente el primero conservará solo la mitad de su electricidad, como puede verse colocando de nuevo el plano de prueba sobre los mismos dos puntos, pues que al ejecutarlo se observa que las reacciones eléctricas se reducen á la mitad de lo que eran anteriormente. Supónese que la pérdida ocasionada por el aire y los soportes es completamente nula, pero por lo que antecede no hay dificultad en apreciarlas.

2º Sobre un aislador se coloca un cuerpo de una forma cualquiera y sin electrizar. Se le toca en un punto determinado *b* con el plano de prueba; se lleva ese plano á la

electrizados es  $\frac{FEE'}{D^2}$ ; *E*, carga del disco no movable, y *D*, distancia entre

los dos discos, son constantes; no hay pues mas que la carga del plano de prueba que sea variable; y como  $\frac{FEE'}{D^2}$  equilibra á la torsion en el

primer caso, y  $\frac{FEE''}{D^2}$  en el segundo, se tiene, si *m* y *m'* representan los

números de grados de torsion necesarios para el equilibrio,  $E':E''::m:m'$ . Y como, por otra parte, *E* y *E''* son proporcionales á las intensiones de los puntos del cuerpo que han sido tocados, se tiene tambien la relacion exacta de las intensiones.

balanza operando como anteriormente: llamemos  $B$  á la torsion correspondiente á la distancia  $D$ .

Se retira el plano de prueba y se le hace tocar un punto  $b'$ , diferente del primero. Sea  $mB$  la torsion, llamando  $m$  á su relacion con la primera.

Se repite el experimento al cabo de algunos minutos, colocando siempre el plano pequeño sobre los puntos  $b$  y  $b'$ , y aun cuando no se vuelvan á hallar las mismas torsiones absolutas á causa de la pérdida de electricidad, se advierte que su relacion es constante. Es decir, que si la primera, en este segundo caso, es  $B'$ , la segunda se convierte en  $mB'$ ; teniendo siempre cuidado de que el tiempo que pasa entre los contactos de los dos puntos  $b$  y  $b'$  sea el mismo en ambos experimentos, sin lo cual dejaria de ser proporcional la pérdida.

Pueden repetirse esas pruebas cuantas veces se juzgue conveniente, en el supuesto de que se conservará la proporcionalidad de las torsiones mientras quede electricidad sobre el cuerpo conductor.

Si se notan las épocas de las observaciones sucesivas, se advierte que la disminucion absoluta es precisamente lo que debe solo resultar del contacto del aire; quiere decir, que la repulsion del plano y de la bola movable, á una época cualquiera, es absolutamente la misma que si se hubiera puesto el plano movable en la balanza con la carga primitiva de electricidad adquirida en el punto  $b$  y  $b'$ . Trátase solo, en lo que acabamos de decir, de cargas débiles, las únicas que pueden someterse á semejantes pruebas.

Queda pues bien demostrado con estos experimentos que el plano de prueba toma cantidades absolutas de electricidad proporcionales á la cantidad total de electricidad esparcida, en la superficie de los cuerpos, en el momento del contacto; y cualquiera que sea esa suma, las cantidades adquiridas, en un instante dado, sobre dife-

rentes puntos de la superficie, guardan entre sí una razon invariable; de ahí resulta la siguiente consecuencia: *La intension de la electricidad de cada punto de una superficie, crece ó mengua en la misma relacion que la cantidad total de electricidad esparcida en toda su superficie.*

No es necesario en estos experimentos tener en cuenta la cantidad de electricidad que adquiere el plano de prueba, porque es infinitamente pequeña con relacion á la que contiene la superficie total del cuerpo.

Mas siempre es indispensable apreciar la pérdida de electricidad, lo cual puede ejecutarse segun lo que precede (n° 442). Pero aun es mucho mejor omitir esa correccion y combinar las circunstancias del experimento de tal modo que se rectifiquen por sí mismas. Supongamos, por ejemplo, que se trata de comparar las intensiones de dos puntos  $a$  y  $b$ ; se tocará primeramente el punto  $a$  con el plano pequeño y se observará despues la reaccion proporcional que resulta en el último; se hará despues otro tanto con el punto  $b$ , anotando asimismo la reaccion correspondiente. Si entre ambas observaciones se han pasado v. g. tres minutos, se esperará otros tres y se repetirá el contacto con  $a$ ; tomando ahora una media aritmética entre este último resultado y el primero, se obtendrán resultados cuya relacion será la misma que si la pérdida hubiera sido nula. Este modo de hacer las correcciones por medio de observaciones correspondientes, es sumamente cómodo, porque solo exige balanzas de poco volumen. (*Academia de Ciencias de París, 1787, pág. 425.*)

150. No se contentó Coulomb con lo que acabamos de decir, sino que tambien trató de averiguar la relacion entre la cantidad de electricidad que toma el plano de prueba, y la que tiene el elemento de la superficie que toca. Colocaba para esto, sobre un aislador, un globo de 8 pulgadas de diámetro, electrizándole á él y á la bola movable de la balanza positivamente; tocábale despues con una

bolita de 4 pulgada de diámetro, colocándola en seguida en la balanza, y advirtió que era necesaria una torsion de 444 grados para equilibrar la fuerza repulsiva á una distancia fija.

Ponia en seguida en contacto el globo mayor y un plano circular aislado, de 16 pulgadas de diámetro, y repetía el experimento del globo pequeño, y en este último caso bastó una torsion de 47 grados, para equilibrar á la fuerza repulsiva.

Para analizar debidamente este experimento, hay que considerar, que como los dos globos tienen figuras semejantes y se tocan de la misma manera, la reparticion de la electricidad debe verificarse en una relacion dependiente solo de la de sus superficies. Las reacciones eléctricas del globo mayor, en los dos experimentos, deben ser proporcionales á las del globo pequeño ó á 444 y 447; y segun lo que, de las formas esféricas, hemos aprendido, sabemos que la relacion de esos números es la de las cantidades de electricidad esparcidas sobre el globo grande en las dos épocas. Así el globo perdió por el contacto del plano 444—47, ó 97, duplo, con corta diferencia, de lo que ha conservado. Del mismo modo que  $4:4^2$ , superficie de un globo de ocho pulgadas de diámetro, es la mitad de  $2\pi 8^2$ , superficie de un plano circular de 16 pulgadas de diámetro. Segun eso, parece que en el contacto tangencial de un globo y de un plano, la reparticion de electricidad es, con corta diferencia, proporcional á las dos superficies. De otros experimentos de Coulomb, resulta que esa razon es tanto mas exacta cuanto mas pequeño es el plano.

El plano de prueba, por lo dicho, toma una cantidad de electricidad doble de la del elemento que toca, y al colocarle en la balanza, produce sobre la aguja electrizada, en atencion á su pequenez, la misma accion que un solo punto cargado de igual cantidad de electricidad. La torsion del alambre debe serle proporcional, y proporcional,

por consiguiente, á la intension eléctrica del elemento que el plano ha tocado. Se ve pues, que las torsiones pueden indicar las relaciones de la intension eléctrica de los diferentes puntos de un cuerpo.

451. En tales experimentos es indispensable tomar en cuenta la calidad de la goma laca. Parece preferible la mas oscura, pero bueno es, en todo caso, someterla á ciertos experimentos; se acostumbra á formar con ella algunos hilos y presentarlos á un conductor eléctrico; si se electrizan con facilidad se desechan y solo se admiten los que la adquieren dificilmente.

452. *Resultados.* Citaremos varios experimentos de Coulomb, para los cuales se ha servido del método que hemos descrito.

Trató en primer lugar de la distribucion de la electricidad en una lámina de acero de 44 pulgadas de longitud, 4 pulgada de largo y  $\frac{1}{2}$  línea de espeso; y con el fin de poderla tocar en toda su longitud, dió al plano de prueba 4 pulgada de longitud y tres líneas de ancho.

Comparada la intension eléctrica sucesivamente á la de los puntos situados á una pulgada de la estremidad, en la estremidad y en el borde, produjo las relaciones

$$1:1, 2...1; 2...2:4.$$

Así, del medio á una pulgada del borde, es *constante* la intension eléctrica; del medio á la estremidad erece en la razon de 1:2; en fin, cuando se aplica el plano de prueba sobre el corte de la lámina, produce una intension cuádrupla de la del centro.

Otra lámina de 22 pulgadas de longitud, y de iguales dimensiones en lo demas á la anterior, dió tambien la misma relacion entre el centro y las estremidades.

Concluyó de aquí Coulomb, que pasada una cierta longitud, suficiente para que la intension de la electricidad sea sensiblemente uniforme en una gran parte de la

superficie, un nuevo acrecentamiento, en la longitud, no influye en la relacion de las cantidades de electricidad acumuladas en los extremos y en el medio, siendo esta última la mitad de la primera.

No es esclusivamente peculiar de las láminas, el aumento rápido de electricidad hácia sus estremidades; obsérvese en general en los cuerpos prismáticos ó cilindricos, y es tanto mas rápido, cuanto mas delgados son aquellos.

Ensayando por métodos análogos á los precedentes un cilindro de 50 pulgadas de longitud y 2 de diámetro terminado en dos esferas, ha obtenido.

	Relacion.
En medio y á 2 pulgadas de la estremidad.	1:1,25
En medio y á 4 pulgada de la estremidad.	1:1,80
En medio y al estremo.	1:2,50

Asimismo ha hallado que el aumento es mucho mas rápido cuando los cilindros están adelgazados hácia sus extremos, y que si la estremidad termina en punta, aumenta á tal punto la intension, que apenas basta la resistencia del aire para contenerla. Insistiremos en este punto al hablar de los pararrayos, y al mismo tiempo describiremos un aparato muy curioso llamado *torno eléctrico*.

Experimento ejecutado sobre un disco de 10 pulgadas de diámetro.

	Intensiones eléctricas.
En el centro.	1
A 4 pulgada del centro.	1,001
A 2 id.	1,005
A 5 id.	1,170
A 4 id.	1,52
A 4, 5 id.	2,07
A 5 id.	2,90

Se ha repetido el mismo experimento con discos circulares diferentes, y del mismo modo que en las láminas se conoció, que pasado cierto límite de estension, es la misma la ley de las intensiones hácia los bordes.

Bastan los ejemplos citados para dar una idea de la distribución de la electricidad sobre los cuerpos.

Distribucion del fluido eléctrico entre varios cuerpos en contacto.

455. Coulomb ha hecho una porcion de experimentos sobre este punto, pero nosotros nos contentaremos con presentar aquí los que hacen relacion á los casos mas sencillos. En seguida veremos que los resultados de la experiencia concuerdan con la teoria.

Sean primeramente dos esferas iguales cargadas de la misma especie de electricidad (Fig. 111); la electricidad es insensible desde el punto de contacto hasta 20°.

Desde 50°, en C, hasta 90°, en D, la intension eléctrica aumenta en la razon de 208 á 1000.

Desde  $60^\circ$  en B á  $90^\circ$  en D, el aumento está en razon de 799:4000.

En fin, desde  $90^\circ$  á  $180^\circ$  el aumento es casi insensible, pues que se verifica en la razon de 4000 á 4058.

Resultados obtenidos con dos globos, cuyos diámetros estaban en la razon de 4:2.

454. (Fig. 412. Esfera pequeña). Del punto de contacto M á  $50^\circ$  en C, electricidad insensible; de  $60^\circ$  en B á  $90^\circ$  en D, relacion de 588 á 4000; de  $90^\circ$  en D á  $180^\circ$  en A, relacion de 4000 á 4555.

La intension sobre el punto D del globo pequeño, es á la intension en el punto D del globo mayor, como 4,25:4. M. Poisson ha obtenido 4,24 por medio del cálculo. Si el globo pequeño disminuye poco á poco de volumen, la razon entre la intension eléctrica en el punto A y la del punto A', tiene por límite 4 mas una cierta fraccion. M. Poisson ha hallado, por el cálculo, 4,2.

Si se paran las dos esferas, colocándolas á una distancia tal que no ejerzan influencia la una sobre la otra, la tension de la mas pequeña excede á la de la mayor y tiende á llegar á un límite que es  $\frac{2}{3}$  (M. Poisson).

Si la distancia entre ambas esferas es la necesaria para que tengan entre sí cierta influencia, toma la mas pequeña, en la parte mas próxima á la mayor, una electricidad contraria á la de que estaban cargadas las esferas. Cuando la distancia es igual al semiradio de la mayor, desaparece la electricidad contraria, y no contiene cada esfera mas que la electricidad comun. (M. Poisson).

Resultados obtenidos con 12 globos de 2 pulgadas de diámetro.

455. Los globos colocados á igual distancia del medio, contienen la misma cantidad de electricidad.

La intension del globo estremo, es á la del siguiente, como 4,50 es á 4,00, y la del globo del centro como 4,75 es á 4,00.

La disposicion de la electricidad sobre un cilindro difiere poco de la que se halla en una serie de globos iguales.

456. Coulomb ha averiguado la manera con que se verifica la reparticion entre un globo de 8 pulgadas de diámetro y cilindros diferentes en espesor, pero de la misma longitud; sus resultados son;

Siendo la intension del globo.	4,00
La intension sobre un cilindro de dos pulgadas de diámetro y de 50 pulgadas de longitud, es	4,50
En un cilindro de una pulgada de diámetro,	2,00
En un cilindro de 2 líneas de diámetro.	9,00

Siguese de esos esperimentos, que la intension eléctrica sobre un cilindro, en contacto con un globo, será tanto mas grande, cuanto mas pequeño sea el diámetro del cilindro, y que esa intension puede llegar á vencer la resistencia del aire: este resultado final hará concebir la energia de las puntas para lanzar el fluido eléctrico. (*Acad. de Ciencias de Paris* 1748).

457. M. Poisson ha sometido al analisis la distribucion del fluido eléctrico en la superficie de los cuerpos.

Segun sus trabajos el fluido eléctrico se detiene en la superficie de los cuerpos, formando una capa sumamente delgada, y su superficie exterior es igual á la del cuerpo.

y como la primera, la capa eléctrica es muy delgada, resulta que la superficie eléctrica interior es casi igual á la exterior.

Es evidente que para que el cuerpo no cambie de estado, debe ser tal la forma de la superficie que la capa entera no ejerza ni atracción, ni repulsión, sobre los puntos colocados en su concavidad. Esta condición analítica es la que determina, en general, la forma y el espesor de la capa; el primero es generalmente desigual.

En una esfera es constante. Demuéstrase en efecto que una capa de semejante naturaleza, en el supuesto de la ley del cuadrado de las distancias, no ejerce ninguna acción sobre los puntos interiores.

En un elipsoide es variable el espesor de la capa eléctrica: los correspondientes á los extremos de los dos ejes, son entre sí, como las longitudes de esos ejes.

Uno de los resultados del análisis es que la presión ejercida en un punto contra el aire, está en razón compuesta de la fuerza repulsiva de las moléculas y del espesor de la capa en ese punto; y como cada uno de esos dos elementos es proporcional al otro, resulta que la presión ejercida contra el aire es proporcional al cuadrado del espesor de la capa eléctrica.

Todos los resultados que ha obtenido analíticamente M. Poisson, y que por su naturaleza han podido experimentarse, han quedado confirmados, sobre todo, por los trabajos de Coulomb.

M. Poisson se ha ocupado asimismo en la distribución del fluido sobre muchos cuerpos electrizados sometidos á su mutua influencia. El modo con que la electricidad se coloca está sujeto á un principio general, que tiene la ventaja de referir todas las cuestiones de ese género á una condición matemática. Hé aquí su enunciado.

Sí varios cuerpos conductores electrizados están unos en presencia de los otros, y adquieren un estado eléctrico

permanente, será preciso, en este estado, que la resultante de las acciones de las capas eléctricas, que los cubren, de un punto cualquiera, tomado en el interior de uno de ellos, sea completamente nula; porque si no fuera así, la electricidad que reside en el punto que se considera, se descompone, y cambia el estado eléctrico, lo que es contra el supuesto de su permanencia.

Ese principio evidente por sí mismo da, puesto en cálculo, tantas ecuaciones como incógnitas presenta la cuestión. La resolución de esas ecuaciones es superior muchas veces á los recursos del análisis, y á las personas en él ejercitadas recomendamos la memoria original (*Memorias del Instituto de Francia, 1811.*)

#### De las máquinas eléctricas.

458. Para que los efectos de la electricidad sean de alguna consideración, es necesario frotar, unas con otras, grandes superficies. En la máquina eléctrica que se emplea en la actualidad, se produce la electricidad por la frotación de unas almohadillas de cerda contra la superficie de un disco de vidrio vertical y atravesado por un eje que le hace girar circularmente (Fig. 445 y 444). Se untan las almohadillas primeramente con una sustancia grasa, y después ó con oro recusivo (deuto-sulfuro de estaño) ó con una amalgama de estaño y mercurio, ó en fin con una aleación de 4 parte de estaño, 2 de zinc y 4 de mercurio. Tales son, en resumen, las sustancias que la experiencia ha indicado como más á propósito para desarrollar la electricidad. ®

A corta distancia del disco hay varias puntas metálicas horizontales que atraen la electricidad á medida que se desarrolla. Forman esas puntas parte de un cilindro de cobre, que se llama conductor, y que ordinariamente

tiene la figura de una herradura. Es indispensable que haya tantas de esas herraduras, como pares de almohadillas; para que el disco esté descargado al tiempo de pasar por en medio de ellas es asimismo muy conveniente colocar las puntas á los dos lados del disco de vidrio, para que se descargue por ambos costados. Pero como esas puntas aumentan la pérdida del conductor, puede ser que fuera mejor reemplazarlas con unas bolitas.

El conductor de la máquina debe estar aislado; esto se consigue haciéndole descansar en pies de vidrio untados de lacre ó aun mejor de goma laca.

En fin todo está dispuesto de modo que la frotacion se verifica en una grande estension y durante mucho tiempo. Las almohadillas, en efecto, se adhieren con facilidad á la superficie del vidrio, por medio de un resorte que hace aproximarse á los dos largueros de madera de la armadura que las sostiene. Las almohadillas se cargan en esta máquina de electricidad negativa y el disco de positiva. Es necesario que los primeros comuniquen con el suelo de la habitación, mas generalmente con el receptáculo comun, por medio de una cadena metálica, sin lo cual serian poco enérgicos los efectos de la máquina; porque como las almohadillas estan cargadas de electricidad negativa al cabo de cierto tiempo cesaria el desprendimiento de electricidad. En efecto; supóngase que esa electricidad puede vencer la resistencia del aire, y en ese caso el disco de vidrio no adquirirá mas que la cantidad de electricidad positiva correspondiente á la cantidad de negativa, que de ese modo pudiera disiparse.

Mas clara y generalmente: llamemos  $+e$  á la cantidad de electricidad positiva del disco y  $-e$  á la cantidad de negativa de las almohadillas. La electricidad negativa

<sup>1</sup> Basta casi siempre la madera (buen conductor) en que están sostenidas para llenar esa condicion. — N. del T.

atrae á la positiva del disco, y esta última debe menguar. Si al sistema en general se le añade  $+2e$ , es decir  $+e$  á cada cuerpo, resulta que  $+e$  (cantidad añadida á las almohadillas) y  $-e$  (que antes tenían) se destruyen, y que al disco le queda  $+e$  (que adquiere) y  $+e$  (que tenia) lo que es igual á  $+2e$ .

459. Cuando la fuerza repulsiva de la electricidad de que los conductores se cargan, iguala ó vence á la resistencia del aire, cesa la acumulacion de la electricidad. Con el objeto de aumentar en lo posible esa fuerza repulsiva se hace bien unida y compacta la superficie del conductor, evitando, sobre todo, las puntas<sup>1</sup>.

460. Para producir grandes descargas ó chispas eléctricas que se lanzen á gran distancia sobre los cuerpos inmediatos, se emplean con frecuencia, otros conductores ó cilindros de cobre ó de hoja de lata, llamados *conductores secundarios*, que se suspenden á los de la máquina ó con unos cordones ó con tubos de vidrio ó en fin con un cuerpo que pueda aislarlos. Es muy conveniente darles la forma adecuada para que la capa eléctrica sea la mas espesa posible comparativamente á la del conductor de la máquina. Los cilindros de gran longitud y corto diámetro

<sup>1</sup> Olvida el autor otra circunstancia, bastante esencial. El aire atmosférico, poco que mucho, siempre es conductor de la electricidad. De aqui resulta que, renovándose continuamente, ya por el movimiento propio de los fluidos, ya por la velocidad del disco, la capa que rodea al último, va poco á poco llevándose la electricidad, y debilitando la carga que los conductores debieran recibir. Con objeto de evitar, ó cuando menos disminuir esa pérdida, se cubre, el disco de vidrio, con una funda de tafetan barnizado, cortado en cachos de á cuarta parte de círculo, para que no estorben el movimiento del disco, ni le impidan descargarse al pasar por las puntas, y cargarse al pasar por las almohadillas. El autor cree que, en vez de ser útil, es perjudicial esa precaucion; pero la mayor parte de los autores participan de la opinion contraria. — N. del T.

son los mas á propósito para llenar esa condicion. Volta se sirvió de un sistema de 12 cilindros de 6 líneas de diámetro y 8 pies de longitud, que comunicaban entre sí, aunque con la separacion suficiente para que no se estorbasen por su mutua influencia. Ocupaba 12 pies cuadrados de superficie, y lanzaba grandes chispas ó centellas, produciendo sensaciones muy enérgicas sobre los órganos.

Coulomb puso en comunicacion entre sí cilindros de bastante longitud; representando por  $r$  y  $r'$  sus diámetros y por  $e$  y  $e'$  los espesores de las capas de electricidad que adquirian, halló

$$\frac{e'}{e} = 0,48784 \frac{r}{r'}$$

tomando la linea por unidad.

Ademas de la propiedad ya señalada, tienen los conductores secundarios otra no menos interesante. Cuando cesa el movimiento de la máquina, se disipa la electricidad por las puntas del conductor; pero acumulándose la electricidad en los conductores secundarios, no hay mas que interceptar la comunicacion entre esos y el de la máquina y se evita la pérdida que de otro modo hubiera sido inevitable.

461. Sobre el conductor de la máquina se coloca generalmente un instrumento llamado electrómetro de cuadrante de Lamé, representado en la figura 445; y por el número de divisiones que recorre la aguja se forma idea de la energía de la electricidad. Si la máquina funciona en tiempos secos, bastan dos ó tres vueltas para que la carga llegue á su máximo.

462. La máquina que acabamos de describir no produce mas que electricidad positiva; si se quisiera obtener la negativa, no habria mas que hacer comunicar el disco con el suelo ó receptáculo comun, y los coginetes con los

conductores<sup>1</sup>. En la máquina que posee la Facultad de ciencias de París, construida por M. Fortin con el modelo de la de M. Van Marum de Harlem, el conductor es movable y puede comunicar, segun se quiere, ó con el disco ó con los coginetes.

M y M (Fig. 446 y 447) es el conductor, AB la herradura de ese conductor, que por medio de unos goznes gira y se coloca unas veces vertical y otras horizontalmente: los pies derechos  $a$  y  $b$  son de vidrio ó de una sustancia que pueda aislar los coginetes que sostienen; CD es otra herradura que gira lo mismo que la AB colocándose ú horizontal ó verticalmente, aunque por medio de una cadena, está siempre en comunicacion con el receptáculo comun;  $s$ , es el disco de vidrio. Para obtener en el conductor M electricidad positiva, se dispone la máquina como indica la Fig. 446, á saber: los brazos A y B se colocan verticalmente tocando al disco de vidrio, y los C y D en contacto con los coginetes, de manera que la electricidad de estos últimos pase al receptáculo comun. Para obtener la negativa, se ponen los brazos A y B horizontalmente en comunicacion con los coginetes (Fig. 447.) y los C y D, tocando al disco para que su electricidad pase al receptáculo comun; y para que los coginetes transmitan la electricidad con mayor facilidad se los guarnece con placas de metal.

« Pueden tambien construirse máquinas que se carguen

<sup>1</sup> Para obtener las dos á la vez, se construyen de vidrio, en vez de madera, los largueros que sostienen las almohadillas; se ponen estas últimas en comunicacion con otro conductor, y de ese modo se obtiene electricidad positiva en el de la máquina, y negativa en el nuevo conductor. — N. del T.

<sup>2</sup> La explicacion que da el autor es tan confusa, y está tan llena de contradicciones, que nos vemos en la precision de abandonar por un momento el original, para decir lo que nosotros hemos comprendido. — N. del T.

de electricidad negativa, frotando tafetan barnizado contra una piel de gato. La fig. 421 representa la disposicion mas simple que puede darse á ese aparato.

La máquina de Nairne, es una de las mas sencillas y cómodas para obtener la electricidad que mas convenga. Compónese (Fig. 418.) de un cilindro hueco de vidrio terminado por sus extremos en dos cilindritos de metal que le sirven de gorriones y que descansan en dos aisladores. En uno de ellos hay un manubrio para hacer girar al cilindro, el cual en su movimiento roza contra unos coginetes de cerda sujetos á un cilindro de metal *r*, y se descarga de la electricidad adquirida en las puntas de otro cilindro, tambien conductor *v*. Este último se carga de electricidad positiva y el primero de negativa; de manera que poniendo uno ú otro en comunicacion con el receptáculo comun se puede, segun convenga, obtener una ú otra electricidad.

465. Citaremos algunos de los experimentos que se acostumbra á ejecutar en los gabinetes de física con las máquinas eléctricas.

Al extremo del conductor y comunicando con él se coloca un disco metálico AB (Fig. 420.) y un poco mas bajo otro semejante pero en comunicacion con el suelo; entre ambos se coloca un cuerpo ligero *mn* lastrado en el punto *n*. Se hace funcionar la máquina en seguida, y el cuerpecillo sube; pero en el momento que toca al platillo es repelido, pues que posee la misma electricidad. Cuando llega á CD vuelve al estado natural ó neutro, y el fenómeno comienza de nuevo.

Tambien se hace de otro modo el mismo experimento. ABCD (Fig. 449.) es un cilindro de vidrio, cerrado por la parte inferior con una placa de metal que comunica con el suelo, y por la superior con otra placa de la misma naturaleza en comunicacion con el conductor de la máquina. En su interior se ponen varias bolitas de médula de sauco

que alternativamente suben y bajan sin intermision; suele llamarse danza eléctrica á ese juguete que sin embargo sirvió á Volta para esplicar el granizo. (Véase el artículo Meteorología.)

De las electricidades disimuladas. — De su separacion á distancia.

464. En todo cuanto precede hemos considerado los cuerpos electrizados por frotacion ó trasmision de contacto. Nos ocuparemos en este artículo en la electricidad producida á distancia por la sola influencia de un cuerpo electrizado.

Para hacer patente la descomposicion á distancia, se toma un cilindro conductor N (Fig. 422.) terminado por sus extremos en dos semi-esferas, y á él se atan una porcion de pendulitos; tóquesele con la mano para ponerle en estado natural y preséntesele en seguida, á una distancia bastante grande, para que haya explosion, un cuerpo electrizado M, y se observarán los fenómenos siguientes.

Los hilos colocados en los extremos A y B del conductor N se separan, y esto prueba que está electrizado.

Hacia el centro es nula la divergencia y va progresivamente aumentando hasta los extremos.

Ese punto varia de posicion á medida que se aproxima ó aleja el cuerpo electrizado.

Segun lo dicho en el párafo 457, cesa la descomposicion de la electricidad, cuando la cantidad resultante de todas

<sup>1</sup> El cuerpo humano es conductor de la electricidad, y fuera de los casos extraordinarios se halla en estado natural; si el cilindro poseyera una cualquiera de las dos electricidades, se descompondria el fluido de la persona en dos porciones; la de naturaleza contraria á la del cilindro se combinaría con ella, y él quedaria en estado natural, y la persona conduciría al receptáculo comun la restante, ó de la misma naturaleza que la del cilindro. — N, del T.

las acciones de las tres electricidades aisladas, es completamente nula sobre una molécula  $pn$  de fluido neutro.

Una bolita de sauco, en el estado natural, suspendida á un hilo ó seda, y presentada á los diferentes puntos del cilindro es atraída por todas partes, escepto por el centro que se halla en estado natural. Si está previamente electrizada, uno de los extremos la atrae y el otro la repele; lo que prueba que cada estremidad se halla cargada de una electricidad particular.

Si se coloca el plano de prueba <sup>1</sup> sucesivamente en cada uno de los extremos, se advierte que el mas distante del cuerpo conductor posee la misma electricidad que este último, y que el mas próximo tiene una electricidad diferente: si se separa el cilindro agarrándole por sus soportes ó apoyos aisladores, vuelve de nuevo á su estado natural.

El cuerpo electrizado no pierde nada por la influencia que ejerce sobre el conductor cilindrico, como puede observarse por medio del plano de prueba. Todos los fenómenos de que acabamos de hablar, pueden reproducirse un sin número de veces.

Como el experimento anterior se verifica siempre, cualquiera que sea el conductor, resulta que las dos electricidades existen en todos los cuerpos, y combinadas de modo que se equilibran; y puesto que los fenómenos se reproducen sin la menor variacion, resulta tambien que el equilibrio puede romperse sin que las dos electricidades se alteren.

Estos hechos aclararán lo que dijimos en nuestras primeras nociones sobre la electricidad, á saber; que el cuerpo frotado y el frotante se cargan de distintas electricidades.

<sup>1</sup> El plano de prueba no es mas que una hojita de papel dorado de algunas líneas de diámetro, pegada á su mango de goma laca. — N. del T.

Hacemos siempre abstraccion de la pérdida de electricidad, pero á no ser que el aire esté muy seco; ó este ó los soportes absorven siempre una parte. Por consiguiente, si una parte de la electricidad positiva del conductor N, es repelida por el cuerpo cargado de electricidad positiva, con bastante fuerza para vencer la resistencia del aire, ese conductor conserva un exceso de electricidad negativa, despues de haberle sustraído á la influencia del cuerpo electrizado. Si una parte de la electricidad negativa se precipita sobre el cuerpo M, se advierte que el N, despues de haberle alejado, está cargado de electricidad positiva.

165. Ya sabemos que los cuerpos electrizados atraen los cuerpos ligeros; podemos ahora probar experimentalmente, que la atraccion no es en realidad mas que el efecto de las dos electricidades. Si á dos hebras muy finas de seda se suspenden dos bolas de goma laca bien purificada, una cubierta con una hojilla metálica y la otra en estado natural, y si á una de ellas se aproxima un cuerpo electrizado, v. g. una barra de lacre ó un vidrio frotados, se observa que en los primeros momentos solo atrae la bola metálica, y que la otra tarda algunos instantes en aproximarse, precisamente el tiempo que tarda en descomponerse la electricidad de la superficie.

166. Cuando el cuerpo M opone una resistencia invencible al movimiento de la electricidad, el fluido natural no se descompone.

Si es, por la inversa, buen conductor, las dos electricidades de N, que se hallan separadas, obran sobre el conductor M descomponiendo una porcion de su fluido natural; esa descomposicion produce otra nueva en el cuerpo N, y solo cesarán las descomposiciones, cuando haya equilibrio entre todas las fuerzas repulsivas ó atractivas de una molécula  $pn$  de fluido neutro.

Cuando se toca el extremo A del conductor N, dismi-

nuye la divergencia de los hilos colocados en A, y aumenta por la inversa la de los hilos del extremo opuesto. Si se retira el cuerpo electrizado, queda el cuerpo N cargado de electricidad negativa, si M lo estaba de positiva, y recíprocamente. En efecto, la electricidad positiva es rechazada y pasa á los cuerpos circunvecinos; la negativa, retenida por la presencia del cuerpo electrizado, ha debido hallarse en exceso, y aun ha debido aumentar, pues que la positiva, habiendo pasado al receptáculo común, no ha podido atraerla. Este experimento nos servirá al tratar de los condensadores. Si se le hubiera tocado con un conductor aislado en estado natural, se observará igualmente, despues de retirar el cuerpo electrizado, que el conductor N se hallaba cargado de electricidad negativa, bien es verdad que en menor proporcion.

Del mismo modo quedará electricidad negativa cuando se toque el punto B. Si D es un cuerpo que comunica con el suelo, sucederá que M atraerá su electricidad negativa repeliendo al mismo tiempo la positiva. Y entonces la negativa, añadida á B, atraerá la positiva del extremo A neutralizándola, pues que suponemos que hay equilibrio.

El experimento siguiente demuestra la influencia recíproca de las dos electricidades, por separado, del cuerpo N. Se toma una bola de sauco (Fig. 425), y se la aproxima, por ejemplo, á un cuerpo electrizado positivamente graduando la distancia conveniente para que no se precipite sobre el cuerpo; si se los pone en seguida en contacto, pasa inmediatamente la electricidad positiva al receptáculo común y la bola se precipita sobre el cuerpo.

466 a. Se toman dos discos delgados de vidrio, semejantes á los CD y C'D', cuyos diámetros son de algunas pulgadas y sus superficies muy planas. A cada uno de ellos se le adapta un mango de vidrio cubierto de lacre, y frotándolos entre sí y presentándolos juntos á un péndulo eléctrico, no se advierte la menor atraccion; pero si se apro-

ximan por separado al mismo aparato, se observa que ambos le atraen. Cuando el péndulo está cargado, se ve que uno está cargado de electricidad positiva y otro de negativa. En el primer caso, es decir, cuando los discos estan reunidos, las electricidades del péndulo, destruyen sus acciones y la resultante es cero; he aquí porque el péndulo permanece en reposo.

Puede variarse el experimento. Se aproxima el péndulo á uno de los discos y le atrae inmediatamente; se acerca poco á poco el otro disco á su compañero y el péndulo va alejándose hasta que los discos se unen, en cuyo caso vuelve á su posicion vertical.

Citaremos todavía otro experimento en apoyo de los precedentes.

A y B, en la fig. 425, representan dos discos metálicos sostenidos por unos aisladores que pueden aproximarse ó alejarse; y cada uno de ellos, como se ve en el dibujo, lleva un pendolito al costado. Se carga el A de una cierta cantidad de electricidad, positiva ó negativa, segun se quiera: supongamos el último caso; es evidente que descompone el fluido neutro de B; atrae el positivo y rechaza el negativo, y los dos péndulos se desvian de la vertical. Si se toca despues el disco B, la electricidad negativa, que el A habia rechazado, pasa inmediatamente al receptáculo común. Si se alejan los discos, aumenta el desvío de los péndulos; disminuye si se los aproxima, y desaparece cuando llegan á tocarse.

Con estas nociones generales, es ya facil comprender la teoria del electróforo de los condensadores, y de la mayor parte de los instrumentos fundados en las propiedades de la electricidad.

*Permitanos el autor añadir algunos experimentos que encontramos en la obra del Sr. Pouillet, pues que tal vez no serán superfluos para lo que en lo sucesivo se ha de decir. El primero que vamos á citar puede pasar por repe-*

ticion de lo que el autor ha dicho ya; sin embargo nos lisonjamos, al colocarle aquí, de que el lector encontrará alguna novedad.

« Un cuerpo electrizado descompone<sup>1</sup>, á cierta distancia, las electricidades naturales de todos los cuerpos conductores. Ya hemos visto, que cada uno de los fluidos eléctricos atrae el fluido de nombre contrario al suyo y rechaza el del mismo nombre; añadimos ahora que esas atracciones y repulsiones no solo se verifican entre los fluidos libres, y de antemano descompuestos, sino también con los fluidos en continuacion; de aquí resulta que un cuerpo conductor puede, *sin perder ni recibir nada*, adquirir un estado eléctrico particular, procedente de la causa á que se halla sometido, y que pierde cuando esa causa cesa de obrar. Esa electricidad producida á distancia se llama *Electricidad de influencia*.

« Se suspende de un gancho de vidrio (Fig. 426.) un anillo de cobre y se le cuelgan unos pendolitos de sauco atados á unos alambres finos de metal; se presenta un cuerpo *r*, electrizado resinosamente, y cuando la distancia es de un pie poco mas ó menos, se observa que las bolas se separan y toman las posiciones *bb'*; la separacion es mayor cuando la distancia del cuerpo al anillo disminuye, y sin embargo entre esos cuerpos no aparece la chispa eléctrica. La repulsion prueba que las bolas estan cargadas de la misma electricidad; y aun mas que su electricidad es resinosa como la del cuerpo *r*. No se debe concluir de ahí que la electricidad se comunica á través del aire, porque alejando el anillo, rápida ó lentamente, va disminuyendo la divergencia á medida que la distancia aumenta, y es nula cuando esa distancia es considerable; cir-

<sup>1</sup> *Traité de Physique expérimentale et de Météorologie*, par M. Pouillet, tom. I, pag. 598.

cunstancia que no se verificaria si las bolas ó el anillo hubieran recibido del cuerpo *r* una electricidad cualquiera. Todo el fenómeno, por consiguiente, pasa en las bolas y el anillo y los alambres que los reunen. Los fluidos naturales de todos esos cuerpos se descomponen por la influencia del cuerpo electrizado: todo el fluido vítreo, que de esa descomposicion resulta, se reúne en el anillo en virtud de la atraccion de *r*, y el resinoso va á colocarse, en las bolas, en virtud de la repulsion. De manera, que esos fluidos han perdido únicamente su posicion, y recobran su primitiva en el momento en que la atraccion del cuerpo *r* es inferior en energia á la atraccion mutua del fluido vítreo del anillo y del resinoso de las bolas.

« Para desechar cualquiera duda que pudiera quedar acerca de esa verdad fundamental, no hay mas que tocar el anillo con un plano de prueba, retirándole al momento, y examinar despues de qué electricidad está cargado. Se acostumbra á decir que un cuerpo está en la *esfera de actividad* ó fuera de la *esfera de actividad* de otro electrizado, segun que está ó no sometido á su influencia; es necesario advertir que esas espresiones, de que se puede hacer uso sin el menor inconveniente, se refieren mas bien al cuerpo sometido á su influencia que al mismo cuerpo electrizado. En rigor, la esfera de actividad de un cuerpo se estiende al infinito, pues la distancia á que nosotros podemos hacer sensibles los efectos depende de la movilidad de nuestros aparatos.

« Puede disponerse el experimento de la manera siguiente: *cc'* (Fig. 427) es un *escitador* (llámase así á un vástago de laton terminado del modo que representa la figura; casi siempre se estira y encoje como los anteojos de larga vista); suspéndese un pendolito á cada uno de sus extremos, ó con una hebra de hilo ó con un alambre de metal, y se le coloca encima de un aislador *s*; al aproximar el cuerpo electrizado *r* las bolas se separan. Si el

cuerpo, como la figura indica, está electrizado resinosamente, el fluido vítreo se acumula en la parte del escitador mas próxima, y el resinoso pasa al extremo opuesto, como se comprueba aproximando un tubo de vidrio electrizado ó una barra de lacre, ó bien recojiendo la electricidad con el plano de prueba para despues examinar su naturaleza. Si el cuerpo *r*, estuviera electrizado vítreamente los fenómenos serian inversos.

« Un cuerpo electrizado por influencia electriza á los cuerpos que se hallan en su esfera de actividad, y sus acciones sucesivas pueden propagarse á grandes distancias. No hay mas que echar una ojeada sobre la figura 128 para concebir la disposicion que puede darse á los aparatos para ese género de esperimentos.

*m* es el conductor de la máquina;

*c* un cilindro aislado;

*c'* otro semejante;

*b* una bola de cobre

y *b'* una bolita de sauco.

« La divergencia de las bolas anuncia la presencia de la electricidad y los signos  $+$  y  $-$  indican su especie.

« Cuando un cuerpo conductor está cargado de electricidad, no por eso deja de experimentar la influencia de otro cuerpo electrizado; un solo experimento bastará para mostrar el sin número de curiosos fenómenos que pueden resultar de ese principio. Electrízase resinosamente el anillo de los péndulos de que hemos hecho mencion en los esperimentos que anteceden; al presentarle un cuerpo electrizado, como él, resinosamente, aumenta la divergencia de las bolas, y su electricidad resinosa es rechazada á las bolas por la resinosa, tambien, que obra sobre él por influencia, ó si se quiere, sus electricidades naturales se separan, y la resinosa se reúne en las bolas á la que ya de por sí tenían; la positiva á la inversa pasa al anillo, y allí neutraliza una porcion de resinosa combinándose con ella.

A veces son tales las cargas primitivas del anillo y la del cuerpo que se le presenta, que durante la influencia, el anillo puede hallarse con electricidad negativa, ó adquirir su estado natural, ó cargarse de electricidad vítreo; hechos todos que pueden reconocerse con el plano de prueba.

« Tales fenómenos son mucho mas aparentes cuando se carga de antemano el anillo de una cierta cantidad de electricidad vítreo; aproximando entonces cuerpecillos cargados de resinosa, se advierte que las bolas se acercan, que se tocan y que vuelven á separarse; esto prueba evidentemente que el anillo ha atraído poco á poco á la vítreo, que se ha reunido en totalidad, y en fin que cuando la distancia se ha estrechado, una nueva descomposicion de fluido ha hecho separarse á las bolas.

« Los cuerpos electrizados por influencia vuelven á su estado primitivo desde el momento en que aquella cesa. Puesto que la descomposicion es instantánea en los cuerpos conductores, la recompensacion debe ser asimismo instantánea en el momento de destruirse la causa perturbadora.

« Puede verificarse esa destruccion de dos maneras: si quiere hacerse gradualmente, no hay mas que ir sacando chispas de los cuerpos electrizados por medio de otro aislado, ó aumentar la distancia del cuerpo conductor que recibe su influencia. Para hacerlo súbitamente se saca de un golpe una gran chispa del cuerpo electrizado, y queda totalmente descargado.

« La recomposicion en el primer caso, del mismo modo que la disminucion de la fuerza, es gradual, como se advierte en la divergencia de las bolas. En el segundo caso, las dos electricidades, separadas por influencia, se reúnen por su mutua atraccion, recomponiéndose en totalidad, segun se infiere de la union de las bolas que es súbita y completa.

« Durante esos fenómenos, ni el uno ni el otro de los fluidos sale de la masa sometida á la influencia eléctrica, pero entrambos experimentan un movimiento de traslación en la estension de esa masa, sea cuando se separan, sea cuando de nuevo se reunen. Los movimientos rápidos de la electricidad producen sacudimientos mecánicos ó efectos químicos muy notables en las moléculas de los cuerpos ponderables.

« Por ejemplo, una rana preparada y dispuesta como se ve en la figura 429, no parece experimentar ningun efecto, cuando se hace girar lentamente la máquina que, como ya sabemos, carga de electricidad vitrea al conductor *c*; su electricidad natural se descompone, sin embargo, por influencia; quédase la resinosa en *r* y pasa la vitrea por el alambre *s* al receptáculo comun; si despues se saca una chispa del conductor, la súbita recomposicion de las electricidades de la rana produce una convulsion en todo su cuerpo, haciéndola saltar como si sus movimientos fueran voluntarios; prueba terminante de que la electricidad, al pasar al estado neutro ó natural, mas claro, al combinarse las electricidades de nombre diferente, agitan las moléculas de los cuerpos que atraviesan. Las conmociones de este género se llaman *choque de retroceso*. Si la rana estuviera muerta despues de 4 ó 5 dias el éxito del experimento no seria seguro, pero sí con una rana recién muerta, y aun mucho mejor con una rana viva tal cual sale del agua.

« Un hombre, en presencia de una máquina poderosa, experimenta sacudimientos análogos; este experimento puede hacerse con un conductor de gran superficie: cuando se colocan dos personas á los extremos de ese conductor, no advierten la menor sensación ínterin la máquina

† Mas claro nos parece decir que la causa de esas conmociones es el *choque de retroceso*. — N. del T.

se carga, pero si una de ellas se acerca bastante para sacar chispas, la otra experimenta al instante toda la violencia del *choque de retroceso*, sin que se advierta ni luz ni electricidad entre ella y el conductor.

« Al estudiar los efectos del rayo, veremos que una nube tempestuosa puede hallarse en circunstancias análogas y herir á la vez por *choque directo* y *choque de retroceso*.

« Cuando el cuerpo conductor que recibe la influencia eléctrica no está en comunicacion directa con el suelo, puede hacerse de modo que poco á poco pierda la electricidad que es rechazada, y que despues de un golpe y con una sola chispa pierda la otra electricidad acumulada en su superficie, como se verifica con el pistolete de Volta (que mas adelante se describirá) colocado cerca de uno de los conductores de la máquina.

« Tocando los cuerpos, cuando se hallan todavía sometidos á la influencia, puede sacarse la una ó la otra electricidad; pero no se les puede cargar sino de una sola electricidad, poniéndolos en comunicacion con el suelo. Tomemos de nuevo uno de los cilindros de la figura 428, y supongamos que su electricidad natural se descompone por la influencia de la máquina: que el fluido resinoso pasa á *r*, que el vitreo se halla en *v*, y que la línea neutra *nn'* marca los puntos que separan los dos fluidos contrarios. Si en tal estado se le toca con un plano de prueba, se tomará electricidad resinosa si el contacto se verifica en la region *nr*, vitrea, si en la region *nv*, y nada absolutamente si dicho contacto se verifica sobre la línea neutra *nn'*. Pero si en lugar de un plano de prueba se le pone en contacto con el suelo, los resultados serán diferentes; si la comunicacion se establece entre el suelo y uno de los puntos de la region *nv*, se va todo el fluido vitreo, y el resinoso permanece todavía por la atraccion del vitreo de la máquina; si la comunicacion es con uno de los de la re-

gion  $nr$ , del mismo modo que anteriormente se va el vitreo y permanece el resinoso.

« Este notable fenómeno, es tan susceptible de comprobacion como facil de explicar; el alambre que pone en comunicacion el cilindro con el suelo, experimenta tambien los efectos de la influencia; su fluido vitreo es rechazado y pasa al receptáculo comun, y el resinoso, atraido por el cilindro, neutraliza todo el fluido vitreo que ese contiene; el resultado es el mismo que si el cilindro hubiera estado en comunicacion con el suelo antes de experimentar la influencia de los conductores de la máquina.

« Luego, si, tocando la region  $nr$  con el plano de prueba, que es muy pequeño, se obtiene electricidad resinosa, y si poniéndola en comunicacion con la tierra, que es muy grande, se obtiene la vitrea, necesario es que existan cuerpos aislados de una cierta dimension que no pueden extraer ni la una ni la otra.

« Esta consecuencia es importantísima, y la presentamos ahora con el solo objeto de indicar de antemano que en la descomposicion por influencia, el lugar y la forma de la linea neutra dependen de una porcion de condiciones, y que en el contacto de los cuerpos electrizados se producen fenómenos muy complejos. » (Pouillet) <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Parecia mas natural continuar ahora, como M. Pouillet hace en su tratado, con la descripcion de los Electroscopios, pues dice que ha sido necesario construir, para los fenómenos de la electricidad por influencia, instrumentos que conserven la electricidad mejor que los ya descritos, etc. El autor, sin embargo deja esta materia para mas adelante; nosotros le seguiremos por no alterar en lo posible el texto; pero antes de volver á tomar el hilo de su obra, añadiremos á lo dicho lo que sobre la electricidad disimulada encontramos en el tom. I, pág. 425 del Tratado de M. Pouillet. — N. del T.

Del disimulo de la electricidad, y de su recomposicion lenta ó súbita.

467. « Concibamos dos discos conductores  $a, a'$  (Fig. 450) separados por una lámina que conduzca mal la electricidad como el vidrio ó la resina; cuando el disco  $a$  recibe, por ejemplo, electricidad vitrea y el  $a'$  resinosa, se atraen entrambas al traves de la lámina  $n$  comprimiendo sus caras opuestas: se dice entonces que esas electricidades son disimuladas. Y, en efecto, despues de haber cargado los dos discos, puede tocarse el uno ó el otro sin que su fluido pase al receptáculo comun; es indispensable, sin embargo, tocarlos *separada* y de ningun modo *simultáneamente*; y si el fluido, del que se toca, no obedece á su fuerza repulsiva, es porque el fluido del otro le llama hácia sí constantemente. Así, es un hecho que las cargas eléctricas se acumulan sobre los discos, comprimen las caras opuestas de la lámina intermedia, y permanecen disimuladas, con tal que no se ponga en comunicacion con el receptáculo comun mas que una sola. Supongamos que los dos discos tengan, matemáticamente hablando, la misma forma y magnitud; que la lámina  $n$  sea perfectamente plana por ambas caras é uniformemente espesa en toda su estension, y que la máquina, ó el manantial que sea, que da la electricidad vitrea, por medio del alambre  $f$  al disco  $a$ , tenga exactamente la misma fuerza que el que da la electricidad resinosa al disco  $a'$  pasando por el alambre  $f'$ ; de tal modo que todo sea simétrico por los dos lados del plano que pasa por el medio del espesor de la placa  $n$ ; es pues evidente en ese caso, que los dos discos tendrán cargas iguales, y que en los puntos simétricamente colocados sobre cada uno de ellos, las tensiones eléctricas serán asimismo iguales. Esto asentado, hé aquí un principio fundamental de la electricidad disimulada. Despues de

haber cargado el aparato de una porcion cualquiera de electricidad y de haberle aislado, interceptando la comunicacion de los alambres  $f$  y  $f'$  con el suelo, se advierte que siempre el *disimulo es incompleto*, es decir que no hay ningun punto ni en los discos ni en los alambres en que la tension sea totalmente nula. Es tan escesiva en las caras interiores  $i$  é  $i'$ , que si estas tienen la estension suficiente oprimen de tal modo á la lámina  $n$  que las electricidades la atraviesan para reunirse; si la lámina es de resina ó de azufre los agujeritos son casi imperceptibles; pero si es de vidrio no hacen mas que un agujero, y se precipitan con estrépito para recombinarse. La tension eléctrica que las caras exteriores  $e, e'$  y los alambres  $ff'$  ejercen contra el aire es sumamente debil, aunque no puede dudarse de su existencia, pues el plano de prueba la acusa y si se aproximan los nudillos de los dedos á los dos discos sucesivamente, se obtienen algunas chispitas. El disimulo no puede ser completo, porque la mayor parte de los fluidos se acumula en las caras  $i$  é  $i'$  y estan separados por la lámina  $n$ , siendo imposible que se neutralicen hasta que lleguen á tocarse. Es pues evidente que cuanto mas delgada sea la lámina tanto mas completo es el disimulo; pero tambien es cierto que cuanto mas delgada es, tanto menos resistencia opone á los fluidos. Esta causa, como veremos, es la que limita el punto hasta que podemos acumular la electricidad.

« Cargado el aparato, como queda dicho, pueden recomponerse las electricidades súbita ó lentamente.

« Determinase la recomposicion súbita del modo siguiente: se coje el escitador  $bc b'$  por sus mangos  $m$  y  $m'$  (Fig. 151)<sup>1</sup>; se toca uno de los discos con la bola  $b$ , apro-

<sup>1</sup> Aprovechome de esta ocasion para describir el aparatito que en la parte superior de la figura se halla indicado por las letras  $vmcm'b$ , llámase *escitador*, y algunos tambien le dan el nombre de *compás eléctrico*:

ximando al otro disco la bola  $b'$  á una ó dos pulgadas de distancia; despréndese una chispa y el aparato se descarga estrepitosamente; como la bola  $b$  está en contacto con uno de los discos, se esparce por todo el escitador una parte de fluido vitreo; la atraccion entonces sobre el fluido resinoso no es tan eficaz como anteriormente, de lo que resulta que mengua su espesor en la cara  $i'$  y aumenta en la exterior  $e'$ , desde donde llama hácia sí el fluido vitreo que hay en  $b$ ; esta atraccion hace que todo el fluido vitreo vaya á acumularse en  $b'$ ; disminuyendo entonces en el disco  $e$ , y hallándose libre el fluido resinoso ya á colocarse en la cara exterior de  $e'$ ; la tension llega á hacerse bastante considerable para atravesar el aire, y entonces los fluidos se precipitan uno hácia el otro y la recomposicion es instantanea. » (Pouillet).

Nada diremos de la recomposicion lenta porque M. Pouillet cita el mismo caso que el autor que seguimos.

#### Del electróforo.

168. Este instrumento inventado por Wilcke, sueco de nacion, es sencillísimo. Se compone de una torta muy lisa de resina y de un disco de metal, que tiene un mango de vidrio y descansa sobre la primera. (Véase la figura 152).

Para servirse de él, se golpea ó se frota la torta de resina con una piel de gato y se coloca en seguida el platillo

sirve para descargar todas las máquinas y aparatos que contienen electricidad, y se compone de dos brazos curvos  $bc$  y  $b'c$  que se reunen en el punto  $c$ , al rededor del cual giran lo mismo que las piernas de un compas al rededor de su cabeza, y de dos mangos  $m$  y  $m'$ , generalmente de vidrio, para que el operador, al efectuar las descargas, no esperimente la conmocion á que se espondría si entre los brazos, que son de laton, y su cuerpo, no mediara un cuerpo mal conductor, tal como el vidrio. — N. del T.

metálico sobre la resina; la electricidad negativa que durante la frotación se desarrolla en la última, descompone por influencia el fluido natural del metal; la positiva en virtud de la atracción de la resinoso, se cola en la cara inferior del disco, y la negativa en la superior; si en seguida se levanta el disco, vuelven aquellas á combinarse y las cosas se quedan como estaban antes de empezar la operación; pero si cuando el platillo está sobre la torta, se toca con el dedo el disco de metal, pasa la negativa al través de la persona, al receptáculo comun, y al levantar aquel arrastra consigo la positiva, puesto que la resina, aunque electrizada negativamente, no puede combinarse con la positiva del disco á causa de la dificultad con que aquella sustancia conduce la electricidad. Y como por la misma razon conserva mucho tiempo su electricidad sin que haya necesidad de volverle á golpear, resulta que puede repetirse muchas veces el experimento si el aire no está muy húmedo; por esta razon se le ha dado el nombre de *electróforo ó portador de electricidad* <sup>1</sup>.

Algunas veces se coloca la torta de resina en una caja de palastro, y entonces la electricidad de esta última se descompone por la influencia de la electricidad negativa de la resina, que retiene la positiva del metal rechazando la negativa al receptáculo comun. Si se coloca encima el disco metálico, y se toca con el dedo, como anteriormente, para que pase al suelo, las electricidades positivas de la

<sup>1</sup> El autor atribuye á Wilcke la invención da este instrumento; Person y Pouillet dicen que fué Volta el inventor; Pécelet le llama Wilh, y Lamé se abstiene de nombrarle. Dice M. Pouillet que este instrumento equivale á una máquina eléctrica, y que la electricidad negativa de la torta de resina no se combina con la positiva, que, por influencia, coloca en la superficie inferior del disco, porque aquella, la de la resina, no puede acumularse en un solo punto en cantidad suficiente para vencer la resistencia del aire. — N. del T.

caja metálica y del disco también metálico, se repelen mutuamente; de manera que si se toca la caja, *que suponemos aislada*, pasa al suelo una porción de la electricidad positiva, y se obtiene entonces el máximo de carga <sup>1</sup>.

M. Pécelet, sin desmenuzar tanto la cuestión presenta un experimento concluyente; he aquí lo que encontramos en la pág. 86 del tomo II del *tratado de Física*.

La electricidad de la resina obra sobre la materia metálica de la caja, en que está contenida, del mismo modo que sobre el platillo del aparato; pero como esa caja comunica con el suelo, se carga solo de electricidad positiva; con la mayor evidencia vamos á probar ese hecho. Si se ponen en comunicacion el platillo con la bolita *a* (Fig. 155) y el metal de la torta con la bola *b*, y entre las dos se coloca un pendulito *c*, se verá oscilar avanzando ya hácia una ya hácia otra. La razon es evidente; como la parte superior del

<sup>1</sup> Seguros estamos de que el lector no podrá leer este pasage sin acusar de inadvertido al autor de la obra. Supone primero que, al descomponerse el fluido natural del palastro por la influencia de la resina, la electricidad negativa pasa al receptáculo comun, pues que el aparato ha de estar sobre una mesa, etc., de modo en fin que comunique con el suelo. Todo va bien hasta aquí, pero cuando termina el párrafo, diciendo que si se toca con el dedo... *suponemos aislada*, no hemos podido menos de llamar la atención del lector sobre tan grande inconsecuencia, puesto que hubiera sido preciso, pasada la primera reaccion, colocar el aparato sobre un aislador para que todo lo que añade el autor fuera cierto. Si, con esa suposicion, quiere dar á entender que el aparato estaba aislado antes de empezar á funcionar, es imposible que la electricidad negativa pase al receptáculo comun. En cuanto, dado caso que fuese posible el aislamiento de que habla al concluir su párrafo, al máximo de la electricidad, parécenos justa, aunque no clara, la observacion; supónese que la electricidad negativa de la resina, cuya cantidad es invariable durante el experimento, atiende á la vez á la positiva del palastro y á la positiva del platillo; claro es que si la primera desaparece, podrá contrarrestar mayor cantidad de positiva en el platillo, en otros términos la carga de este podrá ser mayor. — N. del T.

aparato comunica con la bola *a*, y como en esa parte se halla la electricidad negativa, resulta que la bola *a* disfrutará de una parte; recíprocamente como la *b* se halla en comunicacion con la inferior, tomará parte de la positiva. Hallándose la bolita del péndulo en estado natural, debe dirigirse hácia la que tenga mayor tension; en el choque pierde la electricidad de nombre semejante al de la bola atractiz, y quedando electrizadas ambas con el mismo fluido se rechazan mutuamente y el péndulo vuelve á su estado normal; la otra bola origina fenómenos análogos, y de ahí resultan las oscilaciones, las cuales continúan interin la torta conserve alguna electricidad.

Se puede también cargar la resina de electricidad positiva, poniendo la torta en comunicacion con el conductor de la máquina eléctrica; y los fenómenos serán semejantes.

« Platillos de 4 á 5 pulgadas de diámetro dan chispas perceptibles en medio del día, cuando se les aproxima un dedo ó un cuerpo conductor. Estos aparatos conservan su electricidad durante muchos meses, siendo una prueba de la dificultad con que la resina deja escapar la electricidad de que está cargada. » (Péclet.)

469. Empléase el electróforo con frecuencia en los laboratorios de química. Para inflamar, por ejemplo, una mezcla de gases combustibles, como el aire y el hidrógeno, es sumamente cómodo. Colócase la mezcla en una campana *a* (Fig. 454), llamada eudiómetro, que es de vidrio muy espeso y está atravesada desde la parte superior hasta la mitad de su altura, poco mas ó menos, por una varilla metálica de forma espiral, la cual sale al exterior y se termina en una bola; la inferior es asimismo redonda, y á una cierta distancia de ella, una ó dos pulgadas, hay otra bolita sujeta á un vastaguito también metálico<sup>1</sup>. Cuan-

<sup>1</sup> El eudiómetro, que el autor no hace mas que mencionar, tiene

do se quiere inflamar la mezcla, se toca la bola exterior con el platillo del electróforo, ya cargado: la electricidad pasa de una á otra de las bolas interiores y la chispa, que entonces se produce, inflama la mezcla.

La *lámpara de eslabon eléctrico* es una aplicacion del electróforo.

Se compone de una vasija de vidrio, llena en parte de ácido sulfúrico diluido en quince partes, proximamente, de agua, y en la que está suspendido, de un hilo de platino, un cilindro P de zinc que al principio se sumerge en el líquido. Despréndese el gas hidrógeno<sup>1</sup> y se le deja salir abriendo la llave R colocada al intento. Primeramente sale el aire que estaba dentro del aparato, pero al cabo de cierto tiempo es todo hidrógeno puro lo que sale. Si á esa época, se cierra la llave, continua el desprendimiento del gas hidrógeno, el cual acumulándose en la parte superior de la vasija inferior, hace subir al líquido por un tubo vertical, que se ve en el aparato, á la vasija superior representada por O. Llega un momento en que el cilindrito P queda á descubierto y entonces cesa el desprendimiento de hidrógeno; mas como se halla comprimido por la columna líquida AB, no hay mas que abrir la llave para tener un chorro continuo de gas. En la parte inferior CD de

otras varias piezas que nosotros no describimos, por no hacernos falta para lo que vamos á decir, y que los lectores, por otra parte, encontrarán en todas las obras de química. — N. del T.

<sup>1</sup> La teoría química de ese desprendimiento es sencillísima; el agua, como es sabido, se compone de dos gases, oxígeno é hidrógeno; el metal, el zinc, tiene tendencia á oxidarse, es decir á combinarse con el oxígeno; de ahí resulta que, al descomponerse el agua, queda en libertad parte del hidrógeno, y se desprende en forma de gas; el óxido de zinc, formado por el oxígeno que antes unido al hidrógeno, constituían el agua, y por el zinc se combina despues con el ácido sulfúrico, formando lo que se llama un sulfato de zinc, la caparrosa blanca ó el vitriolo blanco; sustancia que tiene la propiedad de disolverse en el agua. — N. del T.

ese aparato hay un electróforo, dispuesto de modo que al abrir la llave se levanta el platillo y queda aislado; un vástago de metal que comunica con este último lanza sobre una varilla metálica que comunica con el suelo, la chispa eléctrica, y esta, atravesando la mezcla de los gases, la inflama y continua ardiendo interin el hidrógeno se desprende, en cuyo tiempo puede encenderse una vela, una lámpara, etc. En un cierto punto de la torta de resina se coloca una hojita de estaño por donde pasa al suelo la electricidad negativa del platillo.

En el día se construyen lámparas eléctricas de esta especie, de formas elegantes<sup>1</sup>.

MM. Pécelet y Person citan otro experimento muy curioso que se hace con el electróforo; seguiremos al primero (tom. II, pág. 86.).

« Para poner en evidencia la especie de adhesión que existe entre la resina y los dos fluidos eléctricos, se hace el curioso experimento que vamos á referir. Se trazan en la superficie de una torta de resina y con un cuerpo conductor cargado de electricidad, varios caracteres ó figuras; la electricidad queda tan adherida á esas líneas, que si sobre ellas se echan polvos de un cuerpo no conductor y se inclina despues la torta, se advierte que todo el que ha caído sobre las líneas queda adherido y el resto se separa. Todavía es mas sorprendente el fenómeno, trazando las mismas ú otras figuras con dos conductores<sup>2</sup> cargados de diferentes electricidades; he echado con un fuellequito una mezcla de azufre y de minio; el azufre se fija en los

<sup>1</sup> M. Pécelet asegura que los eslabones de esas lámparas, es decir, el mecanismo para inflamar la mezcla, son mas complicados é inciertos que el musgo de platina, de que se habló al tratar de la lámpara de M. Gay-Lussac (véase el art. Lámparas hidrosfáticas), y que por esa razón solo se emplean en los gabinetes de física. — N. del T.

<sup>2</sup> M. Person, que llama á este experimento Figuras de Lichtenberg, porque Lichtenberg, fisico alemán, fué el inventor; dice que, al echar

trazos cargados de electricidad positiva, y el minio en los de negativa; por consiguiente los primeros son amarillos y los segundos encarnados. Proviene esa separación de que al triturar el minio y el azufre, el primero adquiere la electricidad positiva y el segundo la negativa. »

#### Condensadores.

170. La botella de Leiden, la batería eléctrica, y el condensador propiamente dicho, son instrumentos en los cuales se acumula la electricidad, y que por consiguiente pueden llamarse condensadores.

« Todos los aparatos en que se acumula la electricidad disimulada se componen esencialmente de dos láminas buenos conductores, separadas por otra que no lo es; llámanse *condensadores*, porque el fluido parece condensarse. Cambian de nombre y de forma, esos aparatos, según los usos á que se los destina. » (Pouillet.)<sup>1</sup>

En 1781 dió Volta á conocer un nuevo instrumento, cuyo oficio es reunir cortas porciones de electricidad. Se compone de un platillo metálico y de un disco cuya facultad de conducir es intermedia entre los perfectos é imperfectos conductores, como el marmol, por ejemplo (V. Fig. 152). Supongamos que el platillo metálico, colocado sobre un disco de esa sustancia, recibe una corta cantidad de electricidad negativa; ya sabemos que esa electricidad descompondrá el fluido natural del disco de marmol y que reteniendo el positivo rechazará el negativo. El marmol á su vez ejercerá su acción sobre la electricidad negativa y neutralizará la fuerza repulsiva; de manera que si el platillo metálico adquiere nueva cantidad de electricidad negativa,

el azufre y el minio sobre la resina, se rozan las partículas unas contra otras, y de eso resulta que se electrizan diferentemente. — N. del T.

<sup>1</sup> Las figuras 150 y 151 son verdaderos condensadores. — N. del T.

se repetirán los mismos fenómenos. De este modo se acumulan pequeñas cantidades de electricidad en el platillo metálico; si, en seguida, se le levanta y se le aproxima un nudillo del dedo produce una chispa. El marmol es bastante buen conductor para que su electricidad natural se descomponga bajo la influencia de la corta cantidad de electricidad que recibe del platillo metálico, pero no lo es tanto para que su electricidad pueda reunirse á la de este último.

Ayudados de este aparato y de concierto con Volta, descubrieron Lavoisier y Laplace que se desarrolla electricidad en las reacciones químicas. (Véase Galvanismo.)

171. Este instrumento tiene muy poca importancia, desde la invencion del electrómetro condensador y del multiplicador. El condensador de que vamos á ocuparnos difiere totalmente del precedente.

Redúcese á dos platillos metálicos semejantes al platillo superior del electróforo, separados entrambos por un cuerpo mal conductor.

En el condensador ordinario (Fig. 456) es de vidrio la lámina de separacion y está siempre perfectamente seca. Para hacer con mayor comodidad los esperimentos se coloca el platillo inferior sobre un pie de vidrio revestido de goma laca, y esta á su vez descansa sobre una peana B bien sólida. Para cargarle, se coloca sobre el platillo inferior la lámina de vidrio LL' y sobre esta el segundo platillo; se ponen en comunicacion entre sí el inferior y el receptáculo comun por medio de varillas ó de cadenas metálicas, y el superior con el conductor de la máquina; y como en este se recoge toda la electricidad se le llama ordinariamente *platillo colector*. Tratemos ahora de fijar nuestras ideas; supongamos que el conductor de la máquina está cargado de electricidad positiva: al principio esa electricidad se esparce sobre el conductor y sobre el platillo colector, y descomponese, por influencia, el fluido natural del inferior, atrayendo el negativo á la superficie que está en contacto

con la lámina de vidrio y rechazando á la opuesta el positivo, que pasa, merced á la cadena, al receptáculo comun. En tal estado la electricidad positiva del conductor atrae á la negativa del platillo inferior que siendo al mismo tiempo atraida por ella, neutralizanse en parte la una á la otra y se rompe el equilibrio entre el colector y el conductor de la máquina. Es visible que sobre cada uno de los platillos se acumula una gran cantidad de electricidad, de manera que si al cabo de cierto tiempo se ponen en comunicacion uno con otro por medio del escitador ó compás eléctrico (véase la nota de la página 259) se precipitan una hácia otra por ser de naturaleza opuesta, y al combinarse se desprende una chispa.

La comunicacion entre el suelo y el platillo inferior es absolutamente indispensable, pues que sin ella la electricidad positiva del disco inferior retendria la electricidad negativa del mismo disco y repeleria la electricidad positiva del disco superior, de lo cual resultaria ó que el condensador no podria cargarse ó que la carga seria insignificante. La esperiencia confirma esta teoria.

Como la electricidad positiva del platillo superior ejerce su accion cierta sobre la electricidad negativa del inferior, es mayor que la de naturaleza contraria que retiene en el platillo inferior; es decir, que si se combinan esas dos electricidades, las dos electricidades diferentes, habrá un exceso de electricidad positiva, como se advierte aproximando sucesivamente un pendulito á cada uno de los platillos, despues de haber efectuado la carga.

La carga del condensador llega á su límite, cuando la tension del platillo colector es igual á la que tendria ese mismo colector si estuviera saturado por su simple comunicacion con la máquina, es decir, si no hiciera parte del condensador. El exceso, en efecto, que corresponde á esa tension, como no es atraido por la electricidad negativa del platillo inferior, se halla completamente libre y se

mantiene sobre el platillo colector en virtud de la presión atmosférica. Cuando la carga llega á su límite, toda la electricidad que se le dé al platillo colector se disipa en el aire. Según esto, el límite de la carga de un condensador es *independiente* de la magnitud de la máquina eléctrica, y es la misma con todas las máquinas *de igual tensión*.

Las caras de la lámina que separa los dos platillos retienen una gran cantidad de electricidad. Para probarlo, se aísla el instrumento después de haberle cargado, es decir, que se destruye la comunicación del platillo inferior con el suelo, y la del platillo superior con el conductor de la máquina. Se levanta en seguida el platillo superior, y se le pone en estado natural; levántase asimismo la lámina de vidrio, y sosteniéndola por el borde se pone también el platillo inferior en estado natural, después de lo cual no hay más que volver cada pieza á su sitio y se observa que el condensador está casi tan cargado como si no se hubiera previamente desarmado. Es pues evidente que una parte de la electricidad *penetra* en el vidrio, pues que reuniendo los platillos se pueden obtener varias descargas sucesivas.

472. Llámase *fuerza condensante* del condensador, á la relación que existe entre la cantidad de electricidad del platillo colector, cuando la carga está en su límite y aquel forma parte del condensador, y la que tendría si estuviera aislado. Representemos por  $V$  la cantidad de electricidad positiva del platillo colector cuando se halla en el límite, y por  $R$  la cantidad de negativa retenida en el platillo inferior por la influencia de  $V$ . Ya hemos dicho que  $V > R$ , es decir que  $V$  es más que suficiente para neutralizar completamente á  $R$ . Luego  $R$  no retiene el todo, sino una parte de  $V$ , y si se toca el platillo colector con un nudillo del dedo deberá necesariamente sacarse una chispa, como puede comprobarse experimentalmente. Llamemos

$V'$  la cantidad de positiva que queda después de ese contacto:  $V - V'$  será con evidencia la cantidad de electricidad que se le ha quitado por el contacto, ó, lo que es lo mismo, la que permanecía sobre el platillo en virtud solamente de la presión atmosférica; mas como al mismo tiempo esa cantidad no es más que la que tomaría el platillo, si no hiciese parte del condensador, resulta, por la definición que  $\frac{V}{V - V'}$  es la medida de la fuerza condensante. En esa expresión es incógnita la cantidad  $V'$ ; para determinarla, supondremos  $\frac{R}{V} = m$  (siendo  $m$  por necesidad una fracción) de cuya ecuación se deduce  $R = mV$ . Pero como la razón entre  $R$  y  $V$  no depende sino de la distancia entre ambos platillos, y esta misma que entre  $R$  y  $V'$ , podrá sin el menor inconveniente escribirse  $\frac{V'}{R} = m$ , de donde  $V' = mR = m^2V$ . Por consiguiente la fuerza condensante tiene por valor  $\frac{V}{V - m^2V}$ , lo que equivale á  $\frac{1}{1 - m^2}$ .

De aquí se infiere, que para calcular la fuerza condensante, no se necesita más que conocer la relación entre  $R$  y  $V$ . Veamos la manera de determinarla; se cargan los platillos de modo que al separarlos la tensión no sea tan grande que pueda disiparse en el aire. Hecho esto, se averigua, por el método descrito en el párrafo 449 la intensidad eléctrica de dos puntos simétricamente colocados sobre ambos platillos. Sea  $\alpha$  el número de grados de torsión observados para el platillo superior,  $\alpha'$  el número cor-

<sup>1</sup> Así está escrito en el original, y fielmente copiado en la traducción de Madrid; pero por la última expresión es el cociente de la ecuación que antecede por  $V$ , es fácil concebir que debe decir  $\frac{1}{1 + m^2}$ .

respondiente al inferior, y en ese caso  $a' = \frac{R}{V}$ . En efecto,

$\frac{a'}{a}$  representa la razon entre las cantidades de electricidad contenidas en dos porciones iguales, y son por consiguiente, proporcionales á R y á V; porque siendo los dos platillos iguales entre sí y constando por lo tanto de un mismo número de puntos simétricamente colocados, es evidente que las cantidades de electricidad contenidas en dos de esos puntos han de ser proporcionales á las cantidades totales.

175. Puesto que la electricidad positiva del platillo colector es mas que suficiente para neutralizar la electricidad negativa del inferior, infiérese que despues de la descarga debe quedar en el primero una cierta cantidad de electricidad positiva, siempre que el instrumento esté aislado; esta proposicion está conforme con la esperiencia<sup>1</sup>.

174. Hemos visto, hace un momento, que V es mas que suficiente para neutralizar á R, de donde hemos concluido que presentando un nudillo del dedo al colector, debemos sacar una chispa, siempre que el instrumento esté perfectamente aislado; pero despues de desprenderse la

<sup>1</sup> Si L es la cantidad de electricidad libre que se halla en el colector,

$\frac{L}{1-m^2}$  representará la electricidad acumulada sobre ese platillo, y  $\frac{mL}{1-m^2}$  la electricidad negativa que el inferior retiene. Por manera que

$$\frac{L}{1-m^2} - \frac{Lm}{1-m^2} = \frac{L}{1+m^2}$$

será la cantidad de electricidad que se hallará en el instrumento despues

de la descarga, y  $\frac{L}{2(1+m^2)}$  la de cada platillo.

chispa, queda en el colector una cantidad de positiva que representaremos por V'; pero entonces R es mayor que V' pues que le neutraliza á distancia; de donde se infiere que V' no retiene sino una parte de R, y la presion del aire retiene lo restante, por consiguiente debe sacarse una chispa del platillo inferior, y otro tanto podrá ejecutarse con el otro repitiendo las mismas operaciones sucesivamente. El condensador, por lo dicho, produce un gran número de chispas, las cuales acaban necesariamente por descargarle.

En estas descargas sucesivas, las cantidades de electricidad que quedan sobre cada uno de los platillos, despues de cada descarga, forman del mismo modo que las cantidades sustraidas, una progresion geométrica descendente, cuya razon es  $m^2$ , lo cual es facil de hallar mediante las consideraciones que preceden. La primera progresion es  $m^2V, m^4V, m^6V, \dots$  y la segunda  $mV(1-m^2), m^3V(1-m^2), \dots$  (T. 2 del *Tratado de Fisica*, en 4 t. de M. Biot).

De la botella de Leyden.

175. La botella de Leyden fué inventada por Cuneus y Muschembroeck en 1746. Ese descubrimiento, que metió mucho ruido en Europa, dió grande importancia á la electricidad, y todo el mundo quiso probar la conmocion eléctrica, á pesar de la espantosa relacion que de ella hacian. Todos los físicos repitieron el famoso experimento de Leyden, estudiando las circunstancias de que le acompañaban. Pero sobre todo entre los franceses, ávidos siempre de nuevos descubrimientos, produjo una viva sensacion. El abate Nollet, hizo sentir la conmocion á todo un regimiento en presencia del Rey.

La teoría de la botella de Leyden es absolutamente la misma del condensador.

La forma mas generalmente usada es la de un frasco se-

mejante al que representa la Fig. 157. La parte *cd* de su superficie exterior se cubre con una hoja de estaño. Ciérrase la boca con un tapon por cuyo centro pasa el vástago de metal *ab*, cuya parte superior termina en una bola y la inferior toca á unas hojillas ó panes de oro que hay dentro de la botella.

Para cargarla, se la coje en la mano, por la panza ó parte cubierta de metal, y al mismo tiempo se hace que la bola toque al conductor de la máquina eléctrica, y se la retira cuando el electrómetro marca que la intensidad del interior de la botella y la de la máquina han llegado á su máximun.

Si en tal estado se toca, con un dedo de la otra mano la bola *a*, se experimenta una fuerte conmocion en los dos brazos y con particularidad en las articulaciones. Pueden sentir á la vez la conmocion varias personas, para lo cual basta que se den la mano. La persona que tenga la botella debe estar á uno de los extremos de la fila, y la del extremo opuesto debe tocar el boton *b*. Al hablar del condensador, se dijo que ese instrumento debia comunicar con el suelo; la botella de Leyden se halla en el mismo caso, no cargándola de electricidad, aun cuando se la suspenda á uno de los conductores de la máquina, especialmente si el aire está muy seco.

« Se prueba experimentalmente que en la botella de Leyden del mismo modo que en el condensador, no residen en las armaduras las electricidades disimuladas.

« Esa electricidad permanece adherida al vidrio. Hay una botella de Leyden particular que sirve para esa demostracion. Se compone de tres vasos cilindricos que entran unos dentro de otros; el interior y exterior son de metal y sirven de armaduras, y el intermedio es de vidrio; si despues de haber cargado la botella se la coloca sobre un aislador, y si con un cuerpo aislador se levantan los dos vasos interiores, se advierte que es muy corta la ten-

sion eléctrica de sus armaduras, y que el aparato recobra su carga primitiva cuando todo vuelve á su primera posicion. » (Péclet).

176. Puede aplicarse á la botella de Leyden, lo que dijimos acerca de la penetracion en el artículo del condensador; por eso sucede que algunas personas cojen sin precaucion la botella creyéndola descargada y experimentan una fuerte conmocion.

177. Empléase algunas veces la botella de Leyden para procurarse tal ó cual especie de electricidad. Si se desea, por ejemplo, tener electricidad positiva, se carga la botella del modo indicado, haciendo que el boton toque al cuerpo aislado. Para recoger la negativa se la carga del mismo modo; se la coloca sobre un aislador y se la toca en el boton: el exceso de la electricidad interior pasa á los cuerpos circunvecinos, y entonces queda en la armadura exterior un exceso de electricidad negativa; de manera que si se toca con esa armadura al cuerpo que se quiere electrizar, se cargará infaliblemente de electricidad negativa.

Un físico llamado Mauduyt, ha dispuesto el aparato de manera que la descarga de la botella se verifique á una distancia determinada. Su aparato está representado en la Fig. 158. *ab* es un conductor aislado con respecto al interior de la botella, pero que comunica con el exterior; por medio de un tornillo se le hace avanzar hasta la distancia conveniente.

« Mídese la carga de la botella por la distancia á que es necesario colocar ese conductor para que salga la chispa; pero para que los experimentos fuesen comparables seria necesario que siendo invariable, en magnitud, la bola *b*, tuviesen los botones ó bolas de todas las botellas las mismas dimensiones. »

Carga por cascada.

478. Suspéndese una botella, por su bola, al conductor de la máquina eléctrica; á un gancho que esa tiene en el fondo se suspende otra botella y así sucesivamente, según se ve en la (Fig. 159), y por fin del gancho de la última parte una cadena que pone el aparato en comunicación con el suelo. Cuando el botón de la primera toca al conductor de la máquina eléctrica ordinaria, se carga interiormente de electricidad positiva, descompone entonces la electricidad natural de la armadura exterior, atrae la negativa y repele al interior de la segunda la electricidad positiva, y entre la segunda y tercera pasará otro tanto; quiere decir que todas las armaduras exteriores estarán cargadas negativamente: cuando se establece comunicación entre la armadura de la última y el interior de la primera, se descargan todas á un tiempo, y es evidente que la conmoción no es tan fuerte como con una sola botella.

Se aumenta considerablemente la conmoción, colocando las botellas sobre una lámina que es buen conductor, y reuniendo con una cadena las armaduras interiores que como se ha dicho, están cargadas positivamente.

El efecto, sería aun mayor reuniendo de ese modo las botellas antes de cargarlas, que cargando por cascada el mismo número de botellas para reunir las en seguida, pues que en la carga por cascada va disminuyendo desde la primera á la última, la cantidad de electricidad. La relación de esas dos cantidades se halla por medio de un cálculo sumamente sencillo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Supongamos que se desea saber esa relación para 4 botellas. Sea V la cantidad de electricidad que hay en la armadura interior de las botellas; 4V, por consiguiente, será la cantidad de electricidad de las

De las baterías eléctricas.

479. Partiendo de que la potencia de una botella de Leyden es tanto mas considerable cuanto mayor es su superficie, se han inventado unos aparatos compuestos de la reunión de esas botellas, y que se llaman baterías eléctricas. Generalmente se las coloca en una caja de madera forrada interiormente de estaño (Fig. 140), de manera que

4 armaduras, cuando las botellas estén sobre un mismo plano, como lo están en una batería; pero en la disposición por cascada, es mucho menor la carga; en efecto, V, la cantidad de electricidad positiva de la armadura interior de la primera botella, atrae á su armadura exterior una cantidad de electricidad negativa R, y por consiguiente repele á la segunda botella una cantidad igual V' de electricidad positiva. De manera que V'=R.

Por lo mismo, la cantidad de electricidad que se halla en la armadura interior, puede representarse por V''=R' (siendo R' la cantidad de electricidad negativa que permanece en la armadura exterior de la segunda botella, en virtud de la influencia de V').

La cantidad de electricidad contenida en la armadura interior de la cuarta botella, es V'''=R'' (siendo R'' la cantidad de electricidad negativa que permanece en la armadura de la tercera botella, en virtud de la influencia de V''). Pero como la distancia que separa una de otra á las dos armaduras, es la misma, pues que las botellas son perfectamente se-

mejantes, se tiene  $\frac{R}{V}=m$ ; de donde  $R=Vm$ ; y por consiguiente  $V'=Vm$ ,  $\frac{R'}{V'}=m$ .....  $R'=Vm=Vm^2$  y  $V''=Vm^2$ ,  $\frac{R''}{V''}=m$ .....  $R''=V''m=Vm^3$  y  $V'''=Vm^3$ . La suma es pues  $V+Vm+Vm^2+Vm^3$ ; por consiguiente

la relación buscada es  $\frac{V+Vm+Vm^2+Vm^3}{4V} = \frac{(1+m)(1+m^2)}{4}$ .

De donde se infiere que cuanto mas se acerque m de la unidad, tanta mas igualdad habrá entre las cargas.

las superficies exteriores comunican todas entre sí, y las bolas á su vez estan reunidas entre sí por medio de varios vástagos metálicos. Cuando se quiere cargar una batería se ponen en comunicacion, los botones, con el conductor de la máquina eléctrica, y las superficies exteriores con el receptáculo comun. Por medio del electrómetro de cuadrante (Fig. 115) colocado sobre el conductor se reconoce cuando llega la carga á su limite. El péndulo sube lentamente, porque la electricidad de la máquina se neutraliza en parte al llegar al interior; cuando deja de subir es prueba de que la carga ha llegado á su limite.

Es muy importante procurarse un regulador que indique el estado de la batería, porque la electricidad positiva de la parte interior puede adquirir, cuando la carga llegue á cierto punto, una fuerza repulsiva suficiente para que sus efectos se hagan sensibles en la armadura exterior, y como el choque, en tal caso, tendría lugar sobre un solo punto, podría muy bien romperse uno de los frascos.

Es muy espuesto descargar con la mano una batería, aunque no consiste más que de seis botellas de medianas dimensiones. Algunas personas imprudentes han tenido que arrepentirse de haber experimentado la conmocion de una batería.

Efectos mecánicos de la electricidad.

180. La descarga de una batería un poco considerable puede fundir y volatilizar los metales, romper cilindros de madera y de vidrio, é inflamar la pólvora. Puede tambien causar muerte á algunos animales, si la descarga llega á pasar por su cuerpo.

Basta una chispa de la máquina eléctrica para hacer una porcion de experimentos. Si esa chispa viene á chocar con una cuchara llena de éter ó de alcohol, ambos líqui-

dos se inflaman súbitamente. Una mezcla de oxigeno é hidrógeno se inflama en iguales circunstancias.

Si se descarga una batería poderosa al través de un alambre de hierro, se pone incandescente, quema y se dispersa en una infinidad de globulillos de óxido de hierro. El oro y la plata, sometidos á la misma prueba, se volatilizan instantáneamente.

M. Fusinieri pretende que la chispa eléctrica trasporta las partículas del cuerpo de donde emana. En el centro de la chispa parece que se hallan solamente las partículas fundidas, al rededor estan únicamente en estado de pastosidad y arden, si son combustibles, á causa de su contacto con el aire. Una chispa que partiendo de un conductor de oro atraviesa una chapa de plata, deja en esta última una mancha amarilla, y segun el mismo fisico, el rayo trasporta partículas de hierro y de azufre. Si esa asercion tiene algun fundamento, deben existir en el aire esas partículas. Cuando la chispa eléctrica atraviesa el aire, determina la combinacion de sus dos elementos formándose entonces el ácido nítrico (Cawendish). Se favorece la formacion del ácido con una cierta cantidad de potasa caústica; se ejecuta el experimento en un sifon, cuyos brazos deben sumergirse en vasos llenos en parte de mercurio (Fig. 141).

Las descargas eléctricas favorecen tambien las descomposiciones. Si en un tubo de vidrio se coloca una cierta cantidad de óxido de estaño y en seguida se hace pasar una corriente eléctrica, se advierten sobre el vidrio las manchas del metal. Wollaston descomponia el agua haciendo pasar al través de ese líquido una serie de chispas eléctricas. El medio ingenioso de que se sirvió, fué introducir, en tubos de vidrio capilares, unos alambritos de platina ó de oro, fundir esos tubos y adelgazar los alambres quanto se pudo. El efecto es tanto mayor quanto

mas tenues son los alambres. Pueden variarse al infinito esos experimentos.

Observó tambien el físico citado que un papel de tornasol colocado entre dos alambres que servian para descargar una botella de Leyden, se enrojecia junto al hilo positivo, y volvía á tomar su color primitivo cuando se le aproximaba al alambre negativo. Puso luego una disolución de cobre en vez del papel de tornasol; el alambre se cubrió instantáneamente de cobre, y el metal desapareció al cambiar la corriente eléctrica (*Phys. Trans.* 94). Véase *la Pila*.

Añadiremos á lo que lleva dicho el autor, algunos otros experimentos muy curiosos \*.

« Con una carta se ejecuta el experimento siguiente : se ponen en comunicacion con las partes interior y exterior de una botella, dos puntas semejantes á las que representa la Fig. 142. Se hace partir la chispa y la carta queda con un agujero algo mayor que el de un alfiler : por ambos costados se advierten barbas ó filamentos desprendidos, como si la chispa, partiendo del centro de la carta, hubiera salido por ambos lados. M. Oersted explica este y otros hechos análogos, suponiendo que la electricidad no experimenta movimientos de traslacion cuando atraviesa los cuerpos, sino que ese movimiento es únicamente de vibracion, y que en consecuencia se verifican una porcion de descomposiciones y recomposiciones al rededor de las moléculas ; así, el fluido vítreo que se presenta *a* descompone los fluidos naturales de las moléculas que encuentra, atrae el resinoso con el cual se combina produciendo una chispa, repele el vítreo que á su vez va á descomponer los fluidos naturales de las moléculas siguientes atrayendo al resinoso para combinarse con él,

\* Véase la pág. 455 y siguientes del tomo I de los *Elementos de Física experimental y de Meteorología*, por M. Pouillet.

tambien con produccion de chispa y repeliendo el vítreo, y así sucesivamente; de manera que se producen tantas chispas como moléculas hay de materia ponderable. Puede hacerse palpable esa suposicion, metiendo cuentas de metal en una hebra de seda procurando que estén separadas unas de otras y haciendo pasar en seguida la descarga.

« Volveremos á insistir en esta importante teoria, que confirma, segun parece, todos los hechos de la electricidad química.

« El agujero en la carta no está generalmente á igual distancia de las dos puntas; pero en una atmósfera ordinaria está cerca de la punta resinosa, y en una atmósfera enrarecida por medio de la máquina neumática se halla mas cerca de la punta vítrea. Este hecho, comprobado por M. Tremery, ha quedado sin la competente esplicacion.

« Para agujerear el vidrio con la descarga eléctrica se cambia la disposicion del aparato precedente, porque es necesario poner una gota de un líquido conductor, aceite puro, por ejemplo, en una de las puntas para que toque una parte algo considerable del vidrio. (Véase la Fig. 145.)

Quando el espesor de las botellas de una batería y la tension de la máquina son invariables, puede valuarse la fuerza de una batería por la estension de la superficie que queda cargada ; cien pies cuadrados condensan una cantidad de electricidad cien veces mayor que un solo pie cuadrado, y es necesario que sea muy robusto el hombre que pueda resistir la descarga de un pie cuadrado cargado con una máquina ordinaria.

« Así que, con esa se producen fenómenos muy notables, á causa de la gran cantidad de electricidad que se acumula en esos aparatos

\* Todos los cuerpos destinados á recibir el choque, se colocan entre los dos brazos *b* y *b'* del escitador univer-

sal representado en la Fig. 444; uno de ellos comunica, por medio de la cadena *c* con la parte exterior de la batería; y el otro está en comunicacion con una cadena *c'*, que se termina en la bola aislada *b*; cuando se quiere producir la chispa, se toma la bola *b* por su mango aislador aproximándole al interior de la batería, y en ese caso parte la chispa y los fluidos se recomponen en todo el circuito *bc'b'c*.

« Un alambre de hierro de algunas pulgadas de longitud, colocado entre los brazos del escitador, se calienta si la descarga es debil, se enrojece con una fuerte, y con otra mucho mas fuerte, ó se funde en globulillos que son lanzados á gran distancia, ó desaparece convirtiéndose en vapores. Con una máquina poderosa de las de Van-Marum se llegaron á fundir cincuenta pies de longitud.

« Con una batería ordinaria se puede volatilizar una laminita estrecha de estaño de tres á cuatro pulgadas de longitud; el vapor se oxida y forma una especie de filamentos flotantes en el aire, que parecen telas de araña.

« Los otros metales pueden tambien calentarse, enrojarse, fundirse y oxidarse; pero si se toman pedazos del mismo diámetro ó iguales en longitud, no experimentan los mismos efectos aun cuando la causa ó potencia de la batería en este caso, sea idéntica para todos ellos; los malos conductores como la platina y el hierro, sufren en esas circunstancias efectos de calor mas considerable que el oro y el cobre, considerados como los mejores conductores.

« Las hebras de seda doradas presentan un fenómeno singular que demuestra la rapidez con que la electricidad ataca á las moléculas de los cuerpos conductores: el oro que las cubre se volatiliza y oxida, sin que el calor rompa la hebra de seda. Para que el experimento sea de mayor efecto se sujeta un pedazo al hilo de seda, y despues del choque se advierte una mancha pardusca. Del mismo mo-

do se puede quitar el dorado á un libro ú otro cuerpo mal conductor, con tal que su superficie no sea muy considerable.

« Aplicase esa propiedad para hacer los *grabados eléctricos*: *dcpr* (Fig. 445) es un pedazo de papel al que están pegadas dos láminas de estaño en el que se recorta un retrato<sup>1</sup> ú otro cualquier objeto. Por un lado se cubre con una hoja de oro que toque al estaño por los bordes, y por el otro con un pedazo de raso; para asegurarse de que hay contacto se coloca todo ese sistema en la prensa *pp'* (Fig. 446). En seguida se establece la comunicacion de las dos láminas de estaño con la parte exterior é interior de la batería y por todas las aberturas del recorte pasan el oro volatilizado al pedazo de seda en donde deja una mancha pardusca.

« Las grandes descargas hacen grande impresion en las masas metálicas. Priestley ha observado que licuan la superficie en el punto en que las atraviesan; si el metal no es muy fusible, despues que la chispa ha pasado, no se advierte mas que un círculo de fusion de una ó dos líneas de diámetro; pero si es muy fusible, como el plomo y el estaño, se advierten al rededor del círculo central tres anillos *de fusion* concéntricos y separados á distancia de una línea unos de otros.

« Cuando la chispa atraviesa un líquido, brilla como si estuviera en el aire; el líquido por lo general es lanzado por todas partes á gran distancia,

« Inflama tambien la pólvora: para ese experimento se elijen cartuchos de dos ó tres líneas de diámetro, y de quince á veinte de longitud; se meten por cada uno de sus extremos unos alambritos que penetren casi hasta el cen-

<sup>1</sup> En todos los gabinetes de física, se hace por lo general el experimento con el retrato de Franklin, célebre químico, de quien tendremos, en breve, ocasion de hablar.— N. del T.

tro pero sin que lleguen á tocarse, y entonces al pasar la chispa de uno á otro es cuando la pólvora se inflama.

Es tan considerable la expansion que la chispa produce en los gases, que se puede lanzar una balita por medio del *mortero eléctrico* representado en la Fig. 447. Kirsnerseley, que fué el primero que observó este fenómeno, inventó un aparato para medir la intensidad; es un tubo de vidrio cerrado por los dos extremos segun se ve en la Fig. 448: la chispa pasa de una á otras de las bolas, *b* y *b'*, y la expansion se mide en el tubo lateral *tt'*. Este aparato se llama el termómetro de Kinnersley.

La descarga de una fuerte batería agujerea ó rompe los malos conductores; una piedra de yeso queda agujereada lo mismo que una placa delgada de vidrio: del mismo modo se puede hacer pedazos un cilindro de madera de dos ó tres pulgadas de diámetro y de media pulgada de espesor, haciendo pasar su descarga en el sentido de sus fibras.

« La chispa eléctrica deja en la superficie de algunos cuerpos un rastro luminoso que brilla durante varios segundos y algunas veces mas de un minuto: esta especie de fosforescencia es de color rojo violeta en la creta, verdosa en el azucar, en algunos espatos calizos cristalizados y en la arenisca de Fontainebleau.

« Para matar pájaros, conejos y aun animales mayores, no es necesario una batería muy poderosa; perecen instantáneamente, sin que las observaciones anatómicas hayan podido hasta el día descubrir los órganos que son atacados; sin embargo, segun las convulsiones que experimentan cuando el choque no es considerable para matarlos súbitamente, puede creerse que el sistema nervioso queda violentamente atacado. »

## De los electroscoios.

481. Sirven los electroscoios para descubrir las pequeñas porciones de electricidad, y su construccion se funda en la propiedad que tienen de repelerse los cuerpos electrizados del mismo modo.

El mas simple de todos es el péndulo de que nos hemos servido en una porcion de ocasiones. Consta de una bolita de médula de sauco colgada de una hebra de seda sin retorcer y atada á un soporte de vidrio (Fig. 449).

Se han inventado una porcion de electroscoios. Ordinariamente se componen de dos pajitas ó dos láminitas de oro, ó bien de dos alambres terminados en dos bolas de sauco sumamente ligeras (Fig. 450). Se las coloca generalmente en un frasco cuadrado, cuyo cuello se barniza con goma laca y en una de las caras se traza la division. Se dan vueltas al vástago vertical en que se reunen los alambres hasta que esos queden paráelos á la division, y segun que la amplitud es mayor ó menor, tanto mayor es tambien el grado de electricidad; pero como la gravedad tiende siempre á poner los alambres verticalmente, se sigue que la fuerza repulsiva de las bolas no es proporcional á su separacion. Estos instrumentos no sirven para medir exactamente, segun lo dicho, la energía de la electricidad, para cuyo fin es necesario acudir á la balanza eléctrica.

482. Supongamos ahora que se trata de averiguar la naturaleza de la electricidad de que un cuerpo está cargado. Se empieza por cargar las bolas de una electricidad cono-

M. F. Bary, dice que se puede estender el uso de los electroscoios ordinarios á mediciones exactas. (Véase la nota publicada por dicho profesor, *Annales de Chimie et de Physique*, t. 39, p. 57).

cida, operacion que se ejecuta aproximando al vástago que las sostiene una barra de vidrio frotada con un trapo de lana.

Las electricidades naturales de las bolas y del vástago se descomponen; la positiva del vidrio atrae la electricidad negativa y repele la positiva; de manera que si se toca el vástago con el dedo pasará la positiva á los cuerpos circunvecinos, y si en seguida se retira el dedo y el vástago de vidrio, queda libre la electricidad negativa y las bolas se separan.

Ahora bien, todo cuerpo electrizado que colocado delante de las bolas aumente la divergencia, estará con evidencia electrizado negativamente; todo cuerpo que las haga unirse, lo estará positivamente.

183. Entre todos los electroscopios hasta el dia inventados hay uno cuyos efectos son independientes de la accion de la gravedad; tal es el de Coulomb.

Es muy semejante á la balanza eléctrica, segun se advierte en la Fig. 131.

Cc es una hebra de seda de cuatro pulgadas de longitud, que se mantiene tirante por medio del alfiler *ab* que pesa tres granos, y ambos están atados con un hilo de goma laca; *pel* es una aguja de goma laca á cuyo extremo hay un círculo de oropel *l*. En la pared de la campana y á la altura de la aguja se fija un alambre de metal *qr* metido dentro de un tubo sellado con goma laca. En la estremidad del alambre interior se coloca una aguja de sauco cubierta con una hojilla de oro. Ademas hay un círculo de papel graduado y sujeto al vidrio, en el cual se miden las distancias del oropel movable *l* á la bola fija *r*. Con un micrómetro colocado en la tapadera se coloca la seda en una posicion determinada poniendo al mismo tiempo el círculo movable á una distancia fija de la bola *r*. Si se aproxima al extremo del hilo una barra de lacre electrizada negativamente, es decir, frotada con una piel

de gato, la aguja, que previamente estaba cargada negativamente, será repelida al instante, y cuando se retira dicha barra cesará naturalmente la repulsion. Si se desea que la repulsion sea permanente se toca con el dedo el extremo *q* retirando en seguida la barra; la explicacion de esa repulsion se acaba de dar en el número precedente. La pesantez en el caso presente no influye en lo mas mínimo en la repulsion eléctrica.

184. El electroscopio de Behrens, perfeccionado por M. Bohnenberger, es el instrumento mas sensible que en su clase conocemos; consta de dos pilas secas (Fig. 152) compuestas cada una de 400 discos de papel dorado y plateado de tres lineas de diámetro contenidos en un tubo de vidrio barnizado. Cada pila se termina por la parte inferior en un anillo de laton remachado á la cubierta de la vasija, de modo que una parte sale al exterior. La tapadera es de laton y el vaso de vidrio; y por la primera sale á la parte exterior un tubo barnizado interior y esteriormente; dentro de él hay un alambre de laton terminado en bola por la parte exterior, y en una laminita de oro batido por su extremo inferior.

La hojuela de oro se halla en estado natural, y es atraída con igual energia por ambas pilas, de manera que no se advierte ningun movimiento. Pero cuando está electrizada, una la atrae y otra la repele, de manera que se precipita sobre una de ellas.

El electroscopio de que se trata tiene la doble ventaja de ser muy sensible y de indicar inmediatamente la naturaleza de la electricidad, la cual es siempre contraria á la del polo hácia el cual se dirige la hojuela. Verdad es que para manejarlo es necesario cierto hábito, porque las pilas secas son generalmente irregulares. (Véase mas adelante las *Pilas secas*).

Para aumentar la sensibilidad del instrumento que nos

ocupa se puede ligar la bola de laton á uno de los discos del condensador.

Electroscopio condensador.

184. Volta, reuniendo en un solo aparato un electroscopio y el condensador, formó un nuevo instrumento designado bajo el nombre de *electrometro-condensador* (nos parece sin embargo mas conveniente el de electroscopio-condensador). Con este instrumento determinó la naturaleza de la electricidad que se desarrolla por el contacto de los cuerpos (Fig. 455). La parte que hace el oficio de electroscopio, se compone de dos pajitas *ab* y *cd* suspendidas de dos alambres muy finos terminados en gancho y atados al extremo de una pieza de metal que por una de sus puntas está soldada al platillo metálico *CD*. Esa pieza á que están sujetos los alambres se atornilla en el obturador del frasco; la cara superior del platillo está cubierta con una capa ligera de barniz, y de su parte inferior, sale un alambre terminado por la bolita *K*. Se le ha dado el nombre de *colector* porque su oficio es recoger las cortas porciones de electricidad que acumulándose llegan á hacerse sensibles. Sobre ese platillo hay otro que comunica con el suelo por medio del vástago metálico *sv*, y al cual está sujeto un cilindro de vidrio *jh*. No seria tan conveniente que el vástago *sv* partiera del platillo inferior por las razones espuestas al tratar del condensador.

Supongamos ahora que se trata de acumular en las pajillas del instrumento, una corta cantidad de electricidad de un fenómeno cualquiera. Lo primero de todo, es tocar el boton *K* con el cuerpo que se supone electrizado, y en ese caso el fluido se esparcirá en el platillo de que ese boton forma parte. Supongamos que la electricidad es positiva; en ese caso el fluido natural del platillo natural se

descompondrá; el fluido positivo pasará al suelo por el vástago *sv*, y el negativo será atraído por el positivo que habia recibido el boton *K*. Podrá repetirse el contacto cuantas veces se quiera, y levantando en seguida el platillo superior, quedará libre el fluido positivo del platillo inferior, y en consecuencia se separarán las pajas. Este instrumento, aunque mas sensible que el condensador de Volta, no lo es tanto como el multiplicador (Véase *fenómenos electro-dinámicos*).

De la luz eléctrica.

185. Se ha advertido, desde hace mucho tiempo, que un cuerpo electrizado es luminoso en la oscuridad y que da, al aproximarle un dedo ú otro cuerpo conductor, una chispa tanto mas brillante cuanto mayor es la facilidad con que conduce la electricidad.

¿Cual es la causa de ese desprendimiento de luz? A principio se creyó que el fluido eléctrico era luminoso por sí mismo. Trátose despues de esplicar el fenómeno por el choque súbito que experimenta el aire cuando el fluido eléctrico le atraviesa. Veamos primeramente, si el aire es chocado en tales circunstancias. El instrumento que se emplea para esa prueba es invencion de Kinnersley y está representado en la figura 448. En el tubo mayor se coloca un líquido colorado, y como al descargar en el vástago superior una botella de Leyden se advierten ciertas oscilaciones en el tubo lateral, concluimos que el fluido eléctrico choca al aire al pasar de una á otra bola, de las dos que hay en el interior del tubo mayor, pero como al mismo tiempo hay desprendimiento de luz, puede añadirse que esa luz es efecto de la condensacion de una *parte del aire*; y decimos solamente una parte, porque parece ser un hecho demostrado que la combinacion de las dos elec-

triccidades contribuye tambien al desprendimiento de luz.

Se sabe por sir H. Davy que, si se reunen por medio de un carbon los dos extremos de una pila enérgica, se enrojece y vuelve incandescente. Mas como el experimento se verifica del mismo modo cuando al aire se sustituye el gas, resulta que ese efecto no puede ser atribuido á su combustion; puesto que el cuerpo combustible no experimenta la menor alteracion en su aspecto exterior. Ese desprendimiento de calor y de luz es, pues, el resultado de la reunion de las dos electricidades. Puede añadirse que cuando se aproxima al conductor electrizado un cuerpo en estado natural, se combinan siempre entre sí la electricidad del primero y la de naturaleza opuesta del segundo.

El aumento de intension de luz que se observa, á medida que el aire se condensa, no es una objecion de peso contra la opinion que acabamos de emitir.

Electricidad producida en el vacío.

486. « Se observa <sup>1</sup> el tránsito de la electricidad por el vacío, en un tubo de vidrio cerrado con dos guarniciones metálicas, atravesada cada una por un vástago terminado en bolas, una exterior y otra interior; se hace el vacío con la mayor perfeccion posible atornillando á la máquina neumática una abertura con su correspondiente llave. En seguida se coloca este aparato de manera que uno de sus extremos comunique con el suelo y que la bola de la guarnicion opuesta permanezca á una cierta distancia del conductor de la máquina eléc-

<sup>1</sup> Hemos tomado la esplicacion adjunta del *Curso de Física de la Escuela Politécnica*, t. II, p. 57 y siguientes. — N. del T.

trica. Cuando en la oscuridad se hace funcionar la máquina se advierte en cada chispa que parte del conductor, un destello de luz blanca y pálida que ocupa todo el interior del tubo vacío. Pero si en tal estado se aproxima al tubo un cuerpo conductor que comunique con el suelo, parece que la luz eléctrica es atraída y brilla con mas intensidad en la pared mas próxima á dicho conductor. Este efecto es debido á la reaccion de la electricidad latente que se acumula sobre el conductor á causa de la influencia del tubo electrizado.

« En vez del tubo largo y cilindrico del experimento anterior, se emplea otras veces un vaso elíptico y cerrado llamado *huevo eléctrico* fig. 455; para hacer el vacío en ese vaso puede emplearse el método inventado por Rumford, con el objeto de probar la irradiacion del calor al traves del vacío.

<sup>1</sup>. « La luz eléctrica en ese caso se trasforma en destellos curvos é interrumpidos que van de una á otra de las

<sup>1</sup> He aquí la esplicacion del método que cita el autor. El aparato se reduce á un globo ó matraz de vidrio con dos aberturas diametralmente opuestas, por una de las cuales se introduce el termómetro (pues que aquí nos referimos al experimento de la irradiacion citado en el testo), cuya bola ó receptáculo debe ocupar el centro de la vasija, ya sea globo, ya matraz; y el tubo se suelda perfectamente á la embocadura de la vasija, de manera que por esa parte quede el aparato herméticamente cerrado. En la abertura opuesta, se suelda un tubo muy estrecho y de mayor longitud que los que ordinariamente se emplean para barómetros. Llénase de mercurio el aparato, y se sumerge la punta del tubo en un baño del mismo metal. Por lo dicho, al tratar del barómetro, el mercurio tanto de la vasija como del tubo, desciende hasta que su altura en ese último equilibra á la presion atmosférica que se ejerce en la superficie del baño de metal. El matraz queda, con evidencia, completamente vacío, y si en tal estado se funde y cierra con la lámpara y el soplete, por encima del nivel del mercurio, y se rompe el tubo por un poco mas abajo, se obtendrá una cavidad completamente vacía, y sin la menor comunicacion con el aire. Si se sumerge entonces el matraz en un baño de agua

dos bolas interiores formando una especie de haz luminoso hácia la bola mas inmediata al manantial, y una especie de foco luminoso mas brillante á una corta distancia de la que comunica con el suelo.

« Para explicar esos fenómenos debe advertirse que las máquinas pneumáticas no producen casi nunca un vacío perfecto y que el mismo vacío barométrico contiene siempre un poco de vapor de mercurio; siendo, por consiguiente, lícito atribuir la luz, en esos vacíos imperfectos, al calor que se desarrolla durante la súbita condensacion de los fluidos, que, aunque muy dilatados siempre contienen.

« La causa de los cambios de color de la luz eléctrica es todavía mas oscura. Se sabe únicamente que la humedad puede alterarlos, porque las chispas eléctricas tienen colores diferentes segun el estado higrométrico de la atmósfera.

187. « Infiuye tambien en el color de la chispa la naturaleza de los cuerpos sometidos á la descarga; efecto debido, segun parece, á que el fluido eléctrico arrastra consigo partículas de los cuerpos de donde se desprende, como lo demuestran los hechos siguientes señalados por Farinieri. Ha probado este físico que la chispa que procede una fuerte descarga, partiendo de un globo de laton ó de plata, arrastra consigo parte del metal fundido. Si entre el globo de plata y la bola del escitador se coloca oblicuamente una lámina de cobre, la plata que la chispa trasporta perfora la lámina de cobre, aun cuando sea de varios centímetros de espesor, se deposita en parte sobre ese canal oblicuo y el resto penetra en la bola del escitador. Lo mismo sucede con el oro, y una lámina de plata. Cuando entre dos bolas de dos metales diferentes, oro y

caliente, sube el mercurio del termómetro; lo que prueba que el calor se trasmite en el vacío, etc. — N. del T.

plata por ejemplo, se desprende una chispa eléctrica de alguna consideracion, parte de la plata es trasportada al cobre, y este á su vez envia á la plata una porcion de su propia sustancia; cada partícula metálica trasportada forma dos cavidades opuestas, una en la bola de donde ha salido y otra en la bola que ha penetrado; porque cada grupo de cavidades correspondientes contiene el mismo metal en fusion<sup>1</sup>.

« De esos hechos resulta que la chispa, producida por una descarga entre dos cuerpos conductores, arrastra consigo partículas de esos cuerpos, las cuales atraviesan el aire en estado de fusion y se queman superficialmente si son fácilmente oxidables. Sin duda alguna la incandescencia y combustion de esas partículas trasportadas, es la causa de la luz viva y refulgente y de sus diferentes colores.

« Esta causa parece muy probable por varios hechos de que se hablará al tratar de las diversas imágenes que produce la luz eléctrica al través de un prisma.

188. « La fuerza que destaca las partículas que despues la electricidad trasporta, es probablemente debida al fluido libre acumulado en cierta cantidad en la superficie del conductor, puesto que las moléculas ponderables, comprendidas en el espesor de esa capa, deben repelerse tanto mas cuanto mas considerable sea la carga eléctrica, y esa repulsion puede ser bastante enérgica para vencer la fuerza de agregacion. Considerando el fenómeno bajo ese punto de vista, el calor desprendido será

<sup>1</sup> Para hacer esos experimentos en los gabinetes de física, se emplea la vasija representada en la fig. 155, y en cada una de las bolitas interiores se colocan pedazos de los metales que se quieran experimentar, haciendo que los vástagos por su parte exterior, con relacion á la vasija, comuniquen con los alambres de los polos de una pila enérgica. (Véase mas adelante la explicacion de la Pila.) — N. del T.

efecto de la separacion de las moléculas superficiales, y la luz de que va siempre acompañada esa separacion, podrá esplicarse del mismo modo que las chispas por el choque del cuero con el pedernal.

« Un gran número de experimentos prueban, en efecto, la existencia de una fuerza de expansion que tiende á alejar de un cuerpo conductor las partículas de su superficie, cuando es atravesado instantáneamente por una gran masa de electricidad libre. Priestley observó que al descargar una batería eléctrica poderosa sobre una cadena gruesa de metal, se desprendia de la última un polvillo negruzco que ensuciaba los cuerpos de su inmediacion; y como la cadena habia perdido una cierta porcion de su peso, concluyó que el polvo negruzco era la porcion del metal en un estado de tenue subdivision. Colocada la cadena, durante la operacion, sobre una placa de vidrio, se notó que las manchas tenían la anchura y color de cada eslabon; se puede quitar la parte superior de esas manchas, pero la inferior queda siempre formando cuerpo con el vidrio. Si se ejecuta la descarga al traves de un pedazo de carbon colocando sobre un carton el sitio competente del escitador universal, se reduce el carbon á un polvo que penetra y rasga el carton.

« Segun lo dicho, cuando la electricidad pasa instantáneamente al traves de un cuerpo conductor, aun cuando siempre desagrega la capa superficial, produce dos efectos muy distintos; ó dividirlos en varias partes como en el experimento de Fusinieri, ó reducirlos á polvo como en el de Priestley. Es tanto mas difícil asignar la causa que determina uno de esos efectos con preferencia al otro, cuanto que pueden producirse á la vez en el mismo cuerpo conductor, segun lo indican los hechos siguientes. Priestley descargó en el centro de una placa de metal pulimentada una batería de cuarenta pies cuadrados; en la placa advirtió manchas circulares compuestas las unas de puntas

brillantes y de ciertas cavidades que indicaban una especie de fusion, y las otras de un polvo negro poco adherente; y esas dos especies de manchas concéntricas se sucedian alternativamente, siendo siempre la central de las de la primera especie. El mismo fenómeno se produjo en láminas pulimentadas de todos los metales, pero el número y magnitud de los círculos concéntricos, como asimismo la profundidad de las cavidades, variaron en cada uno de los metales.

« Todos esos efectos, cualesquiera que sean sus diferencias, concurren á probar que la electricidad libre, instantáneamente acumulada en ciertas partes de un cuerpo sólido, tiende á destruir la fuerza de agregacion ó la atraccion molecular.

« Puede preverse, segun eso, que un líquido electrizado debe parecer mas fluido ó menos viscoso, y experimentar efectos capilares menos enérgicos por parte de las paredes sólidas que los contengan, que otro líquido en estado natural. Los experimentos hechos al intento confirman cuanto acabamos de decir. Si por medio de una cadena se suspende al conductor de la máquina metálica un vaso lleno de agua del que salga un tubo ó caño capilar de modo que el líquido fluya gota á gota, se advierte que cuando la máquina funciona, empiezan las gotas por disminuir de dimensiones y se suceden despues con gran rapidéz, hasta que en fin sale un chorro muy fino y continuo, siendo siempre la cantidad la misma en ambos casos, pues que no depende mas que de la altura del líquido en la vasija. Este efecto es con evidencia debido, tanto á la viscosidad del agua, como á la atraccion capilar que ejercen las paredes del orificio obre el líquido. (Lamé).<sup>R</sup>

189. « Para<sup>1</sup> multiplicar las chispas de un aparato eléctrico, basta multiplicar las soluciones de continuidad del

<sup>1</sup> Elementos de Física, por C. Person, t. II, p. 628. — N. del T.

cuerpo conductor, mediante el cual pasa el fluido al receptáculo comun. Todos los juegos que se ejecutan con la luz eléctrica se fundan en ese principio; pero para que el efecto se produzca es necesario hacer los experimentos en la oscuridad.

« Llámense *tubos centellantes* á unos losanges de hoja de estaño que se pegan (Fig. 156) á una vasija ó placa de vidrio, de modo que sus puntas se hallen á cortas distancias entre sí; cuando se desprende la chispa todos los losanges y el tubo ó matraz aparecen iluminados.

« Se hace el *cuadro centellante* pegando en un cristal (Fig. 157), unas tiritas de papel de estaño que comunicando entre sí vengán á formar un conductor continuo desde lo mas alto hasta lo mas bajo del vidrio; y si con un instrumento cortante se forman á lo largo de ese conductor pequeñas soluciones de continuidad, siguiendo los contornos de un dibujo cualquiera, ese dibujo será luminoso en la oscuridad si se hace pasar una corriente eléctrica de un extremo al otro del conductor de estaño.

« El *cuadro mágico* está dispuesto de otro modo; una de sus caras está cubierta con una hoja de estaño y la otra con una especie de barniz particular, que contiene mucha venturina; cuando la chispa se desprende se advierten en la superficie de venturina, unas ráfagas de fuego que serpentean en todos sentidos. » (Person)

Electricidad de las nubes.

490. En el año de 1752 descubrió Franklin que la electricidad ordinaria y la de las nubes eran totalmente idénticas; este descubrimiento y la invención de los pararrayos han inmortalizado su nombre en las ciencias.

Antes de él, ya se sospechaba alguna analogía entre los

efectos de nuestras máquinas y los del rayo, pero jamas físico alguno pensó en la posibilidad de descargar á las nubes de su electricidad, y entre otro el mismo abate Nollet, uno de los físicos mas célebres del último siglo, no creía que las puntas metálicas sirvieran para descargar á las nubes de su electricidad (Carta 7<sup>a</sup>, 1752).

Los efectos de nuestras máquinas son enteramente semejantes á los del rayo. Los animales muertos con nuestras baterías se pudren con la misma rapidez que los heridos por el rayo. Los efectos mecánicos son los mismos, idéntica la acción de dos electricidades sobre un cuerpo; la forma de las chispas, todo en fin es semejante.

Queriendo Franklin observar si sus ideas estaban conformes con los resultados de la esperiencia, lanzó en las inmediaciones de Filadelfia, hácia una nube electrizada, una cometa armada de una punta metálica. Permaneció la cometa algun tiempo en presencia de la nube y sin dar muestras de electricidad; desesperaba ya Franklin del éxito. En tal estado sobrevino una lluvia abundante, y mojándose la cuerda de cáñamo, con que sostenia la cometa, se hizo buen conductor, propagando una cantidad de electricidad suficiente para sacar algunas chispas. (Mes de junio de 1752.)

No contento con eso, colocó encima de su casa una barra de hierro con unas cuantas campanillas (véase mas adelante), para que le advirtieran al momento en que la barra se hallaba completamente electrizada. El primer ensayo en que se obtuvo un resultado satisfactorio fué el 12 de abril de 1753.

Mientras Franklin continuaba esos estudios en América, los físicos europeos ejecutaban numerosos ensayos sobre el mismo asunto.

Dalibard hizo construir en Marly-la-Ville, cerca de París, una cabaña aislada por su parte inferior; en la superior colocó una barra de hierro de 40 pies de longitud la cual

produjo un ruido semejante al del trueno al tiempo de pasar una nube; esta pasaba cerca de su parte superior, daba chispas tocándola con el dedo, del mismo modo que los conductores de una máquina. Este notable experimento contribuyó poderosamente á establecer la identidad de que vamos hablando (Carta 7').

La lluvia impedía que las barras estuviesen bien aisladas, porque el agua, humedeciendo á los cuerpos, los hace conductores. Para evitar ese inconveniente imaginó Canton, físico inglés, colocar una caperusa de metal encima del apoyo aislante, de cuyo uso conservaba la barra toda la electricidad que había robado á las nubes ó al aire. Por medio de este aparato llegó á observar que ciertas nubes estaban cargadas de electricidad positiva y otras de fluido negativo; comprobando también de ese modo que la lluvia y la nieve electrizan asimismo la barra. Para ahorrarse el trabajo de visitar continuamente la barra y las mas veces sin fruto alguno, agregó á la barra un aparato muy ingenioso llamado *campanario eléctrico*<sup>1</sup>. Se compone de tres campanas A, A' y A'' (Fig. 158), colgadas de un mismo vástago metálico. A, está suspendida de una hebra de seda, y A' y A'' de dos cadenas metálicas; el primero comunica con el suelo, y las bolitas *a* y *b*, que son de metal, están suspendidas de hebras de seda. La electricidad de la barra pasa inmediatamente á las campanas de los extremos; éstas atraen las bolitas *a* y *b* para descomponer su fluido natural; pasada esta descomposición repelen las campanas á las bolitas que inmediatamente son atraídas por el timbre A; este las descarga conduciendo su electricidad al receptáculo comun. Naturalmente esas idas y venidas de las bolitas hacen sonar las campanas, que

<sup>1</sup> Suele darse al experimento el nombre de repique eléctrico. — N. del T.

advierten al observador de la presencia de la electricidad.

M. de Romas, hácia la misma época (1755), hacía el experimento de la cometa con mas perfeccion. En la cuerda entrelazaba un alambre de hierro (Charles preferia una cuerda metálica), y para pónerse á cubierto de descargas imprevistas ponía al extremo de la cuerda un cordon de ocho á 40 pies. Sacaba las chispas con un escitador de mango aislante, haciendo que una de las bolas tocase el suelo y la otra tocase á la cuerda. Dirigió su aparato hácia una nube tempestuosa y llegó á sacar centellas de mas de diez pies de longitud que producian un estrépito parecido á la descarga de una pistola. Véase los términos en que dió cuenta de su experimento al abate Nollet (Academia de ciencias de París, 26 de agosto 1756). En la actualidad se podria hacer comunicar la cuerda de la cometa con el alambre de un multiplicador.

Los experimentos con la electricidad de las nubes deben hacerse con mucha precaucion. Sabido es que el célebre profesor de San Petersburgo, M. Richemann quedó muerto en el acto de aproximarse á un vástago de metal aislado que había colocado sobre su casa (en 1755).

Electricidad atmosférica.

491. Los físicos, y particularmente Saussure han observado que las nubes están siempre mas ó menos cargadas de electricidad; que esta electricidad de la atmósfera es mayor en un punto elevado que en la superficie de la tierra; que es generalmente positiva en los tiempos serenos<sup>1</sup> tanto en

<sup>1</sup> Los señores Biot y Gay-Lussac han hecho una observacion que parece estar en oposicion con ese hecho. En su ascension areostática, de-

invierno como en verano; que la fuerza de la electricidad disminuye en el medio del día; y que en tiempos tempestuosos y agitados, su naturaleza varia á cada instante. Saussure dice (Viage en los Alpes) que esas variaciones se suceden á veces con tal rapidez, que apenas se tiene uno tiempo para observarlas, y que las nieblas hacen descender la electricidad de las altas regiones de la atmósfera, en cuyo caso es mucho mas sensible en la superficie de la tierra.

M. Schübler ha hallado, 1° que la electricidad es siempre positiva cuando el tiempo está sereno<sup>1</sup>; 2° que se halla en el *primer minimum* poco tiempo antes de la salida del sol; que aumenta despues de la salida de ese astro, y que llega á su *primer maximum* algunas horas despues, (en el mes de mayo á las ocho próximamente). Disminuye en seguida hasta las cuatro ó las cinco, época de su *segundo minimum*, y llega ordinariamente al *segundo maximum* á una y media ó dos horas despues de puesto el sol; la estension de esas oscilaciones es, en igualdad de circunstancias, doble en verano que en invierno; esos periodos regulares se observan todo el año cuando el cielo está sereno, y son muy ligeros cuando el cielo está cubierto.

jaron colgando, esos físicos, un alambre metálico de 50 metros próximamente de longitud. Para demostrar que la oposición no es mas que aparente, sea *ab* (Fig. 459) el alambre metálico; supongamos que la electricidad de la atmósfera es positiva, y que crezca en la misma proporción que la altura; la parte superior atrae el fluido negativo del alambre con una fuerza *R*, y repele el positivo con una fuerza *V*. La capa inferior produce el mismo fenómeno en sentido inverso, pero en virtud de fuerzas menores *r* y *v*. Así la electricidad negativa será atraída hácia la parte superior con un exceso de fuerza igual á  $R-r$ , y la electricidad positiva repelida hácia la parte inferior con un exceso de fuerza igual á  $V-v$ . Por consiguiente la parte superior del alambre se hallará en estado negativo, y la inferior en positivo. (M. Biot, t. II, p. 456).

<sup>1</sup> Segun Lemonnier y otros físicos, es algunas veces negativa.

Se ha observado que los periodos diurnos de la electricidad no siguen la marcha del termómetro.

La lluvia, la nieve y el granizo estan electrizados unas veces positiva y otras negativamente (*Annales de Chimie et de Physique*, t. II, 404).

Segun M. Peltier, la tierra está electrizada negativamente hasta las dos de la tarde.

492. Se conocen varios medios de hacer manifiesta la electricidad de la atmósfera.

El mas sencillo de todos, consiste en el empleo de un electroscopio sensible, armado de una varilla puntiaguda de metal de un metro de longitud próximamente; generalmente se compone esa varilla de varias piezas que encajan unas en otras (Fig. 460). Seria mas conveniente terminar el vástago por una bola y sustituir al electroscopio con el electrómetro condensador, de manera que su platillo inferior comunicase con el suelo por medio de una cadena. Todavía es mejor arrojar en el aire, como hacia Saussure, una bola pesada atada á un cordón metálico y cuya parte inferior toque al vástago del electroscopio. Cuando el cordón está estirado, trasmite al electroscopio la electricidad de la capa atmosférica con que está en contacto, pero á causa de la constancia del movimiento se destaca sin que por eso pierda el instrumento la electricidad que habia adquirido. Para aislar la vasija del electroscopio es muy conveniente colocarla en una campana de vidrio con algunos fragmentos de cal viva para desechar el aire. En la actualidad es mas sencillo emplear, como M. Peltier, el multiplicador, de manera que su alambre comunique por un extremo con la atmósfera y por el otro con un parage húmedo de la tierra (Véase mas adelante el multiplicador).

495. Volta y Saussure consideraban el acto de la evaporación como el manantial principal de la electricidad de la atmósfera. Pero esos físicos no estaban acordes acer-

ca de la naturaleza de la electricidad producida, y no obtuvieron en todos sus experimentos un desprendimiento de electricidad. M. Pouillet ha deducido de experimentos hechos al intento : 1° que no se desarrolla electricidad en la volatilizacion de un cuerpo puro (agua destilada, ácido acético, sulfúrico y nítrico concentrados) si se ejecuta la operacion en una vasija de una materia tal que el liquido no ejerza sobre él ninguna accion química ; 2° que se desarrolla si el agua contiene alguna materia ácida, salina ó alcalina ; 3° que el vapor de agua que se desprende de una disolucion alcalina (barita, cal, etc.) va cargado de electricidad negativa ; 4° que el que se desprende de una disolucion ácida ó saliva se carga de electricidad positiva.

Es decir que en todos casos, la disolucion de donde emana el vapor toma una electricidad contraria. Son importantísimos esos experimentos, porque desvanecen las dudas que se tenían acerca de uno de los principales manantiales de la electricidad atmosférica (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 55 y 56).

Para hacer el experimento se coloca sobre una placa de laton aislada un crisol de platina á una elevada temperatura. La placa comunica por medio de un alambre metálico con el platillo inferior de un electrómetro condensador, cuyo platillo superior comunica con el suelo. Se echa en el crisol el liquido que se trata de ensayar, y entonces se recoge la electricidad que conserva, y si se quiere recoger la que el vapor arrastra, se sumergirá el alambre metálico en este último.

A la evaporacion, como manantial de la electricidad atmosférica, debe agregarse el rosamiento del aire con las nubes, con la tierra y consigo mismo ; en fin todos los fenómenos químicos que se verifican en la atmósfera.

Como las sales predominan en las aguas de la superficie de la tierra, parece natural que durante el día sea negativa esa superficie, segun piensa M. Peltier.

La atmósfera suele estar á veces tan cargada de electricidad que los matorrales, los troncos de árboles aislados, las orejas y las crines de los caballos, etc., se hacen luminosos. Esas centellas ó chispas van acompañadas de un silbido semejante al que se percibe poco antes de que el agua rompa á hervir en las vasijas metálicas. Tales son los hechos que observaron varias personas la noche del 17 de julio de 1817 en diferentes puntos de la costa oriental de los Estados-Unidos de América. Los relámpagos se sucedian con rapidez y pocas veces se oyó el estampido del trueno.

Los señores James Braid de Leadhills en 20 de febrero de 1817 (*Annales de Chimie et de Physique*, t. X, p. 284) y Allemand, hijo, en 5 de mayo 1820, tuvieron ocasion de observar un hecho semejante. El último advirtió que la copa y ala de su sombrero se habian vuelto luminosos durante una fuerte lluvia, y tratando de apagar el fuego con la mano aumentaba su intensidad. Esa luz no tenia olor ni producía el chasquido de que se habló en las observaciones precedentes (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XVII, p. 505).

## De los para-rayos.

194. Despues de los experimentos de Franklin, se colocan sobre los edificios barras metálicas que se sumergen en el suelo, y que por el uso á que estan destinadas han recibido el nombre de *para-rayos* (Véase la Fig. 161).

Se dudó por algun tiempo de la utilidad de los para-rayos, creyendo que eran mas á propósito para provocar que para impedir la caída del rayo sobre un edificio ; la experiencia despues ha probado lo contrario, y en el día nadie niega ya su utilidad. ¿Qué efecto produce el para-rayo? La presencia de una nube descompone su electri-

idad, repele hácia el suelo el fluido de su misma naturaleza y atrae á la punta la electricidad de contraria naturaleza. La intension de esta última debe ser tanto mayor cuanto mas considerable sea la accion de la nube; y cuando la presion sea suficiente para vencer la resistencia del aire, su electricidad se combina con una porcion de la electricidad de la nube que acaba por descargarse; en seguida se aleja obedeciendo á la accion del viento, como M. Charles ha observado diferentes veces, presentando á nubes tempestuosas, cometas armadas de puntas metálicas y atadas á cuerdas compuestas de cuerpos buenos conductores.

Puede imitarse ese fenómeno, suspendiendo del conductor de una máquina eléctrica un trapo de algodón atado á una hebra de lino y presentando despues una punta á ese algodón electrizado.

Las barras de los para-rayos van adelgazándose desde la base hasta la cúspide, y su altura en general es de 7 á 9 metros por 54 á 60 milímetros de lado en su parte inferior.

En atencion á la facilidad con que el hierro se oxida por su contacto con el aire húmedo, se quita de la parte superior una longitud de 55 centímetros y se reemplaza con un vástago cónico de laton dorado en su estremidad, ó lo que es aun mejor terminado en aguja de platina de 5 centímetros.

El modo de fijar el vástago en el edificio depende de las circunstancias particulares del último. El conductor sigue primero á lo largo del tejado, pasa despues por el muro ó pared maestra sumergiéndose en un pozo de 4 á 5 metros de profundidad si no se tiene agua á mano. Cuando el terreno es muy seco se duplica la profundidad. (Véase la Fig. 160 a).

Para preservar de la oxidacion la parte inferior del para-rayos se la hace pasar á una capacidad formada de

ladrillos y llena de carbon. Se ha experimentado que el hierro rodeado de brasea ó carbon menudo segun se acaba de indicar puede tirar 50 años sin sufrir la menor alteracion: despues de haber pasado por esa especie de receptáculo de carbon, atraviesa el conductor el muro del pozo en que debe sumerjirse, y para facilitar el desprendimiento de la electricidad se ponen dos, tres ó mas ramales en su parte inferior.

Es muy conveniente hacer que el extremo del para-rayo vaya á la parte mas húmeda del edificio, y para que esa humedad sea constante, en lo posible deben dirigirse las aguas llovedizas hácia aquel punto.

Como las barras de hierro, en razon de su rijidez, presentan dificultades para doblarse y seguir como es necesario las paredes de los edificios, se ha imaginado sustituirlas con cuerdas formadas de alambres metálicos y perfectamente embreadas.

Si el edificio contuviere piezas metálicas de alguna consideracion, como láminas de plomo aplicadas á los caballetes de los tejados, canales, etc., es necesario ponerlas en comunicacion con el para-rayo.

Se ha observado que una varilla metálica de las que se acaba de hablar protege eficazmente contra el rayo un espacio circular de un radio igual al duplo de su longitud.

Para dos para-rayos colocados sobre un mismo edificio basta un conductor comun. Generalmente cada par necesita un conductor, pero sea el que quiera el número de los que se cuenten sobre un edificio, deben ponerse pareados, estableciendo una íntima comunicacion entre los pies ó estremidades de todos los vástagos.

Siempre debe procurarse que el rayo llegue al suelo por el camino mas corto (Comision de la Academia de ciencias de París. — Informe leído por M. Gay-Lussac. *Annales de Chimie et de Physique*, t. 26, an. 1824).

194<sup>a</sup>. Se defienden los edificios aislados de los efectos del rayo con conductores mas ó menos inclinados colocados en todas sus fachadas, los cuales descargan las nubes que una fuerte ventisca pudiera precipitar sobre cualquiera de ellas.

195. Segun los esperimentos de que se habló en el artículo de las baterías, es evidente que las varillas se fundirian si fueran muy delgadas. Sin embargo no se ha presentado ningun caso de fusion de para-rayo de las dimensiones anteriormente indicadas.

Deben evitarse en los para-rayos las *soluciones de continuidad*, y una vez llenada esta condicion no hay nada que temer; porque una de las propiedades mas invariables de la electricidad es la de seguir siempre con preferencia los mejores conductores; así que impunemente puede descargarse con la mano una batería eléctrica teniendo en la mano el conductor metálico que reune las dos armaduras. Y un pájaro, en el mismo experimento, puede tocar al conductor sin recibir la menor lesion. Puede tambien rodearse de pólvora el escitador sin peligro de que se inflame.

Con todo, al hacer esos esperimentos, se observa algunas veces una conmocion instantánea que es incomparablemente menor que la de la batería. La electricidad libre pasa cerca de la mano del operador y por influencia descompone la electricidad natural de ese órgano, y cuando este vuelve á su estado natural, en el momento en que la batería se descarga produce una conmocion; esto se llama el *choque lateral*. Puede comprobarse ese hecho de otro modo; colóquese un pistolete de Volta, lleno de una mezcla de hidrógeno y de oxígeno, próximo á un conductor, y en el momento de la descarga de la batería podrá observarse la esplosion. El choque lateral es tanto menor cuanto mayores son las dimensiones del conductor; de manera que es uno dueño de atenuarlo cuanto quiera.

196. *Del choque de rechazo*. Muchas veces se han visto caer muertos súbitamente hombres y animales en el momento de la esplosion, á pesar de haber estallado el rayo á gran distancia del punto en que se hallaban. He aquí la esplicacion que se ha dado á ese fenómeno.

Sea ABC (Fig. 462) una nube cargada de electricidad negativa. Supongamos una persona colocada en E á corta distancia de la nube, de modo que la electricidad natural de sus órganos pueda descomponerse; la nube atraerá la electricidad positiva y la negativa será repelida al suelo. Si en el momento en que esté cargada de electricidad positiva, un objeto D determina la esplosion de la nube, las dos electricidades, separadas antes por la influencia de la nube, se reunirán, y el sacudimiento podrá ser bastante fuerte para ocasionar la muerte.

Explicacion de los movimientos que la electricidad produce en los cuerpos.

197. 1<sup>o</sup> Una bola de médula de sauco ó de cualquier otro cuerpo cargado de electricidad positiva y negativa, y aislada con respecto á los demas cuerpos, permanece y debe permanecer inmovil; pues que la presion que ejerce sobre el aire que la rodea es igual en todos sus puntos. Esa presion, segun se ha visto, es proporcional al cuadrado del espesor de la capa eléctrica.

2<sup>o</sup> Sean ahora dos esferas electrizadas P y Q; tres casos distintos podemos considerar; cuando P y Q no sean conductores; cuando uno lo sea, Q v. g., y otro no; cuando entrambos en fin sean conductores.

1<sup>er</sup> caso. Ni P ni Q son conductores. A causa de esa propiedad retienen ambos cuerpos la electricidad y dividen entre sí sus movimientos.

No tomamos en consideracion la accion de la electricidad de P ó de Q sobre sí misma, porque las repulsiones ó

atracciones de mi sistema no pueden transmitir ningun movimiento á su centro de gravedad. Únicamente no es necesario considerar la accion entre las electricidades de P y de Q; de manera que segun lo espuesto en el n° 447 podremos representar la accion eléctrica repulsiva ó atractiva

de dos bolas por  $\frac{FEE'}{D^2}$ ; siendo D la distancia de esas dos bolas E y E' las cantidades de electricidades que poseen y F un coeficiente que representa la intension de esa reaccion cuando D, E y E' son respectivamente iguales á la unidad de su especie, y sin que las bolas, hipotéticamente, tengan la menor facultad de conducir.

2° caso. Q conductor y P no conductor. Cuando la distancia entre dos esferas es muy grande con relacion á sus radios puede mirarse como constante el coeficiente F, y produciéndose la reaccion eléctrica en virtud de las cantidades de electricidad E y E', puede representarse por  $\frac{FEE'}{D^2}$

Mas como el estado eléctrico de la esfera que conduce, varia segun la distancia, se sigue que la accion eléctrica debe variar tambien bajo las mismas condiciones.

De cualquier modo que sea, no hay la menor dificultad en concebir la atraccion de dos esferas si sus electricidades son de naturaleza diferente, y su repulsion si las últimas son de la misma naturaleza, considerando siempre que la presion del aire atmosférico retiene la electricidad en la superficie de los cuerpos.

5° caso. Ni P ni Q son conductores. Los mismos principios sirven de base para la resolucion de este problema.

498. Vamos á hacer una aplicacion en el *péndulo eléctrico*. Supongamos que la bola *a* de ese instrumento está electrizada positivamente, y en ese caso aproximemos una barra de resina cargada de electricidad negativa (Fig. 465).

La electricidad negativa de la resina atraerá la positiva

de la bolita, y esa electricidad positiva se acumulará la mayor parte en *b*, de manera que la presion eléctrica será mucho mas fuerte en *b* que en *a*, y recíprocamente la presion atmosférica será menor en *b* que en *a*; la bola se lanzará hácia la barra con una fuerza igual á ese exceso de presion. Hemos considerado únicamente la electricidad positiva de la bola, pero es necesario al mismo tiempo tomar en cuenta la electricidad natural de esa bola, puesto que una parte se descompone á causa de la influencia de la barra de resina.

La electricidad positiva procedente de esa descomposicion, se coloca en la parte mas próxima de la barra de resina y la negativa pasa á la parte opuesta, resultando todavía un exceso de presion que obrará en el mismo sentido que el exceso que determinó la electricidad primitiva.

A medida que el hilo que sostiene la bola se separa de la vertical, se aviva la fuerza de la gravedad para hacerle caer, y en el número 22, tomo I, hemos visto que si por *p* se representa el peso de la bola y por *a* el ángulo que el hilo forma con la vertical, puede representarse por  $p \cdot \text{sen. } a$  la intension de la componente que tiende á hacerle volver á la vertical. En la posicion en que guarda equilibrio hay igualdad entre el exceso de la presion que tiende á levantar la bola y  $p \cdot \text{sen. } a$  que tiende á hacerla bajar.

Con frecuencia se observa en los esperimentos de electricidad que la atraccion sucede á la repulsion. Esto sucede ordinariamente cuando se presenta un cuerpo pequeño y con poca carga á un cuerpo mucho mayor y con muy crecida carga; v. g., una bolita electrizada negativamente y presentada al conductor de una máquina. A medida que la bola se aproxima se descompone una porcion mucho mas considerable de su electricidad, y entonces la atraccion debida á esa última causa vence á la fuerza de repulsion á que dió origen la electricidad inicial.

199. Parécenos este lugar el mas á propósito para hablar de un experimento que se hace en todos los cursos de física. Sobre el conductor de una máquina eléctrica (Fig. 466) se coloca una aguja AB formada con un alambre metálico cuyas puntas están yueltas en opuestos sentidos. En su centro tiene un agujerito C para colocarla sobre un apoyo cónico. Cuando la máquina funciona, la aguja gira como si con las puntas rechazara el aire. La electricidad se escapa por cada una de las puntas, y resulta que la presión es entonces nula, pero la que en el extremo opuesto se ejerce contra la atmósfera, determina el movimiento en ese último sentido. El fenómeno es absolutamente semejante al que observamos al tratar de los líquidos, nº 44, tomo I.

« Este fenómeno, dice M. Péelet<sup>1</sup>, se comparó á los efectos de reaccion que se producen en el desagüe de los líquidos y de los gases, considerando á la capa de aire que rodea á un cuerpo electrizado como una vasija que retenia el fluido, pero cuyas paredes tenían solamente una resistencia limitada; entonces, si la tension eléctrica en un punto cualquiera de la superficie vencia á aquella resistencia, se agujereaba la vasija, y escapando entonces el fluido, resultaba en el punto opuesto de la vasija una presión que le hacia moverse en sentido opuesto al del desagüe. Era difícil admitir esa esplicacion, porque siendo la accion igual á la reaccion, era necesario suponer á la electricidad una masa finita ó una velocidad infinitamente grande. M. Aimé ha hecho patente la inexactitud de esa esplicacion con el siguiente experimento. Una aguja doblada en forma de s y barnizada en toda su longitud, excepto en el extremo de las puntas, colocada horizontalmente dentro de una campana por medio de un alambre metálico muy fino y tambien barnizado, no da vueltas

<sup>1</sup> Tom II, pág. 84.

cuando la máquina funciona si se toma la precaucion de hacer el vacío en la campana, aun cuando la electricidad se escapa por las puntas, como puede observarse haciendo el experimento en la oscuridad. Segun esto parece probable que el movimiento de que se trata proviene de la fuerza repulsiva que sobre la aguja ejerce el aire electrizado por la corriente. Hay otro hecho observado igualmente por M. Aimé, que viene en apoyo de la última esplicacion; el *molinillo eléctrico*, que así se llama tambien el aparato (Fig. 464), funciona cuando está sumergido en un líquido mal conductor, como el aceite, y permanece inmóvil, cuando está sumergido en el agua.» (Péelet.

Electricidad desarrollada por la presión.

200. « El rozamiento<sup>1</sup> es el origen de la electricidad libre en las máquinas eléctricas que hemos explicado; pero hay ademas otras causas que pueden descomponer el fluido natural, entre las cuales es una la presión de los cuerpos sólidos compresibles ó elásticos. El primer hecho relativo al desarrollo de la electricidad libre por la presión es debido á M. Liebes, el cual observó que una placa de metal aislada y sin barnizar se electrizaba negativamente comprimiéndola con un tafetan barnizado, y positivamente si la frotaba con el mismo cuerpo. Tambien una placa de vidrio se electriza negativamente cuando se le comprime entre pedazos de tafetan engomado.

« Haüy descubrió despues que algunos cristales se electrizaban por el mero hecho de la presión; es sumamente marcado el fenómeno en la cal carbonatada

<sup>1</sup> Hemos sacado todos los pormenores adjuntos acerca de la electricidad desarrollada por la presión, del *Curso de Física*, de M. Lamé, tom. III.

cristalizada ó espato de Islandia; para hacer el experimento se la comprime entre los dedos presentándola en seguida á los extremos de una aguja metálica horizontal, y que pudiéndose mover fácilmente sobre un eje comunica con el receptáculo comun; la aguja entonces se desvia á causa de la atracción que el fluido libre del cristal ejerce sobre el fluido de nombre opuesto acumulado en el extremo de la aguja á causa de la influencia del primero. Los cristales comprimidos pueden conservar su electricidad libre por muchas horas y aun á veces por muchos dias, propiedad sumamente notable en el espato de Islandia. La facultad de dar ó no señales de la electricidad por la presión, y la de conservarla por mas ó menos tiempo, han sido colocadas por M. Haüy entre los medios que pueden seguirse para distinguir entre sí las sustancias minerales.

« M. Becquerel ha estudiado tambien los fenómenos que resultan del desarrollo de la electricidad por la presión; su electrómetro se reducía á una balanza eléctrica cuyo alambre metálico era capilar, y con un aparato particular graduaba á voluntad las presiones ejercidas, que cesaban, ó instantáneamente, ó con una velocidad determinada. De sus experimentos ha deducido las leyes siguientes: cuando se comprimen uno contra otro dos cuerpos de diferente naturaleza, y se los separa despues súbitamente, quedan cargados de diferentes electricidades. Si los dos cuerpos son malos conductores, ó si siendo buenos conductores se los ha comprimido ó separado hallándose aislados, la electricidad libre esparcida en cada uno de ellos se manifiesta con los signos ordinarios. Si uno solo de esos dos cuerpos, no aislados, es mal conductor, solo se advierten en él las señales de la electricidad.

« En fin, si los dos cuerpos sometidos á la presión son buenos conductores, y están siempre en contacto con el receptáculo comun, la electricidad libre desarrollada por

la presión no es sensible en ninguno de ellos, resultado que debia esperarse.

« La cantidad de fluido neutro que la presión descompone, ó la masa de electricidad libre esparcida en cada uno de los cuerpos comprimidos, despues de su separación, depende á la vez de la fuerza de la intensidad de la presión que han experimentado y de la rapidez con que se los ha separado. Cuando la velocidad es la misma, la electricidad libre esparcida en cada cuerpo por separado es tanto menor cuanto mas lenta ha sido la separación, y cuanto mas corta es la facultad de conducir tanto mas tiempo conservan la electricidad libre desarrollada por la presión.

« El calor influye mucho en estos fenómenos; el espato de Islandia que á la temperatura ordinaria se carga de electricidad positiva, mediante la presión, toma por la inversa, en las mismas circunstancias, la electricidad negativa cuando se eleva suficientemente la temperatura. Cuando se comprimen uno contra otro, dos cuerpos de la misma naturaleza, cuyas temperaturas sean iguales, no dan la menor señal de electricidad cuando se los separa; pero si las temperaturas son diferentes, el mas caliente se carga de electricidad negativa y el mas frio se electriza positivamente.

« Para observar esos fenómenos, es necesario enjugar y aun mejor secar los cuerpos que se trata de experimentar, puesto que siendo la electricidad buen conductor, puede recomponer los fluidos eléctricos; y la experiencia demuestra que sin esas precauciones no dan los cuerpos señales de electricidad despues de su separación. Se puede demostrar el desarrollo de la electricidad por la presión, con pedazos de corcho, de goma-elástica, de médula de sauco, siempre que entre las manos del operador y esas sustancias haya un cuerpo mal conductor.

204. « No se debe confundir el desarrollo de electricidad

debido á la presion con el del rozamiento entre los cuerpos sometidos á esa presion. Los hechos citados anteriormente prueban que son absolutamente distintos, puesto que los cuerpos pueden adquirir diferentes electricidades en uno y en otro caso. M. Pécelet ha demostrado, con una porcion de esperimentos, que la energía de la presion no tiene ninguna influencia en la cantidad de electricidad desarrollada por dos cuerpos frotados bajo esa presion obrando continuamente. Esta ley parece hallarse en contradiccion con la que resultó de los esperimentos de Becquerel acerca de la electricidad desarrollada por la presion. Con todo es necesario advertir, que en esos fenómenos, el contacto prolongado de esos cuerpos, frotados ó comprimidos, produce una combinacion mas ó menos rápida de esos fluidos separados, y que los efectos observados dependen únicamente de las electricidades libres que escapan de esa recomposicion. Por consiguiente son compatibles entre sí esas dos leyes admitiendo que la cantidad de fluido neutro, que se reproduce en el contacto, es muy diferente entre las superficies frotadas y entre las que únicamente son comprimidas.

Electricidad desarrollada por la division de los cuerpos.

202. « Cuando se separan dos láminas de mica una de otra, se desprende un destello de luz en la oscuridad, y si ademas están aisladas quedan cargadas de contrarias electricidades. Dos láminas de cal sulfatada (yeso) que han perdido por la accion del calor su agua de cristalización producen el mismo fenómeno. Las dos partes de una carta desdoblada se electrizan tambien de diverso modo. Estos hechos, á lo que parece, dependen de la misma causa que la electricidad desarrollada por la presion, y son únicamente perceptibles en los cuerpos cristalizados ó aque-

hos que en su superficie despues de la fractura ofrecen alguna diferencia con respecto á la disposicion de sus moléculas; la esperiencia demuestra que cuando se rompen barras de vidrio ó de resina no quedan despues los pedazos cargados de electricidad. El choque puede tambien desarrollar electricidad, sin duda alguna por la compresion que ocasiona en los cuerpos chocados; la luz ó la fosforescencia que produce el choque en la oscuridad se atribuye á la reunion de las electricidades desarrolladas por la percusion. » (Lamé.)

De la electricidad desarrollada por el contacto.

205. En el año de 1789 se descubrió un nuevo ramo de la electricidad, que recibió el nombre de *Galvanismo*, por llamarse Galvani un profesor de Bolonia que estudiando la irritabilidad nerviosa, observó que una rana que habia colgado por la columna vertebral de un gancho de cobre experimentaba fuertes convulsiones cuando los músculos tocaban otro metal apoyado en el cobre. Varióse de mil modos el experimento, y Galvani creyó haber encontrado una prueba de la existencia de una electricidad animal. Segun ese anatomista el músculo contenia las dos electricidades, la negativa en la superficie exterior, y en la interior la positiva, y los nervios en tal caso servian de conductores. El fluido positivo pasaba del interior del músculo al nervio y en seguida al arco escitador, y este último la trasmitia á la superficie exterior del músculo (*Historia del galvanismo*).

204. La opinion de Galvani fué aprobada por una porcion de sabios. Volta sin embargo sostuvo que la electricidad se producía por el contacto de los dos metales, y que si el animal experimentaba convulsiones era solamente porque por medio de sus órganos establecia la comuni-

cacion entre las dos electricidades positiva y negativa desarrolladas por el contacto. Los experimentos en que el célebre fisico de Pavia se fundaba son los siguientes. Pueden todos reducirse á tres principales, pero en estos es muy interesante fijarse porque sirven de fundamento á la teoría de la pila.

1° Se toman dos discos circulares, uno de zinc y otro de cobre, aislados con barras de vidrio, se los pone en contacto y se aproxima en seguida uno de ellos, el de cobre por ejemplo, al platillo colector del electrómetro condensador. Si se repite varias veces la misma operacion, se advierte, despues de haber levantado el platillo superior, que el electrómetro está cargado de electricidad negativa, lo que prueba que el cobre estaba tambien cargado del mismo género de fluido. El zinc hubiera dado electricidad de diferente naturaleza (pero para ese esperimento es necesario que el platillo colector del electrómetro condensador sea de zinc, ó valerse de un cuerpo intermedio algo húmedo en el caso de que fuera de cobre); porque lo mismo en el contacto, que en todos los casos en que hay desarrollo de electricidad, se producen ambos fluidos á la vez. Puede evitarse la comunicacion entre el suelo y el platillo superior del condensador, con tal que se toque al mismo tiempo cada uno de los platillos con uno de los discos <sup>1</sup>.

El conjunto de dos láminas es en realidad una máquina eléctrica en pequeño; el contacto hace pasar el fluido positivo al zinc y el negativo al cobre, hasta que se establece el equilibrio entre la fuerza que produce la descomposi-

<sup>1</sup> Volta, generalizando sus ideas, asentó el principio de que el contacto de dos sustancias heterogéneas, cualesquiera que sean, produce la descomposicion del fluido natural. Sin embargo, el hecho no es visible entre dos discos, sino cuando estos son de meta).

cion de la electricidad natural y la accion atractiva entre ambos fluidos.

2° Pudiera tal vez creerse que la produccion de electricidad es consecuencia de la presion entre los dos metales. Para destruir esa objecion no hay mas que soldarlos segun se ve en la (Fig. 165). Tóquese en seguida el platillo colector del condensador, que suponemos de cobre puro, con la parte de cobre, teniendo al mismo tiempo en la mano la parte de zinc, y se observará que el electrómetro está cargado de fluido negativo; si se hace el esperimento cogiendo esa placa doble por la parte de cobre y poniendo el zinc en contacto con el platillo colector, no se advierte ninguna señal de electricidad en el electrómetro y sin embargo la presion es la misma en ambos casos.

En el esperimento nº 1º, como los discos estan aislados, deben retener cantidades de fluido eléctrico totalmente iguales aunque de contraria naturaleza, y entonces el condensador debe cargarse por uno y otro. Pero en el segundo esperimento uno de los discos, por el mero hecho de comunicar con el receptáculo comun, adquiere su estado natural, y el otro puede recibir mayor cantidad de fluido, segun demuestra la esperiencia. Si la lámina de cobre toca al platillo inferior del condensador, una parte del fluido negativo que contiene pasa al platillo, y entonces disminuye la tension; la lámina doble suministrará por sí misma y por el suelo la electricidad necesaria para poner al cobre en su estado primitivo; de manera que el electrómetro condensador quitará la electricidad á la lámina de cobre, hasta que la tension eléctrica sea la misma en el platillo colector y en la lámina que toca. De modo que es un hecho, que la lámina de cobre puede estar cargada de electricidad negativa aunque toque la lámina de zinc que comunica directamente con el suelo. El contacto, es

pues, una fuerza *electromotriz* que produce ese resultado.

5° El resultado es diferente cuando el cobre comunica con el suelo, y el zinc toca al platillo colector; pues por mucho tiempo que dure el contacto no se advierte el menor signo de electricidad en el electrómetro. Este experimento está completamente acorde con el precedente. En efecto, la electricidad negativa del cobre pasa al receptáculo común y la electricidad positiva del zinc aumenta hasta que se establece el equilibrio. Este no sufre la menor alteración aun cuando una lámina de cobre en estado natural toque á la lámina de zinc; tal es el caso de nuestro segundo experimento. El platillo del condensador, permanecerá por consiguiente, en estado natural.

En estos dos últimos experimentos hemos supuesto que el platillo colector del condensador, á mas de ser de cobre, era idéntico á la lámina de cobre del sistema que nos sirvió para desarrollar la electricidad por contacto. Necesario es tener en cuenta esa circunstancia, porque si el platillo fuera de zinc, los resultados serian tambien inversos.

4° En el segundo experimento podrá conseguirse que el electrómetro se cargue de electricidad si cubre la parte del platillo del condensador, que la lámina de zinc debe tocar, con una hoja de papel mojado ó con otro cuerpo semejante; en ese caso, como ya no hay entre el cobre y el zinc, la electricidad positiva, desarrollada en el último metal, se esparce en el platillo inferior del condensador, y el electrómetro por consiguiente se carga de electricidad positiva. Es sumamente importante esta última observación, por lo que ayudará á comprender la construcción de la pila.

Construcción de la pila.

205. Se llama pila un conjunto de placas metálicas pareadas, sumergidas ordinariamente en un líquido, llamándose *par de la pila* á la reunión de dos placas de metales diferentes soldados, ó simplemente en contacto.

Diversas clases de pilas.

206. Las primeras pilas eran verticales y se las llama por esa razón pilas de columna. Los pares estaban separados entre sí por medio de pedazos de paño *h* (Fig. 166) empapados en una disolución salina. Se abandonó esa disposición porque el peso de los discos superiores esprimía el líquido de los conductores húmedos, y la pila quedaba en poco tiempo fuera de servicio.

Para evitar esos inconvenientes se inventaron las pilas de cajón. En ellas están los elementos colocados y soldados dos á dos en una caja de madera; entre cada dos pares hay un tubo de vidrio en forma de U abierto, de un betún mal conductor, y los tres lados de cada par que hay dentro del cajón están asimismo embetunados, de manera que la pila se halla completamente aislada. El conductor húmedo es un líquido que se vierte en los intervalos de los diferentes pares (Fig. 167).

En este aparato, según puede observarse, no se presentan los inconvenientes que señalamos en el anterior; sin embargo no tiene todas las condiciones que sería de desear. Es indispensable valerse de los ácidos poderosos para que la pila produzca efectos enérgicos, y eso ofrece el inconveniente de que las placas se gastan en poco tiempo;

por consiguiente es indispensable que esas placas no estén en contacto del líquido cuando los efectos de la pila no son necesarios para algun experimento, lo que puede conseguirse adoptando la disposicion representada en la Fig. 468. Todas las placas AB es un par. La parte A es de cobre y la B de zinc; todas penetran en el líquido cuando se baja el madero HK, y como la madera es mal conductor debilita poco la accion de la pila por la comunicacion que establece entre los dos extremos de esta pila. Cuando el aparato está sumergido cada cajoncito contiene dos elementos de dos pares diferentes. Esta disposicion es parecida á la que adoptó Volta para uno de sus aparatos, que consistia en varios pares curvos que se sumerjian en unas tazas dispuestas en corona. En el día se emplea una que difiere algo de la precedente y en la que se coloca el líquido en unas vasijas, segun se ve en la Fig. 469. Los pares *c, c, c*, se componen de láminas de zinc soldadas á otras de cobre; pero estas últimas son muy anchas y envuelven al elemento zinc del segundo par, aunque entre ambas hay una plaquita de corcho para impedir su contacto. A la placa de zinc del segundo par se suelda otra banda de cobre *c* que envuelve el elemento zinc del tercer par y así sucesivamente. Esta nueva construccion es debida á M. Wollaston<sup>1</sup>.

Quando las pilas han de ser muy grandes se tropieza con la dificultad de encontrar vasijas del tamaño suficiente

<sup>1</sup> Se ha observado que, con esta disposicion, se hacen las pilas mas enérgicas que en las circunstancias ordinarias, lo cual depende, segun parece, de que cuando la electricidad no tiene gran tension, como se verifica en la pila, no atraviesa, sin resistencia, los metales. Esa resistencia es menor en los metales que son fácilmente atacables por los ácidos, que en los que no lo son. Así, como el zinc lo es mucho mas que el cobre, no hay necesidad de emplear tanta cantidad del primero como del segundo. — N. del T.

para colocar los pares. Para evitar ese inconveniente ha dado M. Dulong al instrumento una forma diferente. La nueva pila de que hablamos está representada por una seccion vertical en la Fig. 470.

A, B, C y D son unos cajones de cobre que contienen el líquido conductor y escitador, y al lado de cada uno de ellos hay otros cajoncitos *a, a, a, a* de palastro y llenos de mercurio hasta una cierta altura; *cd* es la lámina de zinc y *cg* la lámina de cobre con que está soldada; de manera que los elementos de zinc se sumergen en el líquido escitador y el elemento correspondiente en el mercurio que sirve de conductor. Los pares estan sujetos á un travesaño de madera MN por medio del cual se levanta la pila cuando no debe funcionar. En O hay una abertura por la que sale el líquido cuando ya no tiene la suficiente energía.

La velocidad de la corriente es muy interesante, como se dirá en lo sucesivo, por cuya razon es mas util aumentar la superficie que el número de los elementos; de manera que dadas dos láminas, una de cobre y otra de zinc, es mas ventajoso hacer uno solo que varios pares, y si las superficies tienen bastante estension puede dáseles la forma espiral<sup>1</sup>. Para los experimentos ordinarios, puede emplearse un líquido compuesto de 50 partes de agua, 4 de ácido nítrico y 4 de ácido sulfúrico.

<sup>1</sup> Las pilas en hélice son de las mas simples y económicas que pueden emplearse para producir fenómenos que exijan, no una gran tension, sino una gran masa de electricidad en movimiento. Consta de dos láminas, una de cobre y otra de zinc paralelas entre sí, en forma de espiral, aunque no se tocan una á otra, pues están separadas por un tejido de mimbre, y en el medio hay un eje de madera, al cual está fijo todo el aparato, y por medio del cual se le puede bajar ó levantar, y sumergiéndole en un líquido ácido; se tienen de ese modo grandes superficies en contacto con el líquido. — N. del T.

## Pilas secas.

207. Las pilas de que acabamos de hablar son poderosas, pero se destruyen con facilidad, por lo cual se ha tratado de construir pilas en las que no fuera indispensable emplear los ácidos, y que pudieran de ese modo conservarse mucho tiempo. M. Deluc, en 1819, y Zamboni, en 1812, han construido una pila seca con discos de papel plateado (ó mas bien recubiertos de zinc) por una de sus caras, y de óxido de manganeso por la otra. Se reúnen muchos miles de elementos, se forman dos columnas verticales, y rodeándolas de azufre fundido para aislarlas y preservarlas al mismo tiempo de la humedad, se las coloca una al lado de otra sobre una placa metálica, de cuyo modo forman en realidad una sola y misma pila. En seguida se coloca un balancin de cortas dimensiones entre ambas pilas (Fig. 171) que es alternativamente atraído y repelido á cada uno de sus extremos, de cuyo modo se produce un movimiento que suele durar algunas veces muchos años, pero á la larga pierde también su energía. Las pilas secas sienten las variaciones termométricas exteriores (M. Donné.)

M. Rousseau ha hecho una feliz aplicación de las pilas secas á la construcción de un instrumento que ha dado el nombre de diágometro. Se compone ese instrumento de una pila seca y de una aguja imantada de algunos granos de peso. Por la parte inferior comunica la pila con el suelo, y por su extremo superior con un vástago metálico aislado que sostiene una aguja imantada horizontal enfrente de la cual hay una bola metálica aislada que comunica con la pila. Se coloca en el meridiano magnético el soporte de la aguja y de la bola, de manera que la aguja se apoye en la última; pero en el momento en que se establece la comu-

nicación con la pila, la aguja se desvía. Pero como el tiempo que la aguja emplea para llegar á su máximo de desvío, depende de la facultad de conducir las sustancias que se colocan en el paso de la corriente, se puede por ese tiempo medir la relación de las conductibilidades. Así el aceite de olivas interpuesto, llega á su máximo al cabo de 40" y el aceite de adormideras llega á 27". Si al primero se le añade una centésima parte de otro aceite cualquiera, el tiempo necesario es únicamente de 40'. Si el diágometro posee las propiedades que le atribuye su inventor puede llegar á ser un instrumento precioso para el comercio de los aceites.

## De las pilas secundarias.

208. Cuando se reúnen los extremos de una pila aislada por medio de un cuerpo mal conductor, la descarga del instrumento no es instantánea. Y si al cabo de algunos minutos se suprime la comunicación, queda cada estremidad del conductor en el mismo estado que el extremo de la pila que habia tocado. Ese conductor produce conmociones, descomposiciones químicas, y en general todos los efectos de la pila ordinaria, aunque con menos energía que la pila que anteriormente habia tocado, y además su acción se debilita y desaparece despues en pocos instantes.

Una tira de metal húmeda, un cierto número de discos metálicos separados entre sí por discos de carton mojado, y en general todos los imperfectos conductores, pueden servir para formar pilas secundarias, que son invención de Ritter. Sin embargo es digno de notarse que antes de ese físico, habia ya Volta observado que una tira de papel empapada en agua pura y puesta en contacto con los extremos de una pila, de modo que pueda descargarla, ad-

quiere en cada uno de sus extremos, la electricidad del extremo correspondiente de la pila.

M. Delarive ha observado recientemente que los alambres metálicos que sirven para establecer la comunicacion entre los dos polos de una pila, conservan despues de su separacion bastante electricidad para ejercer su accion sobre el galvanómetro, y lo que aun es mas notable, es que retienen esa electricidad durante mucho tiempo, aun despues de haber estado en contacto con cuerpos *buenos conductores*, y es digno de notarse que la corriente es en sentido inverso de la pila.

M. Mariani ha observado que las placas lavadas conservan todavia la propiedad de determinar una corriente eléctrica. M. Vanbeek ha observado tambien que una placa de cobre, electrizada negativamente por el contacto de una placa de zinc, permanece negativa, despues de la separacion de ese metal, es decir, que si se la sumerge en una disolucion de sal marina, no sufre la menor alteracion, al paso que otra placa que no haya experimentado la influencia del zinc, es siempre atacada por aquella disolucion.

No se conoce todavia la explicacion de todos esos hechos curiosos.

De lo que precede resulta que una vez producida la corriente voltáica en el conductor, este la conserva durante algun tiempo; ¿no será tal vez esto la indicacion de un movimiento de las particulas de los cuerpos, que solo cese al cabo de un cierto número de vibraciones?

209. Volta admitia que el líquido servia unicamente para conducir la electricidad de un par á otro; que la diferencia entre dos elementos en contacto es constante é independiente del estado de esos elementos, de donde se dedujo, por medio de cálculos sumamente sencillos, que una pila, de la cual un extremo comunique con el suelo las cantidades de electricidad de que se cargan los diver-

sos elementos, á partir del extremo que está en estado natural, forman una progresion aritmética, y que en una pila aislada, los elementos colocados á igual distancia del medio que debe estar en estado natural tenian la misma carga aunque con signos diferentes. Aunque todas esas suposiciones y las consecuencias deducidas son absolutamente falsas, no por eso es menos interesante á la ciencia el trabajo en que M. Biot espone la teoría de Volta.

No solamente el líquido conductor puede aumentar ó disminuir la energía de la pila, segun que es mas ó menos conductor, ó que ataca con mas ó menos energía los elementos, sino que tambien puede cambiar el estado eléctrico de los metales, como demuestra la tabla siguiente, en el que cada cuerpo es positivo con relacion al que le precede.

En el ácido nítrico concentrado.	En el ácido nítrico diluido.
Hierro oxidado.	Plata.
Plata.	Cobre.
Mercurio.	Hierro oxidado.
Plomo.	Hierro.
Cobre.	Plomo.
Hierro.	Mercurio.
Zinc.	Estaño.
Estaño.	Zinc.

Citaremos ademas algunos experimentos.

Cobre + estaño — en el amoniaco; lo inverso en el ácido nítrico concentrado. <sup>®</sup>

Carbon + platina — en el ácido sulfúrico calentado á 425° próximamente; lo inverso en el agua regia.

Arsénico + hierro — en una disolucion caliente de potasa; lo inverso en el ácido sulfúrico diluido.

Así un par de oro y de platina no tiene ninguna tension ni produce ninguna corriente cuando se le sumerge en el ácido nítrico puro.

Véase una Memoria de M. A. Delarive (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 57).

Este sabio cree que el cuerpo mas alterado por el agente químico toma siempre la electricidad positiva, y consiguientemente el menos alterado la negativa, y que la acción química es la única causa de la electricidad desarrollada en la pila.

Citaremos además un experimento de M. Faraday que está también en oposición con la teoría del contacto. Se sumergen los extremos de dos placas, una de zinc y otra de platina, en una vasija llena de ácido nítrico ó sulfúrico diluido, y los otros están reunidos entre sí con una tira de papel empapada en ioduro de sodio. Las placas no se tocan en ningún punto, y en cuanto se quita el ácido cesa inmediatamente la descomposición del ioduro de sodio. En el iodo, además, se deposita la platina, y no en el zinc como hubiera acontecido si los metales hubieran estado reunidos siendo el ioduro el líquido escitante.

Los dos fluidos eléctricos, separados en virtud de la acción química, tienden á reunirse, por lo cual la acción eléctrica tiene un límite, aun cuando la acción química continúe. Ese límite depende de la facultad que tenga el cuerpo que ataca y el que es atacado para conducir la electricidad, por manera que no siempre las acciones químicas mas enérgicas son las que producen mayor tension.

Varios sabios y entre otros, Ritter, Fabroni y Wollaston habian emitido esa opinion, pero ninguno de ellos habia presentado tantos hechos en su apoyo. Difiere de la de M. Davy, que tiene por base la teoría de Volta, en la necesidad de una acción química para la producción de la corriente.

Es un hecho verdadero la parte que tiene la acción química en la electricidad producida, porque á medida que se aleja toda acción química, es mas difícil el experimento de Volta. Así que, segun M. Delarive, no sale bien en el gas hidrógeno. Se sabia, por un antiguo experimento de Biot y Fr. Cuvier, que la acción de una pila cargada con un líquido salino, cesa en el gas azoe. Sin embargo, es nuestro deber decir que se han citado, en favor de la opinion de Volta, algunos experimentos hechos con cuerpos, tales como el peróxido de manganeso y la plata, que al parecer, no ejercen ninguna acción química entre sí, y que desarrollan, sin embargo, electricidad por su mutuo contacto. No está todavía demostrado que la plata no se oxida en tales circunstancias, y cuando se supusiera que el experimento de Volta salia perfectamente en el gas hidrógeno, ¿no podrá atribuirse la electricidad á una combinación momentánea verificada entre las moléculas heterogéneas del cobre y del zinc?

M. Perrot en una carta (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 42, p. 45), habla de un trabajo suyo premiado en 1801 por la sociedad de Harlem, en el que apoyándose en la experiencia sostiene que la electricidad desarrollada en la pila es efecto de la acción química. El profesor Pláff de Kiel sostiene la teoría de Volta (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 41, p. 256).

## Efectos de la pila.

240. Para entender los efectos de la pila es necesario formarse antes una idea clara y precisa de la corriente y de la tension.

Obsérvese la *tension* eléctrica, cuando los cuerpos entre los que se ejerce la acción electromotriz están separados por cuerpos no conductores en todos aquellos puntos

en que no se verifica dicha accion, como sucede en una pila de cajon aislada.

La corriente eléctrica se produce cuando los dos cuerpos electromotores hacen parte de un circuito de cuerpos conductores, mediante los cuales se comuniquen por puntos diferentes de aquellos en que se ejerce la accion electromotriz. Asi la corriente se establece en un alambre metálico que reúne los dos polos de una pila aislada ó no aislada. En tal caso no hay tension.

La intension de la corriente depende de varias circunstancias.

1° De la diferencia entre la energia de la accion química de cada una de las partes del par metálico. Así el hierro que es menos atacado que el zinc y mas que el cobre en el ácido sulfúrico diluido, produce, en cada uno de esos dos metales, una corriente mas debil que la que resulta de la reunion del zinc con el cobre. Puede concebirse ese hecho, acordándose de que el cuerpo atacado tiende á cargarse de electricidad positiva. Por manera que la fuerza electromotriz será tanto menor cuanto mayor sea la desigualdad con que los cuerpos son atacados.

2° Del cambio del conductor. Cuando la electricidad pasa de un conductor á otro experimenta siempre una pérdida, tanto menor cuanto mayor es la intension de la corriente <sup>1</sup> y cuanto mas se multiplican los puntos de tránsito entre esos conductores <sup>2</sup>. Esto explica porqué la corriente producida por una pila compuesta de muchas placas atraviesa con mas facilidad á un cuerpo mal conductor, que la corriente que procede de una pila compuesta de un corto número de elementos. El orden de los conductores tiene todavía otra influencia; es decir, que no es la misma la disminucion cuando la corriente pasa al

<sup>1</sup> M. A. Delarive. *Ann. de Chim. et de Phys.* t. 57.

<sup>2</sup> Mariani.

traves de una placa doble de cobre y zinc, en el orden zinc y cobre que en el orden cobre y zinc. La electricidad se comporta en el caso presente como el calor radiante (n° 97, t. 1°).

La pérdida que sufre la corriente al pasar de un conductor á otro, hará concebir la ventaja, en igualdad de superficie, de una pila compuesta de un corto número de elementos sobre otra compuesta de muchos mas.

Tambien podrá concebirse, según los mismos experimentos, la disminucion que sufre la corriente por la interposicion, en la pila, de uno ó varios diaframas ó láminas metálicas.

5° Quanto mayor es la superficie de las partes metálicas de una pila que estan en contacto con el liquido, tanto mas considerable es la intension de la corriente <sup>1</sup>. Lo que en el dia es evidente, á causa de que la accion química es tambien mucho mayor en aquellas circunstancias.

4° La corriente tiene la misma intension en toda la estension del alambre que une los dos polos de una pila <sup>2</sup>.

5° Dos pares de masas diferentes pero de igual superficie, producen la misma corriente <sup>3</sup>, lo cual se verifica tambien si las superficies en contacto con el liquido son tambien iguales.

6° La elevacion de temperatura aumenta la energia de la corriente, y aun muchas veces cambia su signo. Lo cual resulta de que la temperatura modifica la accion química.

Todavía está por explicar la razon de porqué la pila presenta máximos y mínimos de potencia. Así 14 y 70 pares de á 46 pulgadas cuadradas de superficie producen el mayor efecto.

<sup>1</sup> Gay-Lussac et Thénard, *Recherches physiques-chimiques*.

<sup>2</sup> M. Becquerel, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. 52.

<sup>3</sup> Mariani.

Una pila de 20, de 24, ó de 120 pares, tiene la misma intension, suponiendo que se haya medido la intension de la corriente por su accion sobre una aguja imantada. (Véase *Fenómenos electro-dinámicos*). Los resultados son análogos cuando se estudia la pila con relacion á su potencia química ó calorífica.

## Efectos físicos.

211. Cuando se hace comunicar el condensador con uno de los extremos de la pila, poniendo el otro en comunicacion con el suelo, adquiere la misma carga que con una máquina eléctrica de tension igual á la del extremo tocado (M. Biot, M. Vaumaren). La carga en ese caso depende de las dimensiones de los elementos y de ningun modo de la tension. Los mismos sabios creyeron notar que era proporcional al número de elementos. Este resultado está en oposicion con los recientes experimentos de M. Lariye, que asegura que el número de elementos no aumenta la tension, y que esta, en los extremos de una pila compuesta de pares iguales, es la misma que en un solo par.

## Efectos caloríficos.

212. Lo son la descarga de la pila y todos los efectos que se observan en los instrumentos condensadores. Si se reúnen los extremos de una pila aislada ó no aislada con un alambre de metal, v. g. de hierro, se enrojece y entra en combustion con gran desprendimiento de luz. La mayor parte de los otros metales producen efectos análogos<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Cuando se aproximan uno á otro, dos alambres, en comunicacion con los extremos de una pila, se atraen á una distancia apreciable.

El sabio profesor de Harlem ha hecho, con el señor Plaft de Kiel, una serie de interesantísimos experimentos para probar la ventaja de la estension de las placas cuando se trata de producir la fusion ó combustion de los alambres.

Es evidente que la potencia de una pila para producir la conmocion ó la fusion de los metales, crece en la misma proporcion que la estension de las placas. Y aun, segun lo que precede, la combustion debe ser mas facil con un solo elemento que con una pila compuesta.

M. Children ha aumentado considerablemente los efectos obtenidos por M. Van Marum, sirviéndose de una pila de grandes dimensiones.

Cada placa de zinc tenia seis pies de longitud y dos pies y ocho pulgadas de ancho: la superficie de las de cobre era doble de la anterior, y en su forma era la pila análoga á la que representa la (Fig. 169).

El líquido escitante de que se servia se componia de agua y de una vigésima parte de su peso de ácido nítrico y ácido sulfúrico; y con una pila de 24 pares ha llegado el sabio inglés á fundir alambres de platina de  $2\frac{1}{4}$  pulgadas de largo y 2 líneas próximamente de diámetro.

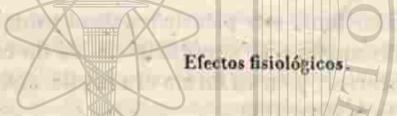
Pueden estudiarse los efectos caloríficos, como ha hecho M. Delariye, recibiendo la corriente en la lámina del termómetro de Breguet.

H. Davy, valiéndose de la pila del Real Instituto de Londres cuya superficie no baja de 400,000 pulgadas cuadradas ha obtenido extraordinarios efectos de luz y de calor. La luz partia de dos pedazos de carbon tallados en punta, y que comunicaban con los polos de la pila. Los cuerpos mas infusibles, como el cuarzo, la cal, la magnesia, etc., no pudieron resistir á tan poderoso manantial de calor; y como sus experimentos se verificaron lo mismo en el vacío y gas azoe que en el aire atmosférico, no puede de ningun

modo creerse que en tales circunstancias haya combustion.

M. Brande ha observado despues, que esta luz tan viva, determina, como la luz del sol, las acciones químicas, por ejemplo la combustion del cloro y del hidrógeno, la descomposicion del cloruro de plata, etc.

La temperatura es mayor en los puntos en que la corriente encuentra mas resistencia, que en el resto de la masa. Por esa razon en un alambre compuesto de partes heterogéneas, las partes que conducen peor son las que mas se calientan. Por esa razon se puede hacer hervir un líquido conductor, colocándole en varios compartimentos, y haciendo de vejiga los diafracmas.



Efectos fisiológicos.

215. Cuando una persona tiene entre sus manos ó toca con otra parte cualquiera de su cuerpo los dos extremos de una pila, experimenta una conmocion no interrumpida en la mano, en el brazo, etc., segun la energía del instrumento. La conmocion es continua porque se carga sin cesar por su propia virtud. Cuando el número de pares no es mayor de ciento y su superficie de unas 4 pulgadas, no hay el menor riesgo de esa conmocion, antes al contrario, se ve uno muchas veces precisado á mojarse las manos para que la comunicacion sea mas perfecta. Sin embargo, no sucede lo mismo cuando la superficie de las placas es mucho mas considerable, de un pie de lado, por ejemplo.

Se han hecho un sinnúmero de experimentos acerca de los efectos terapéuticos de la pila. Se ha ensayado la accion de ese instrumento contra los reumatismos y parálisis, pero los resultados no han sido muy satisfactorios.

Se ha observado que las corrientes eléctricas vuelven á la vida, algunas veces, á los animales asfixiados,

aunque se haya pasado una media hora. Reaniman las funciones digestivas suspendidas por las secciones de los nervios que van á parar al estómago, escitan movimientos peristálticos en ciertos vasos, etc. (M. W. Philip.).

M. L. Nobili (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 44, p. 60) acaba de hacer una porcion de esperimentos, en virtud de los cuales cree que las corrientes interrumpidas podrian producir buenos efectos en la parálisis y corrientes continuas en el tetano (Véanse las obras de fisiología).

Efectos químicos de la pila.

214. La invencion de la *pila voltáica* ha sido el manantial de los mas preciosos descubrimientos. Con el auxilio de ese ingenioso instrumento se ha podido descubrir la naturaleza de las tierras y de los óxidos. No hay sustancia alguna compuesta, cuyos elementos no puedan ser desunidos por la pila.

Indicaremos sucesivamente la descomposicion del agua, de los óxidos, de los ácidos y de las sales.

215. La primera aplicacion que de la pila se ha hecho á la química, es debida á los señores Carlisle y Nicholson, para descomponer el agua.

El aparatito que se emplea ordinariamente en los cursos es sumamente cómodo para ese esperimento (Fig. 472). Se compone de un embudo de vidrio, curado por la parte inferior con un tapon de corcho, que tiene dos agujeros para dejar pasar dos tubitos de vidrio. En estos penetran hasta cierta altura unos alambres de platina, y estos, los tubos y el tapon, todo está ajustado con lacre. La parte exterior de los alambres tiene la forma de un gancho. Para hacer el esperimento se llena el embudo de agua, y se recubre cada alambre con una campanita llena del mismo

liquido. Se ponen los alambres de platina en comunicacion con los polos de una pila y al momento empieza el desprendimiento de los gases; el oxígeno parte del hilo positivo y el hidrógeno del negativo; debe advertirse que para aumentar la facultad de conducir el agua es muy conveniente añadir unas cuantas gotas de ácido sulfúrico, y no deben reemplazarse los alambres de platina con otros de hierro ú otro cualquier metal oxidable, porque parte del oxígeno entraria entonces en combinacion.

De los experimentos de Gay-Lussac y Thenard resulta que el desprendimiento de gas es casi nulo cuando el agua del embudo ha sido hervida ó es pura, y que en general es el desprendimiento tanto mas abundante cuanto mas considerable es la cantidad de ácido ó de base que el liquido contiene. Si se toma la precaucion de elevar un poco la temperatura del liquido, puede aumentarse tambien el desprendimiento del gas.

216. La segunda aplicacion importante que se ha hecho de la pila, es debida á M. Chuiksbanks. Repitió el experimento de Carlisle y Nicholson, y mezclando el agua con acetato de plomo y sulfato de cobre, observó que el alambre negativo estaba cubierto de agujas metálicas. El oxígeno del óxido y el ácido que tenia el metal en disolucion se colocaban en el alambre positivo, y el agua de la disolucion se descomponia.

La corriente de la pila separa tambien los elementos de los ácidos y de los óxidos libres.

Cuando se descompone el ácido sulfúrico (V. la Fig. 475) por medio de la pila, el oxígeno se deposita en el alambre positivo y el azufre en el negativo.

Si se hace el experimento con un hidrácido, el hidrógeno se coloca en el polo negativo y el cuerpo acidificante en el positivo; así los ácidos hidro-iódico é hidro-clórico<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Debe decirse iodo-hídrico y cloro-hídrico, porque, segun las reglas

se descomponen al momento, si se somete sucesivamente el ácido sulfúrico concentrado y el ácido sulfo-hídrico á la accion de una pila; el azufre, en el primer caso, va al polo negativo y en el segundo al positivo; lo que hace ver que los cuerpos no siempre adquieren la misma electricidad.

217. La aplicacion mas preciosa y al mismo tiempo la mas fecunda en resultados, es la descomposicion de los álcalis por medio de la pila. Ese descubrimiento de que somos deudores á H. Davy es uno de los que mas poderosamente han contribuido á los adelantos de la química. Sometió á la accion de la pila los álcalis (potasa y sosa) y observó que el oxígeno se depositaba en el alambre positivo, y el metal se reunia en una sustancia metálica en el alambre negativo. Esos dos metales descomponen el aire y el agua á la temperatura ordinaria, y el potasio, metal de potasa, basta echarle en el agua para que arda con una luz muy intensa; el calor que produce determina la combustion del hidrógeno cuando interviene la presencia del aire. La grande afinidad de esos metales con el oxígeno impedia que se recogiera una gran porcion de cada vez. Debemos al doctor Seebeck un medio sumamente simple de resguardarlos del contacto del aire, reducido á unir el potasio ó el sodio con el mercurio, á medida que uno de los dos primeros se separaba de la combinacion. Se moldea para esto un poco de hidrato de potasa ó de sosa en forma de una copela ó vidrio de reloj. Se la llena de mercurio, y colocándola sobre una placa de metal, se establece comunicacion entre el apoyo de metal y el alambre positivo y se sumerge el negativo dentro del mercurio. Es necesario humedecer el hidrato para que conduzca mejor, y tener á su disposicion una pila bastante enérgica de nomenclatura química, se nombra siempre primero el cuerpo negativo en la combinacion. — N. del T.

para que el experimento salga bien. El oxígeno del hidrato y el del agua van al polo positivo, el hidrógeno al negativo, y el metal que va también al mismo polo se une con el mercurio. Si únicamente se desea hacer perceptible la descomposición, no hay más que echar, al cabo de 5 ó 6 minutos de descomposición, el mercurio unido ya con el otro metal, en una vasija que contenga agua, y al momento se observará que el hidrógeno de este último líquido se desprende. Si se desea por el contrario recojer el metal amalgamado, se continua por más tiempo el experimento; de tiempo en tiempo se vierte la amalgama en aceite de nafta y se renueva el mercurio. Cuando de ese modo se ha llegado á obtener una cantidad suficiente de amalgama, se la destila en una retortita de vidrio; el aceite y el mercurio se volatilizan y el potasio ó el sodio queda en la retorta. Parécenos que seria muy util hacer pasar una corriente de hidrógeno por la retorta, de cuyo modo se protegeria mucho mejor el metal contra la acción del aire.

Los señores Davy y Seebeck, han dado á conocer la composición de otros álcalis por medio de experimentos análogos.

A pesar de todo, y aun con las pilas mas poderosas, no se ha logrado separar sino cortísimas porciones de metal. Los señores Gay-Lussac y Thenard, despues del descubrimiento de Davy, han obtenido, por medio de las afinidades químicas, el potasio y el sodio en cantidades bastante considerables, para que se puedan emplear esos metales en los análisis químicos. (Véase *Química*, art. *Potasio*, tomo 2º).

Antes de que se conociera la descomposición de los álcalis, Berzelius é Hinger (*Annales de Chimie*, 3), habian empleado la pila para separar los elementos de los ácidos, de las sales y aun de los óxidos metálicos. Notaron esos químicos Suecos que el oxígeno y los ácidos se colocaban

en el polo positivo, y que el hidrógeno, los álcalis y los metales se depositaban en el negativo.

248. Es muy notable en esas descomposiciones el transporte de las sustancias sometidas á la acción de la pila. Si se llenan dos sifones (Fig. 474) uno de sulfato de potasa y otro de agua, y se los reúne con un pedazo de algodón mojado, al cabo de poco tiempo se advierte, que el sifon que comunicaba con el alambre positivo no contiene mas que ácido sulfúrico y que la potasa ha pasado completamente al alambre negativo.

Si se reemplaza el sulfato de potasa con nitrato de plata y en él se sumerje el alambre positivo, se descompone el óxido metálico y el algodón se cubre de una porción de globulillos de plata.

Todavía se puede hacer el experimento mas curioso. En vez de dos, pónganse tres sifones llenos, el del medio de sulfato de potasa, y de agua destilada los otros dos. Al cabo de poco tiempo quedará descompuesta toda la sal.

Los reactivos mas sensibles no sufren alteración aunque estén en contacto con sustancias sometidas á la corriente eléctrica; así el ácido sulfúrico atraviesa la tintura de tornasol sin enrojecerla; y atraviesa igualmente el amoniaco y la potasa sin combinarse con ellas.

H. Davy ha observado que el ácido sulfúrico detiene á la barita y reciprocamente. Pero por precisión el transporte hubiera sido completo con una pila bastante poderosa.

249. Los fenómenos químicos de la pila, están todavía envueltos en la oscuridad. A continuación espondremos varias de las esplicaciones que se han presentado.

4º Cuando se ponen en contacto los dos alambres de una pila, con un cuerpo capaz de descomponerse por la virtud de aquel instrumento, se cree que las moléculas de ese cuerpo adquieren diferentes estados de electricidad,

pues que las unas se colocan en el polo positivo y las otras en el negativo.

En el agua, por ejemplo, todas las moléculas de oxígeno sometidas á la influencia de la corriente, se electrizan negativa y las de hidrógeno positivamente (Fig. 475). La última molécula de oxígeno se desprende en estado de gas, y lo mismo le sucede á la de hidrógeno. Las moléculas intermedias se reúnen para formar agua <sup>1</sup>. El mismo efecto se repite mientras dura la corriente (Grothus, *Ann. de Chim.*, t. LVIII).

2º M. Biot supone que todo el líquido conductor colocado entre los dos polos de una pila se divide en dos porciones, cargada cada una de diferente electricidad, y que teniendo electricidades opuestas los elementos del agua tienden á unirse á la porción de este líquido que posee electricidad contraria á la suya.

Fúndase la esplicacion de M. Biot, en el hecho siguiente: cuando se reúnen los dos polos de una pila por medio de un sifon lleno de una disolucion salina, de sulfato de sosa, por ejemplo, teñido con jarabe de violeta, se observa que la porción del tubo en contacto con el polo + se enrojece, y que la que está en contacto con el polo - enverdece.

¿No es este efecto el resultado de la accion directa del álcali y del ácido colocados, uno en el polo - y otro en el polo +? Efectivamente; si se divide el sifon en tres porciones, por medio de dos vejigas dispuestas trasversalmente, no se altera el color de la parte media.

<sup>1</sup> ¿Como conciliar esa esplicacion con el experimento siguiente? Si se sumerge el alambre + en una sal, v. g. sulfato de zinc ó de cobre, y el alambre - en el agua, separando los líquidos con una vejiga, se observa que el óxido metálico se acumula en el polo -. Las descomposiciones y recomposiciones que admite M. Grothus son imposibles en el caso presente.

Los líquidos que están en contacto con los polos son los que únicamente se descomponen, porque si en el compartimento del medio se coloca sulfato de zinc é hidro-clorato de amoniaco en los de los extremos, se descompone solamente la sal amoniacal.

Segun esta esplicacion y segun tambien la de Grothus, el efecto de la pila deberia ser tanto mayor cuanto mas considerable fuera la fuerza repulsiva en los extremos de los alambres. Por esa razon, la descomposicion del agua pura deberia ser mas facil que la del mismo líquido, mezclado con ácido sulfúrico; dos alambres opuestos de dos pilas diferentes deberian tambien descomponer el agua cuando están sumergidos en ese líquido; pero como todo esto es contrario á la esperiencia, es necesario concluir que el tránsito de la corriente al través de las moléculas de un compuesto favorece la separacion de sus elementos. Es digno de notarse, sin embargo, que M. Faraday ha anunciado recientemente que con un polo solo se puede descomponer un líquido (en cuyo caso uno de los elementos desunidos pasa á colocarse en el otro polo).

5º Pregunta M. Delarrive, si no podria considerarse que las dos corrientes obran sobre las moléculas de los cuerpos; la corriente que parte del polo + arrastra el hidrógeno y las bases al través del conductor líquido y las cede al polo - al entrar en el conductor sólido. La corriente que parte del polo - obra del mismo modo y arrastra el oxígeno y los ácidos.

Quando por medio de un líquido se reúnen los dos polos de una pila, se establecen corrientes en ese líquido, como se demuestra por medio del galvanómetro. Si perpendicularmente á la direccion de la corriente se separa la columna líquida por medio de una lámina de platina, se desprende el gas por ambos costados de la lámina; cuando la corriente es enérgica se desprende la misma cantidad en los dos polos.

Si, con un alambre metálico, se reunen las dos partes del líquido, en cada una de las cuales se sumerja uno de los polos de una pila, hay entonces cuatro polos, y el desprendimiento se verifica en los extremos del alambre del mismo modo que en los polos.

4º M. Ampere ha propuesto otra esplicacion :

Para comprenderla, es necesario admitir desde luego que las partículas de los cuerpos están siempre en un estado permanente de electricidad, estado que es en unos *positivo* y *negativo* en otros.

Los álcalis y el hidrógeno están en el primer caso; los ácidos y el oxígeno en el segundo.

Si las partículas no manifiestan ningún signo de electricidad cuando están aisladas, es porque la que les es propia debe, en virtud de las leyes comunes de las acciones eléctricas, descomponer el fluido neutro que llena el espacio al rededor de ellas, repeler la electricidad del mismo nombre, atraer el fluido de naturaleza contraria, y formar así, con este último, una especie de atmósfera eléctrica al rededor de sus partículas, de tal modo que siendo su acción á distancia igual y contraria á la de la electricidad propia de esas partículas, se oponga esa acción á las descomposiciones ulteriores del fluido neutro que las rodea. Es decir que cada partícula está entonces en el mismo caso que una botella de Leiden cuyas paredes fueran muy delgadas.

Supóngase ahora que varias partículas de oxígeno están en contacto con otra porcion de hidrógeno, y que por una elevacion de temperatura ó de otro modo cualquiera se establezca la comunicacion entre la electricidad positiva libre que rodea las partículas de oxígeno, con la electricidad negativa libre que rodea las partículas de hidrógeno; en ese caso, las dos electricidades, reuniéndose, formarán fluido neutro, y las electricidades propias del hidrógeno y del oxígeno cesarán de ser disimuladas, y las partículas de

esos dos cuerpos se combinarán para formar el agua. Es evidente que cada partícula de agua se portará como si no poseyera ninguna electricidad, si las cantidades de fluido de las partículas de oxígeno y de hidrógeno estan en la razon conveniente para disimularse completamente, y que no tendrá el agua tendencia alguna para descomponer el fluido neutro que la rodea.

Cuando el cuerpo electro-negativo está en exceso, el compuesto es tambien electro-negativo, como sucede á los ácidos; sus partículas se hallan rodeadas de una atmósfera positiva; los álcalis, por la inversa, contienen un exceso de partículas electro-positivas y son electro-positivos, y las atmósferas de sus partículas son negativas. Los álcalis y los ácidos, combinándose, producen, ó sales neutras, ó electro-positivas, ó electro-negativas.

Bajo esa hipótesi se ve la razon del porqué en el momento de combinarse un ácido con un álcali, la corriente eléctrica, del alambre conductor, se manifiesta del ácido al álcali.

Las dos atmósferas eléctricas de naturaleza contraria se reunen, en parte, en el líquido, y en parte mediante el conductor, por el cual pueden pasar con mas facilidad.

Del mismo modo puede concebirse porqué las partículas de oxígeno, en las descomposiciones químicas, se colocan en el polo positivo, y las de hidrógeno y cuerpos electro-positivos se colocan en el extremo opuesto. Tambien se concibe porqué causa una corriente eléctrica, producida por el simple contacto de un ácido y un álcali es diferente de la que se manifiesta en su combinacion. Una parte de las atmósferas eléctricas se combina; cada cuerpo descompone el fluido neutro del alambre metálico que establece la comunicacion entre las partes que no estan en contacto y atrae hácia si la electricidad contraria á la suya. Tal es lo que se verifica, por ejemplo, cuando la potasa ó

la cal sólidas están en contacto con el ácido oxálico ó cítrico igualmente sólidos.

## Efectos mecánicos.

220. El alambre positivo de una pila posee una cierta fuerza de impulsión hácia el alambre negativo. M. Borret, joven, ha descubierto ese hecho (*Annales de Chimie et de Physique*, t. II, p. 137) del modo siguiente: Divide una vasija cualquiera en dos compartimentos mediante una pared permeable; v. g. una vejiga: llena el uno de agua y en el otro pone solamente unas cuantas gotas del mismo líquido. Sumerge el alambre positivo de una pila, en el primer compartimento y el negativo en el segundo; en menos de media hora los líquidos se ponen al mismo nivel, y en seguida el nivel de la parte que comunica con el alambre negativo se pone  $\frac{1}{2}$  de pulgada mas alto que la otra parte. Y como ese efecto se obtiene con una pila poco enérgica, hay motivos para sospechar que seria mas marcado con un aparato de la misma especie algo mas enérgico. M. Delarive ha observado que no se obtiene el efecto cuando el agua contiene algo de ácido.

M. Pouillet ha hecho el experimento inverso: llena de mercurio un sifon, hasta la altura de 5,5 pulgadas próximamente; en uno de los brazos vierte una disolución salina y sumerge el alambre negativo; en el otro brazo coloca el alambre positivo, y al cabo de poco tiempo la disolución salina se desliza entre el mercurio y el vidrio, y se coloca en la parte correspondiente al alambre positivo.

Desde el año de 1808 habia observado M. Erman que los globulillos de mercurio sometidos á la corriente

adquirían un movimiento de rotacion sumamente rápido

Dice M. Davy que si en una vasija bastante ancha se sumergen los dos alambres de una pila echando en ella algunos globulillos de mercurio y agua con  $\frac{1}{2000}$  de sulfato de potasa, se advierte que los primeros se agitan rápidamente alargándose hácia el alambre negativo.

Los pedacillos de aleacion de sodio y potasio, adquieren movimientos de rotacion cuando se los sumerge en una vasija de mercurio seco ó cubierto de agua. En tal caso, se forma una película que tiene la notable propiedad de ser atraída por un vástago de un metal cualquiera sumergido en el baño hasta que llegua á tocar el mercurio; y por el alambre positivo de una pila, al mismo tiempo que es rechazado por el alambre negativo (Serulas).

M. J. F. W. Herschel ha llevado mucho mas allá sus investigaciones sobre este asunto. He aquí los principales resultados que ha obtenido.

1.º Coloca unas cuantas gramas de mercurio en una vasija, de vidrio ó de porcelana y las cubre con una capa de ácido sulfúrico de un cuarto de pulgada, próximamente, de espesor. Si se sumerjen en el ácido los dos alambres, el mercurio experimenta al momento una violenta agitacion. Si los dos polos estan á los lados opuestos del mercurio, pero á una cierta distancia, el globulillo se alarga, y del alambre positivo al negativo parten una porcion de corrientes siguiendo la superficie del mercurio. Si los alambres con el mercurio forman un triángulo, el mercurio gira sobre sí mismo dirigiéndose hácia el alambre negativo, hasta que al fin adhieren uno á otro; si se pone uno de los alambres verticalmente sobre la superficie del mercurio, se advierten al momento las ondulaciones.

Efectos análogos, en cuanto á los que acabamos de indicar, aunque no con respecto á la intension, se observan con los otros ácidos y disoluciones salinas. Se-

gun parece, las disoluciones salinas paralizan los movimientos del mercurio.

En muchos líquidos, y especialmente en los nitratos se forman dos corrientes, la una del polo negativo la otra del positivo.

Cuando el mercurio es muy puro no produce ninguno de los fenómenos descritos, y en el líquido no se advierte mas agitacion que la que producen los gases resultantes de la descomposicion del agua; pero una cortisima porcion de sodio ó de potasio,  $\frac{1}{100000}$  por ejemplo, basta para darle una grande actividad. El zinc, plomo, hierro y estaño tienen la misma propiedad aunque en grado inferior *Annales de Chimie et de Physique*, t. 28, p. 280).

M. Dutrochet designa bajo el nombre de endosmosis un fenómeno particular descubierto por él y que probablemente tiene mucha analogía con el de M. Porret.

Y al aparato que le ha servido para sus experimentos le designa bajo el nombre de endosmosómetro. Compónese de una vasija de vidrio *mn* (Fig. 476) terminado por un depósito abocinado y cerrado con un vejiga. Si se llena el vaso *mn* y el recipiente *ned*, hasta cierta altura, de alcohol y se le suspende en una vasija llena de agua, se advierte que el líquido sube en el tubo *nm*, y si ese tubo no tiene mas de medio metro de longitud, el líquido á las 24 horas se vierte por la parte superior.

El experimento sale perfectamente con el agua pura y la de goma, el ácido acético, el ácido nítrico y sobre todo el ácido cloro-hídrico. La endosmosis no tiene lugar entre líquidos de la misma naturaleza; algunas membranas vegetales ó animales, placas de tierra cocida y de pizarra tienen la misma propiedad que la vejiga. Piensa M. Dutrochet que cuando dos líquidos estan en contacto con una

<sup>1</sup> *Exosmosis*, de *osmos* y *ex*, expulsión.

membrana hay produccion de una corriente eléctrica que traslada el líquido del polo positivo al polo negativo.

Algunos físicos han atribuido el efecto de esos experimentos á un fenómeno de viscosidad.

221. Dos alambres conductores se atraen ó se repelen, segun que las corrientes que los atraviesan van en el mismo sentido ó en sentido opuesto. La accion de un alambre conductor imanta un alambre de acero, etc. (Véanse los fenómenos electro-dinámicos).

222. Hace unos cuantos años (1824) que Davy ha hecho una preciosa aplicacion de la ciencia, para evitar la accion corrosiva que el agua del mar ejerce sobre el forro de cobre de los buques, accion que suele ser tan enérgica, que en los viajes de algunos meses es necesario hacer reparaciones de consideracion para poder continuar la marcha. El cobre, metal positivo, se combina con el cloro de los cloruros que contiene el agua del mar, y el oxigeno del aire se combina con los metales (sodio, magnesio) de los ya citados cloruros. El cobre se apodera del cloro porque es electro positivo; pero si se le combinase con un metal mas positivo, debería ser nula su accion sobre el agua del mar, pues que esta depende particularmente de su combinacion con el cloro, que es un cuerpo esencialmente negativo. Esa suposicion ha podido realizarla Davy aplicando sobre las hojas de cobre láminas de zinc, de hierro ó de hierro colado.

¿En qué razon deben estar la superficie del metal protector y la superficie del cobre? La esperiencia indica que puede variar de  $\frac{1}{10}$  á  $\frac{1}{150}$ . El último dato es preferible: el cobre se vuelve demasiado negativo por el contacto de una lámina de zinc ó de hierro de  $\frac{1}{10}$  de su superficie, y atrae los óxidos (magnesia, cal, etc.), cubriéndose de una costra blanca, de plantas, etc. Es evidente que el metal productor debe ser renovado de tiempo en tiempo. En Francia, Inglaterra, etc., se ha puesto en práctica esa pre-

cosa aplicacion<sup>1</sup>; pero se ha observado que suele ser tal la cantidad de cal, magnesia y conchas de que se carga el barco, que pierde parte de su velocidad. Con todo debe existir una relacion tal, que adquiriendo el cobre un estado positivo ó negativo, ni se destruya con facilidad ni se cargue de conchas, etc. Ed. Davy ha conservado algunos cables dentro del mar uniéndolos con un pedazo de zinc. El capitán Borne ha propuesto, hace ya mucho tiempo, conservar las balas de cañon y otros objetos por el mismo método.

Facultad de los cuerpos para conducir la electricidad galvánica.

225. Entre todos los cuerpos sólidos, los metales y el carbon son los únicos que conducen las corrientes galvánicas.

Davy ha dado dos leyes sobre la facultad de conducir los metales, á saber;

1<sup>o</sup> La facultad de dos alambres de igual diámetro y del mismo metal está en razon inversa de sus longitudes y en razon directa de las areas de sus secciones ó de los cuadrados de sus diámetros.

Asi dos alambres del mismo metal tendrán la misma facultad de conducir si entre sus pesos y sus longitudes se tiene la relacion

<sup>1</sup> M. Davy observa en su memoria (*Ann. de Chim. et de Phys.*, t. 29), que una disolucion concentrada de sal marina no ataca tanto al cobre como otra diluida; segun lo que precede, puede esplicarse tambien el hecho observado por M. Becquerel, que consiste en que dos láminas que, comunicando entre sí, se sumergan una, en una disolucion concentrada, y otra en otra disolucion diluida, ambas á dos de sal marina, se electrizan, la primera negativa, y la segunda positivamente.

$$\frac{P}{P'} = \left(\frac{l}{l'}\right)^2.$$

Esa ecuacion en efecto equivale á la relacion

$$\frac{\pi r^2 l d}{\pi r'^2 l' d} = \left(\frac{l}{l'}\right)^2, \text{ ó } \frac{\pi r^2}{\pi r'^2} = \frac{l}{l'}.$$

La facultad de conducir de un metal, crece por consiguiente en la misma proporcion que la masa y de ningun modo en la misma que la superficie; de donde se infiere que la electricidad en movimiento penetra los cuerpos.

M. Becquerel ha confirmado esas leyes por un método mas exacto que el que siguió el fisico inglés.

Ha observado que una aguja imantada, sometida á la accion de dos corrientes opuestas, que atraviesen dos alambres del mismo metal y de iguales diámetros y longitudes, permanece siempre estacionaria. Tampoco se desvia por la accion reunida de un alambre de cierta longitud y de otros dos alambres de doble longitud, cuya corriente sea inversa á la del primero. Pouillet, Ritchie y Peltier, á consecuencia de ciertos esperimentos, niegan la existencia de tales leyes.

De todos modos, al hacer las operaciones, es necesario cuidar de que los metales estén á la misma temperatura.

Hemos tomado la tabla siguiente de la memoria de M. Becquerel (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 52, p. 42.)

Facultad de conducir.		Facultad de conducir.	
Cobre.	400	Platina.	46,40
Oro.	95,60	Hierro.	43,80
Plata.	75,60	Plomo.	8,50
Zinc.	28,50	Mercurio.	5,55
Estaño.	15,50	Potasio.	4,55

Los resultados de H. Davy y los de M. Bouillet no están de acorde con los números que acabamos de presentar.

El orden de los metales, con respecto á la facultad de conducir la electricidad, es diferente del que dimos al tratar del calor.

Pouillet ha observado que la presencia de una cortísima cantidad de una materia estraña tiene gran influencia en dicha facultad. Asi la del oro á 750 es 409, y la del oro fino 625.

El calor aumenta ó disminuye la facultad de conducir segun las circunstancias (Faraday).

Facultad de conducir de los líquidos.

224. Las disoluciones ácidas ó alcalinas son los mejores conductores líquidos.

El agua pura es mal conductor, los líquidos no metálicos, el bromo, el ácido sulfuroso, no transmiten la corriente de una pila aunque sea enérgica: cuando están mezclados con el agua se hacen buenos conductores.

El ácido sulfúrico concentrado, que es conductor im-

perfecto, se vuelve buen conductor cuando está mezclado con el agua.

Hay ciertos cuerpos, segun Faraday, que interceptan la electricidad cuando están sólidos, y la transmiten, cuando están fluidos; y entonces se descomponen á menos que la intension eléctrica sea muy debil. En ese caso, hay transmision sin descomposicion, aun por medio del agua, el sulfato de sosa, cloruro de plomo fundido, etc.

De las sustancias que tienen, con respecto á la electricidad galvánica, una facultad de conducir particular.

225. M. Erman, de la Academia de Berlin, ha hecho, sobre la facultad de conducir de ciertas sustancias, experimentos cuyos resultados son sumamente curiosos.

Si se pone en contacto con uno de los extremos de una pila aislada, un electroscopio muy sensible, de modo que las hojas de oro del instrumento tengan la separacion correspondiente á la tension de la pila, y se unen entre sí el otro extremo y el receptáculo comun por medio de un alambre metálico en dos partes que se reunen por medio de una lámpara de alcohol, se advierte que el electroscopio en un momento adquiere un grado mucho mayor de divergencia, lo cual prueba que hay comunicacion con el suelo.

Si á los extremos de una pila aislada se atan dos alambres metálicos, aproximándolos hasta que entren en la llama de una lámpara de alcohol, se obtiene la misma tension en las dos estremidades como se observa con electroscopios colocados en esos puntos. Mientras dura el aislamiento de la pila, los electroscopios divergen como si no existieran los alambres. Pero si se mete en la llama un alambre metálico que comunique con el suelo, se descarga el extremo positivo, y al mismo tiempo se aumenta la

divergencia del electroscopio colocado en el extremo negativo.

De aquí resulta que cuando la llama de alcohol no comunica mas que con un solo extremo, ya sea negativo ó ya positivo, y con el suelo, puede conducir la electricidad. Si además de estar aislada, comunica á la vez con los dos extremos, obra como un cuerpo no conductor. En fin, si comunica con el suelo, al mismo tiempo que reúne los dos extremos, hace las veces de cuerpo aislante con respecto al fluido negativo, y la de cuerpo conductor con respecto al positivo.

Un prisma de jabon bien desecado, produce efectos análogos, con la diferencia de que descarga el extremo negativo.

M. Erman ha reconocido propiedades análogas en la llama del fósforo, gelatina desecada, marfil, etc.

226. Parece muy importante conocer el estado recíproco de los cuerpos cuando estan en contacto. Los experimentos no son todavía suficientes en número para poder presentar una tabla completa; sin embargo daremos los resultados que encontramos en la obra de M. Bernzelius.

En la tabla adjunta, cada cuerpo es positivo con relación á los que los preceden y negativo con respecto á los que le siguen.

Oro.	Hierro.
Iridio.	Mercurio.
Rodio.	Plata.
Platina.	Cobre.
Paladio.	Niquel.
Cobalto.	Cadmio.
Bismuto.	Zinc.
Estaño.	Manganeso.
Plomo.	

Esta tabla ha sido deducida de ciertas consideraciones químicas; sin embargo, nada en ello es absoluto, pues que el estado eléctrico cambia según la naturaleza del agente escitador.

Fenómenos termo-electro-dinámicos.

227. M. Leebeck, profesor y miembro de la Academia de Berlin, descubrió en 1822, que puede establecerse una corriente eléctrica en los metales, sin interponer ningun líquido. El experimento es sencillísimo. Suéldense dos arcos de dos metales diferentes, por ejemplo de cobre y de bismuto, de manera que formen un arco cerrado. La forma circular no es absolutamente indispensable, sino que basta que los dos metales compongan un circuito en conjunto, es decir, un anillo de forma cualquiera. Para establecer la corriente, no hay mas que calcular el anillo en una de sus soldaduras, y en la parte que no ha sido calentada la electricidad positiva se dirigirá del cobre al bismuto. (Fig. 177).

La existencia de esa corriente se prueba con una aguja imantada. (*Ann. de Ch. et de Phys.* t. XXII, pág. 499).

Tambien ha encontrado el mismo autor corrientes en un circuito de un mismo metal, aunque es indispensable que sea de los metales de testura cristalina; de manera que las diversas partes de un cristal hacen el mismo oficio que los metales de diferente naturaleza. Una corta diferencia, como la del temple para el acero, ó la cohesión, basta tambien para establecer un circuito termo-eléctrico. M. Becquerel ha llegado á escitar corrientes en todos los metales, aun en la platina, la plata, etc. M. Jelin dice que una barra de zinc, calentada por uno de sus extremos, puede desviar la aguja imantada.

De los experimentos de Fourier y Oersted (en el mismo

tomo, pág. 575) resulta que pueden aumentarse los efectos termo-eléctricos por la repetición alternativa de las barras de diferentes materias. Si se calientan una soldadura sí y otra no, y se enfrian las restantes, aumenta también el efecto.

De aquí se infiere que para formar circuitos complejos que puedan producir grandes efectos en la aguja imantada, es necesario servirse de elementos muy cortos. Por último, el efecto de un circuito complejo es mucho menor que la suma de los efectos aislados que pueden producir los mismos elementos empleados para formar los circuitos simples.

La potencia del aparato termo-eléctrico aumenta en la misma proporción que el número de elementos, y disminuye aunque en menor proporción con la longitud de los mismos.

228. Se puede, sin debilitar los efectos, interrumpir el circuito y reunir las barras con un alambre de diferente naturaleza, v. g. de cobre, aunque no sería lo mismo servirse de uno de platina: en fin, cuando el cuerpo que se interpone es una tira de papel empapado en una disolución de sosa, no se nota fenómeno alguno, digno de atención.

La corriente termo-eléctrica, según los experimentos de Becquerel y Botto, descompone los cuerpos del mismo modo que una pila de Volta no muy enérgica.

229. Cuming, en virtud de varios experimentos hechos al intento, ha entablado la tabla adjunta, en la que cada cuerpo es positivo con respecto á los que le siguen y negativo con relación á los que le preceden.

Bismuto.	Rodio.
Mercurio.	Laton.
Niquel.	Cobre.
Platino.	Oro.
Paladio.	Zinc.
Cabalto.	Carbon.
Manganeso.	Grafito.
Plata.	Hierro.
Estaño.	Arsénico.
Plomo.	Antimonio.

Sturgeon ha observado que la presencia de un metal extraño, modifica singularmente la energía de otro metal; así, el bismuto y el antimonio pierden casi toda su potencia termo-eléctrica cuando se combinan con un poco de plomo ó de estaño.

Se han hecho ya una porción de aplicaciones importantes del descubrimiento de Seebeck.

250. Cuando se calienta una de las soldaduras de un circuito, formado con un alambre de cobre y otro de hierro, la energía eléctrica entre 0 y 440° aumenta proporcionalmente á la elevación de temperatura. Desde 440° en adelante es mucho menor el efecto de temperatura y á 500° es casi insensible. Luego después es ya nulo el efecto, y concluye por cambiar de signo. (Becquerel, *Annales de Chimie et de Physique*, t. 55, pág. 425.)

M. Peltier sumerge una de las soldaduras, de un aparato semejante, en un parage profundo, v. g. un pozo, y el otro extremo le coloca en un cubo de agua, y de este modo determina la temperatura del primer sitio, pues no hay más que añadir agua al cubo, hasta que el alambre no ejerza acción alguna sobre el galvanómetro, en cuyo caso los dos extremos estarán á la misma temperatura, y conocida la exterior se sabrá también la del pozo. Becquerel y Bres-

chet (*Anales de Physique*, t. LIX) se han servido de una aguja doble, es decir, compuesta de otras dos sumamente finas, para medir la temperatura de los órganos del hombre y otros animales, introduciendo dicha aguja en el órgano cuya temperatura se desea conocer. Debe advertirse que el extremo exterior de cada aguja comunica con una de las estremidades de un alambre del multiplicador, instrumento que debe haber sido graduado con un buen termómetro de mercurio.

Al Nobili, (*Biblioth. univ. de Genève*, t. XLIV, pág. 253), ha inventado un aparato, que designa con el nombre de *termo-multiplicador*, compuesto de una caja cilíndrica que contiene una pila termo-eléctrica formada de bismuto y antimonio. En los extremos de la pila hay un apéndice de cobre que sirve para establecer la comunicación con el alambre del galvanómetro.

Las pinturas impares, 1, 5, 5, etc., están libres y las pinturas pares, 2, 4, 6, etc., cubiertas de betún; de manera que si se coloca el aparato debajo de una campana y con la máquina neumática se enrarece el aire, solamente las primeras estarán en contacto del aire frío, y el instrumento marchará con mas rapidez que el termómetro de Breguet. M. Nobili ennegreció las soldaduras libres para hacerlas mas á propósito por absorción del calor radiante, de cuyo modo ha podido cerciorarse de que las paredes de una habitación no tienen todas la misma temperatura, y se advierte aun mejor si al lado de las soldaduras libres se pone un reflector cónico.

M. Melloni ha introducido algunas mejoras en el instrumento, sobre todo con el objeto de hacer su marcha comparable, y su importancia es mucho mayor desde que ha caído en manos de tan habil físico, que la ha empleado en investigaciones sumamente ingeniosas sobre el calor radiante, de cuyos resultados hemos dado cuenta en el lugar oportuno.

*Gaduacion.* Una lámpara colocada en abertura de las soldaduras pares produce un cierto efecto, por ejemplo un desvío de 50° á la derecha; se cubren esas soldaduras y el galvanómetro vuelve de nuevo á 0. Aplicase otra lámpara á las soldaduras impares y el efecto es v. g. 49° á la izquierda; la diferencia es por consiguiente 1°. Se dejan en seguida enteramente libres los dos lados de la pila, para que las lámparas puedan ejercer su acción á la vez; el galvanómetro avanza 7° hácia la derecha. Es decir que 1° desde 49 á 50 vale 7° de 0 á 7. Aproximando ó separando las lámparas, se podrá formar una tabla que contendrá los valores de los diferentes grados de la escala del instrumento. Los diez primeros pueden considerarse como iguales. (*Annales de Chimie et de Physique*, año 1854.)

#### Fenómenos termo-electro-estáticos.

251. Algunos minerales adquieren la virtud eléctrica á espensas del calor. La distribución de la electricidad, en un mineral electrizado de ese modo, tiene alguna semejanza con la distribución del magnetismo en los imanes. Indicaremos la turmalina, por ser la sustancia mas á propósito para probar el desarrollo de la electricidad por medio del calor.

Si se coje con unas pinzas un prisma de turmalina y se le espona al calor de una bujía, se descompone su electricidad natural, de tal modo que la positiva se coloca en un extremo del eje y en el otro la negativa. El efecto no aumenta en la misma proporción que la temperatura.

252. Si una turmalina, despues de haber adquirido los

\* No deben confundirse estos fenómenos con los que acabamos de indicar.

polos se la deja enfriar, los pierde, y durante el enfriamiento adquiere un estado opuesto, es decir, el lado negativo se vuelve positivo y recíprocamente (Bergmann, Canton).

Es muy importante observar que no basta calentar una turmalina para que conserve su estado eléctrico, sino que es necesario variar la temperatura.

Así que, una piedra de ese género, calentada durante media hora á la temperatura del agua hirviendo, no se electriza (Canton, Priestley).

M. Becquerel ha observado que, si se pone una pila en comunicacion con los extremos de otra pila seca y se deja estacionaria la temperatura por algunos instantes, desaparece en el momento la polaridad eléctrica.

Pero en todos los casos, el mineral recobra su estado natural cuando adquiere de nuevo la temperatura primitiva.

Para reconocer los dos polos de una turmalina no hay mas que presentarle un pendulito sin electrizar, en cuyo caso es atraído por los dos extremos. El centro del mineral queda en estado natural, y por consiguiente no ejerce ninguna accion sobre el péndulo. Si de antemano se toma la precaucion de electrizar el péndulo, será atraído por uno y repelido por el otro extremo.

Los polos de nombre contrario de dos turmalinas electrizadas se atraen mutuamente, y los del mismo nombre se repelen.

El aparato que sirve para ese experimento se compone de un apoyo de cobre terminado por una punta de acero muy aguda y de una lámina del mismo metal de la forma que representa la Fig. 478. En el centro de la lámina hay una cavidad circular que sirve para colocar una chapa de agata. Una de las dos turmalinas se coloca sobre esa lámina; á cada uno de sus polos se presentan alternativamente los polos de otra turmalina, que se agarra con unas pin-

zas, de cuyo modo puede verificarse el enunciado de la proposicion.

Estos experimentos salen perfectamente, aun cuando el tiempo esté húmedo.

253. Si se rompe una turmalina electrizada, por pequeña que sea, tiene dos polos eléctricos del mismo modo que la turmalina entera (Canton). Este resultado es análogo al que presentan los imanes. (Véanse estos últimos.)

Quando se calienta una turmalina por uno de sus extremos, no posee mas que una sola especie de electricidad en toda su longitud; este hecho, anunciado por los físicos antiguos, ha sido comprobado por M. Becquerel.

A medida que la otra parte se calienta, adquiere una electricidad opuesta á la que se manifiesta en la parte calentada directamente. (*Anales de Química y de Física*, t. XXXVII, p. 45.)

Nos hemos referido siempre á la turmalina, porque esta sustancia ha sido objeto de numerosos ensayos, y porque se presta á los experimentos mucho mejor que las otras sustancias piro-eléctricas<sup>1</sup>.

254. Se habia creído que los cristales que tienen la propiedad de electrizarse por el calor, se apartaban de la ley de simetría que presentan ordinariamente las sustancias cristalizadas, y que las partes en que residen las dos especies de electricidad, aunque situadas semejantemente en las dos estremidades del cristal, difieren por su configuracion.

<sup>1</sup> M. Becquerel (tomo citado, p. 556), ha observado que, cuando se calienta ó enfria repentinamente una turmalina, se obtiene mayor efecto que cuando el enfriamiento ó calefaccion son lentos, y que las turmalinas varían mucho con relacion á la mayor ó menor facilidad con que se electrizan. El mismo físico refiere un hecho muy curioso observado por M. Ajasson, á saber, que una turmalina que no manifiesta ningun signo de electricidad, aunque cambie de temperatura, adquiere los dos polos cuando se la rompe en dos pedazos.

Pero experimentos recientes demuestran que las sustancias cuya cristalización es regular se electrizan por medio del calor; y por consiguiente no existe ninguna correlación entre la forma y la virtud piro-eléctrica; tal vez llegue á descubrirse en lo sucesivo que todos los cuerpos son piro-eléctricos.

Lemery (Academia de ciencias, 1717) es el primero que ha hecho mención del desarrollo de la electricidad por el calor. Canton, Wilson, Priestley, Bergman, *Edinus* y Hauy han observado despues el mismo fenómeno en diferentes minerales. M. Brewster ha aumentado la lista de los minerales eléctricos por el calor; tambien lo ha observado en gran número de productos artificiales, y que varias sustancias simples gozan de la misma propiedad. (*An. de Química y Física*, t. XXVIII.)

Las principales sustancias eléctricas por medio del calor, son :

La turmalina.	El azufre nativo.
El topazio.	El ácido tártrico.
El espato calizo.	El tartrato de potasa y de sosa.
El sulfato de barita.	El carbonato de potasa.
El diamante.	El sulfato de hierro.
El oropimente.	El azucar.
El cuarzo del Delfinado.	El ácido cítrico.

De la electricidad desarrollada en los fenómenos químicos.

256. Atribúyense los primeros experimentos acerca del

Hace mucho tiempo que en las Indias Orientales, y sobre todo en la isla de Ceylan, se conoce la propiedad que tiene la turmalina de atraer las cenizas cuando se les echa en el fuego. (*Hist. de l'Électricité*, t. II, p. 459). Sin embargo, hasta el año de 1717, este asunto no ha llamado la atención de los sabios.

desarrollo de la electricidad en los fenómenos químicos á Lavoisier y Laplace. Observaron esos ilustres sabios, y con ellos Volta, que cuando el hierro ó el zinc se disuelven en el ácido sulfúrico y el carbon arde, se desprende electricidad para cargar un condensador y para que este á su vez produzca chispa. (*Journ. de Phys.*, año 1785.)

H. Davy ha hecho, en 1807, numerosos experimentos sobre la electricidad desarrollada en el contacto de dos cuerpos y en las acciones químicas, de los cuales resulta que ciertas combinaciones y sobre todo en aquellas en que hay gran desprendimiento de calor, se desarrolla la electricidad.

256. El descubrimiento del multiplicador de Schweigger, instrumento con el cual pueden apreciarse las porciones mas cortas de electricidad, y que daremos á conocer en lo sucesivo, ha prestado á Avogrado, OErstedt, Becquerel, etc., un gran auxilio para experimentos que de otro modo no hubieran podido concluir.

M. Avogrado ha observado, en Italia, que se puede establecer una corriente eléctrica en un solo metal con la acción sola de un ácido; para lo cual es preciso tener cuidado de no sumergir al mismo tiempo las dos estremidades del metal. El experimento sale perfectamente con el hierro ó el zinc, y el ácido sulfúrico ó cloro-hídrico diluido en agua (año 1821).

Becquerel, en Francia, y Nobili, en Italia, han estudiado cuidadosamente una porción de combinaciones químicas, en el momento mismo de su formación y en el dia está bien probado que hay desarrollo de electricidad cuando un ácido se combina con un álcali.

Para hacer con comodidad esos experimentos, se toma un multiplicador cuyo alambre sea de platina, y en uno de los extremos se coloca una cucharita tambien de platina en la que se echa el ácido; en el otro extremo hay

unas pinzas del mismo metal para agarrar el cuerpo que debe combinarse con el ácido.

Si se hace la prueba con un ácido y un álcali, se establece en el alambre del multiplicador una corriente en la que la electricidad positiva pasa del ácido al álcali. Si se reemplaza este último con un metal, la corriente parte siempre del ácido. (Becquerel. *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXV, p. 415; y tomos XXIII, XXIV, XXV, XXVI y XXVII, XXVIII.)

M. Pouillet acaba de desvanecer las dudas que quedaban acerca del desarrollo de la electricidad en la combustion del carbono, del gas hidrógeno, de las grasas, aceites, etc. En estos esperimentos, el oxígeno se carga de electricidad positiva, y el cuerpo combustible de electricidad negativa. Añade, que la descomposicion del ácido carbónico, efectuada por las partes verdes de los vegetales, va siempre acompañada de un desprendimiento de electricidad. Ese hecho nos parece una consecuencia de todo cuanto hasta el dia ha podido probarse, pero es difícil comprobarlo á causa de la corta intensidad del fenómeno.

Dos placas de metales diferentes, sumergidas en un ácido, dan una chispa al tiempo de aproximarlas. (Faraday, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XXXV.)

257. M. Becquerel ha formado un gran número de compuestos que no hubieran podido producir ni la electricidad química por sí sola ni una electricidad enérgica, haciendo obrar electricidades muy débiles sobre mezclas convenientemente elegidas. De ese modo ha querido poner en contacto las moléculas una á una, y en ese caso los compuestos, aun aquellos que son insolubles, pueden tomar en esa formacion lenta las formas cristalinas con que se presentan en la naturaleza.

Becquerel ha empleado particularmente dos metodos:

*Primero.* Para obtener cristales de protoxido de cobre,

por ejemplo, se toma un tubo de vidrio cerrado por uno de sus extremos, y en su fundo se mete el protoxido de cobre, se llena el tubo de una disolucion de nitrato del mismo metal, y en seguida se mete una lámina de cobre que toque al protoxido y se cierra el tubo herméticamente. Al cabo de unos diez dias se advierte sobre la lámina de cobre unos cristalitos cúbicos octaédricos de un brillo metálico bastante intenso. He aquí como esplica M. Becquerel ese fenómeno: el nitrato á causa de la accion que sobre él ejerce el deutoxido se convierte en sub-nitrato; pero no pudiendo desalojar la parte superior de la corriente sino con mucha dificultad, resulta que la lámina de cobre queda sumergida á la vez en dos disoluciones de nitrato á diferentes grados de concentracion, circunstancia que por sí sola basta para determinar una corriente, pues que obrando mutuamente esas dos disoluciones, la una sobre la otra, producen un desprendimiento de electricidad, tal que la mas concentrada toma la electricidad positiva. La porcion de la lámina que no está en contacto con el deutoxido, es el polo negativo, y atrae, ó el cobre, ó sus oxidos, segun la energía de la corriente; no hay pues obstáculo alguno para que el protoxido se deposite, y como las acciones son sumamente lentas, las moléculas tienen tiempo de tomar las posiciones correspondientes á las leyes de la cristalización. Al fin del esperimento no queda en la disolucion mas que nitrato de amoniaco, lo que prueba que ha habido descomposicion de agua y de ácido nítrico.

*Segundo método.* M. Becquerel emplea varios aparatos: he aquí el que considera como mas general, aunque él se sirve ordinariamente de otros mas simples.

Tres bocales de vidrio AA'A'' (Fig. 479) colocados en hilera á corta distancia unos de otros, forman la parte principal del aparato que acabamos de anunciar: el primero está lleno de una disolucion de sulfato ó de nitrato de cobre; el segundo de una disolucion de la sustancia

con que se quiere operar; y el tercero de agua con un poco de sal para que conduzca con mas facilidad la electricidad. A comunica con A' por medio de un tubo curvo *abc* lleno de arcilla humedecida con una disolucion salina, cuya naturaleza depende del efecto que se quiere producir en A'; A' y A'' comunican entre sí por medio de una lámina de platina ó de oro *a'b'c'*; A y A'' estan reunidos por medio del par voltaico *cMz* compuesto de una lámina de cobre y otra de zinc. En fin, los tubos de seguridad *tt* y *tt'*, colocados en los bocales, sirven para indicar las presiones interiores. El extremo *c'* de la lámina de platina es el polo positivo de una pila, cuya accion es lenta pero continua; la intensidad de la corriente basta para descomponer el sulfato de cobre; el oxígeno va hácia *c'* y lo mismo el ácido sulfúrico, que pasando al tubo *abc* desaloja á los ácidos que tienen menos afinidad que él con las bases; todos los elementos desalojados pasan con el oxígeno al bocal A', en donde sus reacciones lentas producen varias alteraciones.

Con un aparato semejante al que acabamos de indicar ha obtenido M. Becquerel cristalizaciones de cloruros y yoduros dobles, sulfuros metálicos, sulfatos terrosos, carbonatos, etc.

Experimentos de este género, son muy necesarios para aclarar el modo ó manera con que han sido producidos los cristales de materias insolubles que con tanta abundancia encontramos en la superficie de la tierra (Véase *Annales de Chimie et de Physique*, t. 44 y 45.)

Tambien ha probado M. Becquerel que durante la ascension de un liquido en un cuerpo poroso, hay desarrollo de electricidad.

258. De todo lo que antecede, resulta que la electricidad debe descomponerse y recomponerse sin cesar en la superficie y en el interior del globo, por el contacto, la presion, el rosamiento, etc., de las sustancias heterogé-

neas, por las variaciones de temperatura, por los fenómenos químicos y en general por los cambios de posicion de las moléculas de los cuerpos.

259. Leop. Nobili (*Annales de Chimie et de Physique*, t. 57, p. 280) ha llegado por medio de la corriente voltaica á fijar dibujos con colores muy vivos sobre las placas metálicas. El procedimiento de ese físico se reduce á colocar cada placa en una vasija llena de una disolucion salina, un ácido orgánico ó inorgánico, un ácido vegetal ó animal, á poner la placa en comunicacion con uno de los polos de la pila, y á poner perpendicularmente el extremo del alambre que comunica con el otro polo, á media linea de distancia del centro de la placa; el último alambre se termina en una punta de platina; el efecto se produce muchas veces en algunos segundos, aun cuando la pila no tenga mas que 12 elementos de á 1 pulgada cuadrada. Citaremos un experimento. La disolucion es una mezcla de nitrato de potasa y acetato de cobre; la placa es de plata; el centro de la placa conserva su brillo metálico; al rededor de ese punto se observa una serie de círculos concéntricos en el orden siguiente; dos de verde no muy intenso, uno blanco, otro rojo, uno verde y una zona de cobre de un hermoso rojo de fuego. Esta zona está rodeada de un círculo azul interrumpido por varias líneas en direccion de los radios, que dándole el aspecto de un círculo dividido llegan hasta la zona de cobre; mas allá aparece una segunda zona de cobre mas ancha que la primera, y con corta diferencia del mismo brillo, rodeada de un círculo verde que termina la figura. En el oro y en la platina tienen las mismas apariencias. Para el éxito del experimento, es muy conveniente que las láminas no estén muy pulimentadas.

M. Bouyol de Génova ha obtenido efectos análogos, unas veces con la pila y otras con la electricidad ordinaria <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Indicaremos solamente un nuevo descubrimiento que nos parece de

« El señor Elkington ha descubierto últimamente un nuevo método para dorar, platear, etc., los otros metales y recíprocamente, cubrir el oro, platina, plata, etc., con cobre, hierro, etc., es decir, revestir unos metales con otros, por medio de la pila. El método es sencillísimo; pues se reduce á disolver el metal que ha de servir para el revestimiento en los cianuros alcalinos, á sumergir en la vasija que contiene la disolución los dos polos de una pila enérgica, suspendiendo de la otra el molde ó figura que se quiere revestir. En pocos instantes queda perfectamente cubierto el objeto, y se puede aumentar ó disminuir el tiempo de la inmersión según el espesor que deba tener la capa de revestimiento. Con esas disoluciones (cianuros dobles de potasio y de oro, por ejemplo), no solo se recubren los otros metales sino objetos de diferentes sustancias. Pero como la descripción detallada de esos procedimientos no es objeto especial de un curso elemental de física, me limitaré por ahora á indicar la construcción de una pila muy conveniente para las operaciones de las artes\*.

« Con las pilas que ha descrito el autor pueden obtenerse sin la menor duda grandes efectos; pero no es esta la condición que en las artes se requiere, sino que es indispensable, además de la energía, que la corriente sea constante; así estos aparatos se llaman pilas de *corriente constante*. Se conocen varios aparatos de ese género, y entre otros es uno de los más perfectos el de M. Daniell.

« La condición *sine qua non* de las pilas á corriente constante es la separación de las dos láminas, que forman el par, por medio de una membrana y la diferencia entre

\* suma importancia antes de concluir este segundo tomo. — N. del T.

\* En el tomo III de la tercera serie de los *Anales de Física y Química* (1841), p. 456, describe M. Becquerel una porción de aparatos del mismo género.

los líquidos en que se sumergen esas láminas. En general, todas las disposiciones son buenas, si se tiene tino en elegir para cada serie de experimentos la que sea más á propósito, según la intensidad de la corriente, la cantidad de electricidad necesaria, y el tiempo que debe durar la corriente.

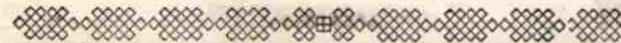
« En el Museo de historia natural de París hay una pila que además de ser muy enérgica funciona durante seis ó siete días (Fig. 480 y 481). Cada elemento se compone de una caja de cobre AB (Fig. 480), de 55 centímetros de anchura, 40 de altura y 5 de espesor. Los cajoncitos *ab*, *ab*, comunican con AB por medio de aberturitas practicadas en las paredes de este último, y en ellos se meten pedacitos de sulfato de cobre que saturan continuamente la disolución de sulfato de cobre de AB á medida que la corriente eléctrica la descompone. El metal positivo es una placa de zinc amalgamado MN (Fig. 481) algo menor que la caja AB para que con toda libertad pueda entrar y salir en la caja; el zinc se sumerge en un saco de lona lo cual sirve para separar el zinc del cobre. El líquido correspondiente al zinc es una disolución de sal marina.

Con doce pares formados de este modo y reunidos en pila por medio de bastidores se obtienen efectos de descomposiciones químicas y de incandescencia, sumamente enérgicas. Páreceme que para el arte del dorado de los metales, por medio de la electricidad, como no hay necesidad de una gran fuerza voltáica, sería conveniente construir una pila de algunos elementos, de pares semejantes á los anteriores, aunque de menores dimensiones; v. g. un decímetro de altura y otro de ancho me parecen suficientes. ®



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## APENDICE.

### Teoría química de la pila.

Antes de esponer la teoría química de la pila de M. Delarive, vamos á examinar qué modificaciones experimenta la electricidad voltáica cuando atravesia conductores líquidos en que se sumerjen varias láminas metálicas. La intension de la corriente producida por una accion química no depende solo de la energía de esa accion, porque los fluidos eléctricos que se separan en el momento de la combinacion se neutralizan de nuevo completamente, y en el mismo instante en que se verifica la primera, por manera que en el *multiplicador* solo se recoje la corta porcion que escapó á la recomposicion indicada. Esto así, la facultad de conducir de las sustancias que forman la pila, debe tener grande influencia en la intension de la corriente que por ellas circula. Estudiando Delarive la diferencia de intension de las corrientes, ha descubierto una porcion de hechos sumamente curiosos. Tomaba una vasija llena de sal marina ó de cloro-hidrato de amoniaco disuelto en agua y la ponía despues en comunicacion con una pila voltáica. Metía en seguida una placa de platina por la cual tenia necesariamente que pasar la corriente vol-

táica, y observando los efectos con el *galvanómetro ó multiplicador*, advirtió que la intension de la corriente disminuía, á pesar de ser la platina *mejor* conductor que el líquido; si despues de esta se coloca otra lámina disminuye aun mas la corriente, de donde inferimos que la electricidad, no solo encuentra dificultad, sino que pierde de su energía, lo mismo que el calor y la luz, cuando pasa de un conductor á otro. La analogía es todavía mas patente cuando se observa que la pérdida, medida con el galvanómetro, es menor en la segunda que en la primera y mas pequeña en la tercera que en las restantes; en una palabra, la electricidad de las corrientes, salvado el primer obstáculo, vence con facilidad las demas resistencias que se oponen á su movimiento. M. Delarive ha anunciado últimamente (*Compte rendu de la séance de l'Académie des sciences*, mayo 1841) que aunque los efectos de los diafragmas metálicos colocados en el líquido son de consideracion cuando la corriente es continua, son mucho menores ó casi nulos cuando esta se dirige alternativamente en diferentes sentidos. Repitió el experimento con diafragmas de muchas especies, empleando una pila de bastante energía, condicion necesaria para obtener buenos resultados, y observó que la propiedad que tienen los diafragmas de disminuir la intension de la corriente es efecto de las alteraciones químicas que experimentan sus superficies; pero cuando las corrientes no son continuas, las superficies experimentan dos acciones químicas que se destruyen, y entonces no hay nada que se oponga á la circulacion de la corriente. Por medio de las corrientes intermitentes de que se ha hablado, se puede anular casi completamente la pérdida de intension que experimenta la electricidad dinámica, ó en movimiento, al pasar de un conductor sólido á otro líquido y recíprocamente, y tambien de ese modo se demuestra, contra la opinion generalmente admitida, que los líquidos, en muchos casos,

conducen mejor la electricidad que los metales. Así Delarive ha observado que el ácido sulfúrico diluido en nueve veces su peso de agua, no era tan buen conductor como un alambre de platina con corriente continua, y era, por la inversa, mucho mejor cuando la corriente era intermitente. *yo se porque*

Pasamos á esponer la nueva teoría de la pila, que lo mismo que la de Volta, se funda en un hecho y en un principio. Consiste el hecho en el desarrollo de la electricidad de toda accion química, y el principio depende de que las tensiones de un fluido libre son diferentes en los dos costados de la placa, ú obstáculo en general, pues que antes del tránsito es mayor que despues de haber salvado la resistencia.

Consideremos primero una placa de zinc sumergida en agua acidulada, en cuyo caso el metal toma la electricidad negativa y el líquido la positiva; los dos fluidos se combinan inmediatamente; así que, un electroscopio en contacto con la placa de zinc ó con el líquido, apenas da señales de electricidad.

Si en el mismo líquido se sumerge una placa de cobre y si se la reune con la placa de zinc por medio de un alambre conductor, las electricidades que el zinc y el líquido desarrollan pueden ir al cobre por dos caminos distintos, ó al traves del líquido, ó por el alambre conductor de que se ha hablado. Una parte de la corriente sigue el último camino, por manera que la corriente aumentará en la proporcion de la estension y proximidad de la placa de cobre y la facultad de conducir del alambre. Consideremos ahora una pila de elementos iguales, por ejemplo, una pila de cajon en la que el líquido sea ácido sulfúrico diluido en agua, y tendremos tantos manantiales de electricidad como superficies de zinc contenga la caja, es decir, que si aisladamente consideramos los compartimentos que forman las chapas de zinc sumergidas en el cajon,

tendremos corriente negativa hácia el zinc y positiva hácia el líquido. Este y la placa de cobre conducen el fluido positivo al compartimento siguiente y allí se combina con el negativo producido del mismo modo que se ha explicado en el primero; las placas de zinc y de cobre conducen á su vez el fluido negativo que se combina con el positivo que circula por el líquido del compartimento inmediato. En una palabra, las electricidades desarrolladas en las paredes de las planchas se combinan entre sí en las paredes opuestas.

En uno de los extremos de la caja se reúne la electricidad positiva y en el otro la electricidad negativa. Como la acción química es continua, los fluidos se acumulan en los polos, y adquiriendo tensiones de vez en vez mayores, llega un momento en que tanto esas tensiones como la atracción que esas masas de fluidos contrarios ejercen entre sí, vencen todas las resistencias que la pila opone á su tránsito y á su combinacion. Desde este instante las tensiones extremas se combinan, ó directamente, ó atravesando los pares de que la pila se compone.

La teoría indica y la esperiencia nos prueba, que no solo en los compartimentos extremos se manifiesta la electricidad, sino que á medida que las placas se alejan de los polos van siendo menores y menores las tensiones que se obtienen. Si la pila está aislada, cada mitad tiene la electricidad del polo en que se termina y por lo dicho la tensión irá disminuyendo del polo hácia el centro del aparato. Cuando uno de los dos polos comunica con la tierra, se carga la pila del fluido libre del polo aislado, y su tensión decrecerá de un extremo á otro del cajon. Cuanto mayor sea el número de sus elementos, tanto mas tiempo tardarán los polos en adquirir sus tensiones, porque los obstáculos son tambien en mayor número, pero tanto mas crecidas serán las tensiones, aun cuando no hay compensacion, es decir, que las tensiones no son exactamente pro-

porcionales al número de elementos. Los fluidos que producen la tensión, provienen de las descomposiciones químicas de los compartimentos extremos, y como las electricidades han vencido ya una porcion de obstáculos, cuando llegan á los últimos compartimentos los salvan sin gran dificultad como, hace un momento, se ha explicado. Por manera que las tensiones de los polos de una pila son tanto mayores cuanto mas poderosas y en mayor número son las resistencias que se oponen al movimiento de la electricidad en el interior de la pila. El tiempo que emplea uno de los polos de una pila en cargar el condensador y el que una pila descargada necesita para cargarse, dependen de las resistencias interiores de la pila y de la actividad de la acción química, que consideramos como la sola causa de los fenómenos eléctricos que manifiesta el aparato.

La teoría precedente demuestra cómo crece la tensión con el número de elementos y porqué los efectos físicos dependen solo de las dimensiones de las placas.

Polaridad eléctrica.

Delarive ha observado ademas que alambres ó láminas metálicas sumerjidas en una disolucion ácida ó salina, y que comuniquen con un aparato voltáico en que se verifiquen las operaciones químicas indicadas, adquieren propiedades eléctricas particulares; es decir, que dos alambres de platina, por ejemplo, atados por un extremo á los polos de una pila y sumerjidos por el otro en una disolucion salina, adquieren tales propiedades que desenganchándolos de los polos de la pila y poniéndolos en comunicacion con un galvanómetro, señalan una corriente en direccion contraria á la que seguia la electricidad en el circuito primitivo formado por la pila, los alambres y la

sal disuelta en el agua. Esto se llama una corriente secundaria, y su energía es tanto mayor y dura tanto mas, cuanto mas intensa y prolongada haya sido la accion primitiva. Lo mas original es que la facultad de producir la corriente secundaria, ó lo que en otros términos se llama la polaridad eléctrica, pertenece solo á las partes ó porciones que han estado sumerjidas, porque si se cortan los alambres en dos porciones que comprendan, una la parte sumerjida, y otra la que estaba á flor de agua, teniendo cuidado de que no adhieran cuerpos estraños á la última, se advierte que con la parte que no ha estado sumerjida no se pueden producir corrientes sumerjiéndola simplemente en el líquido. La intension de la corriente secundaria varía segun el tiempo que los alambres han estado espuestos á la accion de la pila y de la naturaleza de los conductores que completan el circuito.

Becquerel esplica este fenómeno del modo siguiente. Se toman dos láminas de platina perfectamente limpias y brillantes, se las sumerge en una disolucion salina neutra, y poniéndolas en comunicacion con un galvanómetro, no hay el menor signo de corriente; se sacan las láminas y se las sumerge en dos vasijas que contengan la misma disolucion que en el caso anterior, pero con dos adiciones diferentes, á saber: una milésima de su peso de ácido nítrico en una, y en la otra una milésima tambien de potasa cáustica; en seguida se las sumerge á entrambas en la disolucion primitiva é inmediatamente se obtendrá una corriente que caminará al través del líquido desde la primera á la segunda, como si la reaccion se verificara del ácido al álcali. Esto asentado ¿qué sucede cuando dos láminas de platina forman parte de un circuito voltaico en el que ademas hay una disolucion salina? La superficie de la lámina positiva se cubre de partes ácidas y la de la lámina negativa de partículas alcalinas; ambas á dos se encuentran en el mismo caso que las que sirvieron al es-

perimento anterior, y como el efecto eléctrico es el mismo debemos concluir que la causa es tambien semejante. Conductores metálicos por los que circulen corrientes lo mas enérgicas que posible sea, no producen corrientes secundarias, cuando se intercepta el circuito para introducir en él un nuevo líquido. El efecto pues no se produce sino cuando el circuito contiene un conductor imperfecto que se pueda descomponer. Esta sola circunstancia prueba que la accion química hace un papel muy importante en la produccion de la corriente secundaria.

Partiendo de lo que se acaba de decir se pueden esplicar los efectos de las pilas secundarias descubiertas por Ritters. Recordará el lector que estas pilas se componen de discos todos de un mismo metal que alternan con rodajas de carton empapadas en un líquido conductor. Esta pila por sí sola no puede cargarse si las superficies de las láminas de cobre son perfectamente homogéneas; pero si se ponen en comunicacion, durante algunos instantes, sus dos extremos con los polos de una pila, recibe una carga que puede conservar largo tiempo y que es de tal naturaleza que los polos están invertidos, es decir, que el polo positivo de la pila corresponde al polo positivo de la pila secundaria y recíprocamente el positivo de esta con el negativo de la pila. Las pilas secundarias de por sí producen, una vez cargadas, todos los efectos fisiológicos y químicos de la pila voltaica, aunque en menor grado.

M. Becquerel esplica los efectos de las pilas de Ritters del modo siguiente: los discos de cobre de la columna sometidos á la accion de una pila voltaica, estan, con relacion á los discos de carton humedecidos, en el mismo caso que el alambre de platina sumerjido en una disolucion salina y electrizada con respecto á esta misma disolucion; por manera que las dos superficies de cada disco de cobre deben adquirir polaridad eléctrica contra-

ria á consecuencia de la deposicion respectiva de los elementos ácido y alcalino en cada una de ellas, depósito que tiene por efecto trasformar el disco en un verdadero par voltáico; y como todos los discos de cobre se hallan en el mismo caso, resulta que la pila secundaria es una verdadera pila voltáica cuyos elementos, en vez de ser metálicos, son, uno ácido, y otro alcalino.

Acabamos de ver que láminas y alambres metálicos adquieren la polaridad eléctrica con solo introducirlos en un solo circuito voltáico. Además de todas las propiedades eléctricas señaladas poseen los alambres y las láminas la propiedad de determinar la combinacion de las sustancias gaseosas ó aeriformes. Para comprender este género de fenómenos es necesario de antemano esponer los hechos que se refieren á un fenómeno, descubierto por Doebner, tan curioso como imprevisto. Observó este químico que la platina reducida á hilos sumamente delgados que reunidos entre sí forman una especie de esponja, tiene la propiedad de combinar á la temperatura ordinaria el hidrógeno y el oxígeno, y que era tal el desarrollo de calor que el metal se enrojecía casi instantáneamente. Los señores Thenard y Dulong observaron las circunstancias siguientes en el fenómeno que se acaba de esponer. Si se sumerge un pedazo de esa esponja de platina en una mezcla de oxígeno y de hidrógeno en las proporciones convenientes la mezcla detona instantáneamente; cuando las proporciones difieren mucho de las necesarias para formar agua, los gases se combinan con lentitud; cuando se calcina la esponja á una temperatura elevada, pierde la propiedad de enrojecerse instantáneamente, pero siempre conserva la de combinarlos con lentitud. Las planchas muy delgadas de platina tambien tienen la propiedad de combinar los gases, y su accion es tanto mas enérgica cuanto mas delgada es la placa. Hay otros metales que poseen la misma propiedad que la pla-

tina y en particular los que estan mezclados en su mena (iridio, osmio, paladio, rodio). El oro y la plata, reducidos á hojitas sumamente finas solo sirven para este género de combinaciones cuando la temperatura es muy elevada. Además de los metales hay otros cuerpos que tienen la propiedad indicada; entre otros citaremos el carbon, la piedra ponce, la porcelana, el vidrio y el cristal de roca, que á temperaturas que no llegan á 550° producen los mismos efectos que la esponja de platina.

Para que las láminas de platina adquieran el grado mas elevado de energia, es necesario, segun Faraday, hervirlas en potasa caústica, ponerlas en digestion con el ácido sulfúrico en seguida, y lavarlas, en fin, con agua destilada; el oro y el paladio se portan del mismo modo que la platina ejecutando con ellos las operaciones indicadas. La plata y el cobre no producen efecto alguno á la temperatura ordinaria.

Esta notable y al mismo tiempo curiosa propiedad de los metales y cuerpos porosos, no habia entrado hasta aquí bajo el dominio de la electricidad. M. Faraday observó que los gases que resultaban de la descomposicion del agua por medio de una pila, desaparecian poco á poco en los tubos en que se recogian, lo cual era debido á la influencia de las láminas de platina que habia en los polos de la pila. Primeramente sometió Faraday la lámina positiva á sus esperimentos y observó que el volumen del gas comenzaba al momento á disminuir, y que el instrumento adquiria la temperatura necesaria para hacer hervir el agua. La energia de las placas positivas, para disminuir los gases, se conserva durante cierto tiempo, aunque poco á poco va disminuyendo, lo cual depende de diversas circunstancias. Si en los tubos en que estan sumergidas las placas se añade nueva porcion de mezcla detonante, la accion de las primeras continua por espacio de 50 horas, y si se las guarda en vasijas cerradas, á los

ocho días producen sus efectos; pero si permanecen al aire libre pierden sus propiedades á las doce horas.

Segun esto parece lo mas natural atribuir á un fenómeno de polaridad eléctrica el origen de esta fuerza de atracción que produce cohesion, acciones capilares y combinaciones químicas. Admitiremos con Faraday que la esfera de actividad de esta fuerza se estiende á distancias finitas, aunque muy pequeñas, y que la fuerza de que se trata condensa los gases y vapores que se hallan en su esfera de atraccion. De este modo se esplica tambien la precipitacion del vapor de agua disuelto en la atmósfera, en la superficie de los cuerpos, como las sustancias higrométricas y el vidrio por ejemplo, la absorcion de gases por cuerpos porosos como el carbon, la combinacion de dos gases muy condensados, ó en los poros de la esponja de platina, ó en los pliegues de las hojuelas, ó al rededor de los alambres muy delgados de este metal. Por fin á la misma fuerza debemos atribuir la propiedad que tienen las láminas metálicas para retener en su superficie partículas ácidas ó alcalinas, trasportadas por corrientes voltáicas y que se adhieren con la energía necesaria á dichas superficies para comunicarles la polaridad eléctrica cuyos efectos hemos descrito y darles propiedades que conservan aun cuando se las lave, enjague y calcine al calor rojo.

Pila de corriente constante de Becquerel.

En este aparato la intension de la corriente es constante en el espacio de 24 horas. Se compone de dos bocales de vidrio, lleno uno de ácido nítrico puro y otro de potasa cáustica disuelta en agua. Un tubo curvo de vidrio pone en comunicacion ambas vasijas, para lo cual se le llena interiormente de arcilla sumamente fina humedecida

con un poco de agua salada. En el bocal de la potasa se sumerge una lámina de oro y en el otro una placa de platina. La reaccion que ejercen mutuamente entre sí el ácido, el agua, la sal comun y la potasa que contiene el aparato, producen la corriente voltáica. La lámina de oro recoge la electricidad negativa del álcali, y la lámina de platina se apropia la electricidad positiva del ácido.

Si se quiere que la corriente tenga la intension necesaria para las descomposiciones químicas, hay que disponer el aparato de otro modo. En vez de bocales se ponen tubos de platina, llenos de arcilla sumamente fina, humedecidos uno con ácido nítrico y otro con la disolucion de potasa. El tubo curvo de vidrio en que se pone arcilla y sal comun disuelta en agua, entra ludiendo en los cañones de platina, y en sus estremidades inferiores tienen unas tapaderas agujereadas y revestidas con algodón para retener la arcilla. Por esta parte se sumergen en dos bocales llenos respectivamente de ácido nítrico y de potasa cáustica disuelta, y los alambres conductores se enganchan en dos garfios soldados á los tubos de platina. En este género de aparatos el polo negativo está en el cañon, sumergido en el ácido, que atrae el álcali de la sal comun y el del nitrato de potasa para combinarse inmediatamente con el ácido; los ácidos de las sales descompuestos son atraidos por el cañon positivo y se combinan con el álcali en que está sumergido.

Becquerel esplica del modo siguiente el efecto constante de esta pila. Ya sabemos que las láminas metálicas sumergidas en una disolucion salina y en comunicacion con una pila voltáica, adquieren cierta polaridad que produce corriente voltáica en direccion contraria á la de la pila que les comunicó su virtud. La polarizacion de cada lámina consiste en el depósito de elementos que la corriente trasporta á su superficie. Interin que esos elementos, cuerpos ó sustancias, como se quiera llamarlos, per-

manecen adheridos á la superficie de las láminas, conservan estas su polaridad, pero si además están sumergidas en un líquido que tenga mucha afinidad con los cuerpos depositados, entonces se desprenden para combinarse con él, y las láminas pierden su polaridad. Tal es el efecto que producen las pilas de Becquerel cuya construcción se funda en disolver las sustancias á medida que se depositan.

Polaridad eléctrica que pueden adquirir algunos metales muy oxidables.

Tiene el hierro la notable polaridad de no disolverse en el ácido nítrico cuando está en un estado particular, que por su naturaleza parece tener cierta conexión con los fenómenos que acabamos de estudiar. Si se calienta al calor rojo una de las puntas de un alambre de hierro y después de dejarla enfriar se la sumerge en ácido nítrico de 1°,55 de densidad, no se disuelve, al paso que el mismo ácido ataca con mucha energía el extremo opuesto, es decir, el que no se ha enrojecido. Un alambre de hierro oxidado puede servir para preservar á otro que no lo esté, y no solo es nula la acción cuando están juntos, sino también cuando están separados. Estos experimentos sirven para demostrar la intervención de los efectos electro-químicos en este género de fenómenos. Si se sumerge un alambre de hierro, en todo ó en parte, en ácido nítrico, y si después que la acción haya comenzado se le toca con otro alambre de platina, cesa inmediatamente la disolución del hierro: la parte sumergida adquiere cierto brillo y no experimenta la menor alteración. El mismo efecto que la platina produce otro metal no oxidable, el carbón y el grafito. Una superficie muy pequeña de platina basta para anular el efecto del ácido sobre una gran superficie de hierro. Cuando se le toca con cobre,

zinc, estaño, bismuto, antimonio ó plomo, el ácido continúa ejerciendo su acción.

Cuando el hierro está en ese estado de inacción puede permanecer un mes en ácido nítrico sin disolverse, y conserva su propiedad aunque se le esponja al aire ó que se le sumerja en el agua ó en el amoníaco; pero en frotando su superficie pierde completamente esa propiedad. Tales son en resumen los hechos que habíamos anunciado. Becquerel y Faraday admiten, para explicarlos, que el hierro en semejantes circunstancias tiene la misma propiedad que la platina, es decir, que una capa de oxígeno adhiere á su superficie sin combinarse con él, y que le preserva de la acción del ácido nítrico.

#### Propiedades del zinc amalgamado.

Como las placas de zinc amalgamado<sup>1</sup> se emplean mucho hoy día en la construcción de las pilas á corriente constante, y este aparato sirve mucho en los experimentos de física, vamos á dar á conocer sus principales propiedades. Entre otras es notable que el agua acidulada con ácido sulfúrico no disuelve el zinc amalgamado; pero si se le toca con un alambre ó placa de platina ó de cobre, se disuelve inmediatamente y el hidrógeno se desprende por el alambre, que es el polo negativo del par voltaico. Este efecto es realmente una anomalía, puesto que el zinc y el mercurio forman juntos un par voltaico y el primero, por consiguiente, debía disolverse con más facilidad una vez asociado con el mercurio, que cuando se halla completamente aislado; pero como el resultado es entera-

<sup>1</sup> Para amalgamar el zinc, se procede del modo siguiente: se echa en un plato mercurio, agua y ácido sulfúrico, y después con una brocha se unta la superficie con el líquido y el mercurio. — N. del T.

mente contrario, debemos suponer con Faraday que las partículas de zinc están en el mismo caso que las del hierro en inacción.

Quando en un líquido compuesto de una parte de ácido sulfúrico y 50 de agua se sumerge una placa de zinc ordinario, la acción comienza inmediatamente y el zinc se disuelve sin dificultad. Delarive ha demostrado que el zinc amalgamado no se disolvía en semejantes circunstancias. En el primer caso parece ser que la acción proviene de ciertos pares voltaicos que se forman en pequeño entre el zinc, y los demás metales con que generalmente está mezclado el zinc del comercio, y que suelen ser hierro, cobre, cadmio, arsénico, etc. De aquí resulta que multiplicándose las acciones se destruye una gran porción de zinc y que el hidrógeno se desprende en apariencia en su superficie, aunque realmente parte de las superficies de los demás metales. El zinc amalgamado, aunque sea impuro, no descompone el agua acidulada, pero es tan ávido de oxígeno que en tocándole con otro metal cualquiera se disuelve casi instantáneamente, y Faraday cree que el mercurio en tales circunstancias comunica cierta uniformidad á la superficie anonadando la acción de los pares voltaicos que forman los metales mezclados con el zinc. Como toda la superficie de zinc está cubierta, se concibe sin dificultad que unas porciones no pueden descargar las otras, y que no habiendo esas irregularidades no puede haber tampoco partes que tengan mas afinidad que otras con el oxígeno, ó lo que es lo mismo, que sirvan para descargar.

De aquí se deducen dos consecuencias; la primera es que amalgamando el zinc se obtiene toda la cantidad de electricidad que puede dar una porción dada de zinc, y que una batería construida con zinc amalgamado y cargada con ácido sulfúrico y agua, no se altera hasta que se reúnen entre sí los metales que la forman.

En otro lugar hemos hablado de la pila de corriente constante de Daniell. Entonces se dijo que los metales estaban sumergidos en diferentes vasijas y los líquidos separados con cuerpos porosos para que pudieran transmitirse las corrientes sin que se formaran depósitos secundarios. A esto añadiremos que en la vasija de cobre se ponía una disolución de sulfato de cobre que se depositaba sobre la placa también de cobre á medida que se iba disolviendo<sup>1</sup>.

La lámina de zinc está suspendida en una vasija porosa en la que cae la mezcla ácida por un embudo de la parte superior, al paso que la disolución que se forma en el interior sale por un sifón. En un aparato de este género aplicado á la descomposición del agua, en tiempos iguales, se desprenden cantidades iguales de gases, aunque para decir verdad la acción es algo mas enérgica cuando la pila comienza á funcionar, lo que depende de que el líquido de la vasija porosa, en que hay regularmente una membrana, experimenta entonces una variación en su composición. El líquido, en efecto, necesita cierto tiempo para cargarse de sulfato de zinc, que debe existir, para que el aparato marche con regularidad, y es necesario también que pase tiempo para que las capas líquidas se coloquen en su estado normal. La alteración indicada, no pasa generalmente de una hora.

En diciembre de 1840, Jacobi envió á la Academia de ciencias de París una nota en que comparaba las fuerzas respectivas de dos pares voltaicos de la pila de Daniell,

<sup>1</sup> El efecto es el siguiente. El agua de la disolución se descompone; el oxígeno se combina con el cobre de la placa sumergida, y el hidrógeno desaloja ó precipita al cobre del sulfato para combinarse con su oxígeno; entonces se forma, si se quiere, sulfato de agua ó hidrico, y el cobre desalojado se deposita sobre la placa de cobre; por manera que lo que el oxígeno del agua le robó, el hidrógeno se lo devuelve. — N. del T.

compuestos uno de cobre y zinc cargado con ácido sulfúrico disuelto en 6 partes de agua, y el otro de zinc y platina cargado con la misma mezcla de ácido sulfúrico y agua y ácido nítrico concentrado. Tanto de sus esperimentos como del cálculo ha concluido el físico citado, que con una pila de 5 metros cuadrados se puede reemplazar otra de 50 metros cuadrados de cobre. Por manera que partiendo de estos datos puede concluirse, en general, que las pilas de platina son superiores á las de cobre para transmitir una gran cantidad de electricidad. Esta superioridad, segun Becquerel, depende sola de la reaccion que entre sí ejercen el ácido nítrico concentrado y el agua acidulada con ácido sulfúrico, que produce una corriente eléctrica mucho mas considerable que la que resulta de la reaccion entre el sulfato de cobre y el agua acidulada del mismo modo; además, la accion reunida de dos corrientes, contribuye á la descomposicion del ácido nítrico, de lo que resulta un aumento en el efecto general á consecuencia de la cantidad de zinc oxidado. Tales son las causas de los resultados señalados por Jacobi, resultados que se hubieran obtenido tambien con una superficie igual de otro metal que no fuera tampoco oxidable. Necesario es sin embargo convenir en que ningun metal es tan á propósito como la platina y que la observacion de Jacobi es interesantísima bajo el punto de vista práctico.

M. Grove ha hecho varios esperimentos para explicar los efectos que produce el zinc amalgamado; parece ser que depende de una polarizacion que difiere del caso general de las otras polarizaciones, en que el elemento trasportado, en vez de depositarse sobre el metal negativo, se combinaba convirtiéndole en un metal tan positivo que la corriente se renovaba completamente, al paso que en las demas circunstancias disminuia solamente su intensidad; mas para adoptar tal explicacion, es necesario admitir que el mercurio bajo la influencia de una corriente voltáica ab-

sorve la corta porcion de hidrógeno que se desprende en el momento que se intercepta la comunicacion.

De la nomenclatura electro-química.

Desde que se descubrió la propiedad que tiene la pila para descomponer químicamente los líquidos por medio de dos láminas colocadas en los extremos de la pila, se llamaron *polos* á estas láminas, aplicando el nombre de *positivo* á aquel en que se depositan el oxígeno y los ácidos, y de *negativo* á aquel al que van á parar el hidrógeno y las bases. Estas denominaciones son impropias porque solo revelan falsas analogías. Ampère para salvar esos inconvenientes llama *reóforos* (porta-corrientes), á las porciones de conductores soldadas á los extremos de la pila. Se llaman cuerpos *electro-negativos* á los que se depositan en el reóforo positivo, y *electro-positivos* á los que van á pasar al reóforo negativo, todo esto á consecuencia del principio sabido de que los cuerpos cargados de electricidades contrarias se atraen reciprocamente.

Partiendo de que la fuerza que produce la descomposicion no existe en los polos sino en los cuerpos descompuestos, dice M. Faraday, que los polos ó reóforos son solo intermedios que conducen las corrientes á los cuerpos descompuestos, y por esta razon los llama *electrodos*, y aplica el nombre de *electrolitos* á los cuerpos cuyos elementos se separan en virtud de la accion de los electrodos; el ácido cloro-hídrico es un cuerpo electrolítico y el ácido bórico no, pues entra en esa seccion en razon de que sus elementos no pueden separarse como los del primero.

M. Faraday ha tratado tambien de apreciar la direccion eléctrica. Si el magnetismo terrestre procede de corrientes eléctricas que circulan al rededor de la tierra, podemos inferir que su direccion es constantemente del este al

oeste; luego si en las descomposiciones químicas se coloca el cuerpo de modo que la corriente que le atraviese tenga la misma direccion ó sea paralela á la que suponemos que existe en la tierra, entonces las superficies atravesadas por la electricidad tendrán entre sí una relacion invariable, y en todas circunstancias será tambien igual la relacion de su potencia ó energia. Por esta razon Faraday llama ánodo al electrodo que mira hácia el este y cátodo al que se dirige al oeste; en una palabra el ánodo corresponde á la superficie por donde entra la corriente eléctrica, y en donde aparecen el oxígeno, el cloro y los ácidos, y el cátodo corresponde á la superficie por donde sale la corriente, y en este punto se recogen el hidrógeno, los cuerpos combustibles, los metales, etc.

Después de un gran número de experimentos ha concluido M. Faraday que la descomposicion electro-química no depende de la accion simultánea de dos electrodos, puesto que con uno solo, se efectua tambien la descomposicion, y uno de los elementos después de la descomposicion pasa al electrodo en accion, sea positivo ó negativo: el otro elemento se coloca en la estremidad opuesta del cuerpo sometido al experimento aun cuando su estremidad se halla al aire libre.

Condicion general de las descomposiciones electro-químicas.

Desde hace mucho tiempo se ha observado que los elementos combinados con mayor energia se descomponen mas facilmente por las corrientes eléctricas que los compuestos resultantes de cuerpos que tienen entre sí poca afinidad. De otro modo puede decirse que los elementos de los cuerpos compuestos se separan en virtud de las corrientes eléctricas, con tanta mas facilidad cuanto menor es la afinidad en virtud de la cual se hallan combinadas.

Entre los cuerpos que resisten á la accion descomponente de la electricidad se distingue primeramente el ácido bórico y en seguida los ioduros de azufre, los cloruros de antimonio, al ácido acético cristalizado, el amoniaco y los ácidos sulfúricos, arsénico y nítrico que no contienen agua. Es muy probable que la resistencia que estos cuerpos oponen á la descomposicion procede de que no tienen la facultad de conducir la electricidad; porque es tal la relacion, ó mejor dicho, la dependencia que hay entre la facultad descomponente y la facultad conductiva, que muchos cuerpos que no son conductores cuando están sólidos se descomponen al estado líquido si por el cambio de estado adquieren la facultad de conducir.

Electrómetro de Volta.

Vamos á recorrer rápidamente los aparatos que Faraday ha inventado para medir la electricidad voltáica y que llama electrómetros de Volta. Estriba su construccion en el principio siguiente; la accion química descomponente de una corriente, es constante ó invariable para una cantidad constante de electricidad, sean las que quieran las variaciones de su intension, las dimensiones de los alambres y de las placas y la naturaleza de los cuerpos que se vé precisada á atravesar. Como el agua acidulada con ácido sulfúrico se descompone con mucha facilidad, se emplea siempre para este género de experimentos, en los que debe evitarse con mucho cuidado la recomposicion de los gases, que como anteriormente se ha dicho, suele efectuarse por la influencia de la lámina positiva. La forma de los aparatos descomponentes varia segun el género de experimentos que se van á ejecutar. Pueden emplearse tubos rectos y graduados, en cuyo interior se coloca una

placa de platina y un alambre del mismo metal soldados entre sí con un poco de oro y fijos al extremo cerrado del tubo segun representa las Fig. 481 y 482. Suelen estos tubos ser de 25 centímetros de largos y 48 milímetros de diámetro. Las placas de platina deben ser lo mas ancho que sea posible, y se las coloca muy cerca del orificio del tubo. Cuando se quieren recoger grandes cantidades de gas duran los esperimentos muchos dias, y para esta operacion emplea Faraday un electrómetro de forma particular.

En resumen, el electrómetro de Volta sirve para estimar la potencia química de una corriente, midiendo los volúmenes de los gases que se desprenden á consecuencia de la descomposicion del agua. Cuando se introducen en un circuito voltaico, y á continuacion uno de otro, varios electrómetros semejantes cuyas láminas metálicas, siendo de diferentes dimensiones y sumergidas en diversos líquidos, la corriente que circula por los electrómetros descompone en todos ellos la misma cantidad de agua, ó lo que es lo mismo, produce las mismas cantidades de gas. Si se disponen tres de estos aparatos en un mismo circuito, de modo que la corriente despues de haber circulado por uno de ellos se divide entre los dos restantes, se observa que la suma de las cantidades de agua descompuesta por las dos corrientes derribadas, es igual á la cantidad descompuesta en el primer electrómetro. Así la facultad de una corriente hidro-eléctrica para descomponer químicamente los cuerpos, es la misma en todas las partes del circuito, y se divide entre las corrientes derribadas del mismo modo que la intension. Por manera que podemos mirar como demostrado que la potencia química de una corriente es proporcionada á la cantidad de electricidad que se mueve en el circuito.

En el tomo 5<sup>o</sup> hablaremos de nuevo de los esperimentos de Faraday, y á su tiempo se espondrá todo lo relativo

á los equivalentes electro-químicos y á la cantidad necesaria de electricidad para descomponer el agua, etc.

Principales aplicaciones de los principios electro-químicos.

La electro-química á pesar de ser un ramo de la ciencia enteramente nuevo, sus aplicaciones son sin embargo tan numerosas como importantes. Insistiremos en las principales.

En otro lugar hemos dicho que H. Davy habia hecho ciertos esperimentos para preservar el forro de cobre de los navios por varios medios electro-químicos. El agua del mar en presencia del oxígeno del aire oxida y destruye el cobre, y Davy para evitarlo juntó el cobre con un pedazo de zinc para que el primero formase el elemento electro-negativo de esta especie de pila, y para que el zinc se oxidase puesto que formaba el elemento electro-positivo. Con un pedazo de este último metal del tamaño de un guisante, bastaba para preservar á un metro de cobre de la oxidacion, y ademas de esto observó que era indiferente el parage en que se le colocase. Si se compara el forro de dos embarcaciones de las que una esté protegida por los pedazos de cobre y la otra no, se advierte que la superficie de la primera es brillante al paso que la de la segunda va corroyéndose poco á poco hasta que su superficie toma un color verde y se forman ciertas escamas que poco á poco tambien se desprenden, y debilitan el espesor de las planchas. Conzinc y con hierro se puede preservar el forro de los navios, pero esta precaucion ofrece un inconveniente que vamos á indicar. El par voltaico que forman los dos metales ejerce una accion química sobre las sustancias disueltas en el agua del mar, y por esta razon al poco tiempo se depositan varias sustancias terrosas y alcalinas sobre las placas de cobre. Ademas de esto se adhieren ciertos carbonatos

de cal y de magnesia, plantas y pólipos que todos reunidos aumentan el peso de la embarcacion y retardan sus movimientos. Para evitar estos inconvenientes emprendió Davy nuevos esperimentos segun los cuales parece que cuando se preservan las planchas de cobre con superficies de hierro ó de zinc que esten en la relacion de  $\frac{1}{150}$  ni se depositan materias alcalinas, ni se adhieren las plantas. Se conocen tambien otros esperimentos que demuestran que el forro de bronce lleva gran ventaja al forro de cobre.

Método electro-químico para dorar plata y laton.

Todo el mundo sabe que el dorado sobre laton ó plata, se ejecuta en general por medio de mercurio. Delarive tuvo la feliz idea de aplicar la influencia eléctrica para dorar los metales, es decir, que si se descompone una disolucion de oro por medio de una corriente voltáica, el metal disuelto debe depositarse, molécula por molécula, sobre el metal que forma el polo negativo. Las primeras tentativas fueron infructuosas, pero guiado por los consejos de M. Becquerel, adoptó Delarive el método siguiente: se coloca el objeto que se quiere dorar, sea plata ó laton, en una disolucion de oro diluida que se coloca en una especie de saco cilindrico de tripa, ó simplemente en una vejiga. Se la humedece perfectamente, tanto para que despues sea flexible, cuanto para ver si tiene algun agujerito, y en seguida se echa la disolucion de oro; se mete entonces la vejiga en un bocal de vidrio lleno de agua acidulada con ácido sulfúrico ó nítrico, y dentro tambien del mismo bocal se pone un cilindro hueco de zinc que encierre ó comprenda dentro de sí á la vejiga. El objeto metálico, que se trata de dorar, se coloca dentro de la disolucion de oro y comunica, por medio de un alambre curvo, con el cilindro de zinc. La corriente eléctrica que se desarrolla

es suficiente para descomponer la disolucion y el oro se precipita sobre el objeto metálico que sirve de cuerpo *electro-negativo*. Tambien se ejecuta la misma operacion en orden inverso, es decir, que se llena la vejiga de agua acidulada y dentro se mete un cilindro hueco ó sólido, un pedazo cualquiera, en una palabra, con tal que sea de zinc, y en el bocal exterior se echa la disolucion de oro y el objeto que se quiere dorar. Se los pone despues en comunicacion, esto es, el objeto y el cilindro por un alambre, y la operacion marcha como anteriormente.

M. Jacobi ha hecho otra aplicacion mas importante que hoy se conoce con el nombre de galvanoplastica. Se sirve de una pila de las de Daniell porque es indispensable una corriente constante para que las pruebas salgan con la delicadeza debida. Sumerje los reoforos, polos ó alambres, llámuelos como quiera, en una vasija llena de una disolucion de sulfato de cobre, y del polo electro-negativo cuelga la moneda, la placa grabada ó lo que sea. El cobre se deposita, y se obtiene en hueco una copia exacta del original. El oro, la platina, la plata, etc., sirven perfectamente para moldes, pero el hierro, el zinc y el estaño puro, descomponen por sí y sin auxilio de la pila las disoluciones de cobre, por cuya razon no se obtienen con ellos tan buenas pruebas. El plomo y el estaño combinados, y el plomo solo, producen muy buenos resultados cuando se construyen moldes con ellos; tanto que para contornos delicados se prefiere siempre el plomo puro.

<sup>1</sup> En el dia, no solo con metales, sino con yeso, cera y otras sustancias semejantes á propósito para hacer moldes, se sacan copias de medallas y otros objetos. Se las reviste con gráfito y se las cuelga del mismo modo dentro de la disolucion de cobre, en un alambre que viene del polo negativo de la pila; es indispensable que el conductor del polo positivo se sumerja en la misma vasija ó en otra que esté en comunicacion con ella. — N. del T.

Entre otros espermentos, Jacobi grabó varios caracteres en una placa de plomo, y sometiéndola al esperimento galvánico sacó una placa de cobre compacta y coherente, fiel reproducción del original. Con solo lo dicho concebirá el lector las infinitas aplicaciones que podrán darse á los principios establecidos. En los primeros ensayos el aparato se componía de las piezas siguientes: una vasija de barro porosa llena del agua acidulada en la que se sumerjia un pedazo de zinc; esta vasija estaba contenida dentro de otra llena de sulfato de cobre y en la que se sumerjia el objeto que se habia de copiar, el cual comunicaba por medio de un alambre con el zinc de la vasija porosa. Para que la prueba sea coherente y maleable es necesario preparar la disolucion á una temperatura elevada, es decir, echar agua caliente sobre los cristales de sulfato de cobre. Para poder separar la copia del original es necesario que la primera tenga un cierto espesor, porque en el caso contrario hay sus dificultades que vencer. El liquido debe estar bien saturado, y cuanto mas débil es la corriente, tanto mas maleable es el cobre y mas hermoso su color. Cuando este es sucio y oscuro, es prueba de que el cobre es quebradizo, y en ese caso es sumamente difícil separarlo del original.

Viendo Jacobi todos estos inconvenientes, modificó sus operaciones suspendiendo el objeto de placas ó alambres de cobre que venian de los polos de una pila, y que á su tiempo sumerjia en la vasija llena de sulfato de cobre, como se dijo al principio. Por este medio se obtienen pruebas de cobre sumamente compactas y con todos los demas caracteres que pueden desearse.

Sin esta modificacion el ante galvano-plástica no hubiera pasado de ser un juguete ó simplemente un objeto de curiosidad. Lo mas importante es que no hay límite en cuanto á las dimensiones y figura de los objetos que se quieren reproducir. En cinco ó seis dias obtuvo Jacobi la

copia galvánica de un bajo relieve de 0<sup>m</sup>,420 de longitud por 0<sup>m</sup>,285 de ancho que pesaba 0<sup>k</sup>,911; de manera que en cada veinte y cuatro horas se depositaron 182 gramas de cobre. Para obtener este resultado empleó un *par voltaico* de 4 met. cuad, 499 cargado con sulfato de cobre y un poco de sulfato de sosa. Es indispensable, para obtener buen resultado, reemplazar el sulfato de cobre que se deposita por efecto de su cristalización.

En otro esperimento grabó en una placa de cobre varios caracteres, estendió sobre la superficie de dicha placa una capa de cobre en polvo sumamente fino, y en seguida la sometió al esperimento galvánico; al poco tiempo sacó una copia en la que los caracteres habian salido en relieve.

En veinte cuatro horas sacó tambien una copia de una vista tomada en el daguereotipo sin mas precaucion que meterla, como se ha dicho, en la disolucion de sulfato de cobre. Comparadas entre sí se notó la mas perfecta semejanza, pero las sombras y los claros estaban cambiados. El 24 de mayo de 1841, M. Fizeau presentó á la Academia de ciencias varias contra pruebas de vistas sacadas con el daguereotipo, en las que se advirtió notable semejanza; las planchas originales no sufrieron, al parecer, el menor deterioro.

Apoyándose en los mismos principios que Jacobi, M. Boequillon ha construido un aparato sencillísimo que llama electrotipo, y que sirve para sacar el *fac-simile* de una medalla de un bajo relieve, etc. A continuacion insertamos la descripcion del aparato y la operacion (Fig. 184). Si el original, que se quiere reproducir, es de cobre ó de plata, se le cubre con una capa muy delgada de grafito en polvo sumamente fino, sirviéndose para esto de una brochita de pelo largo y tambien bastante fino.

Se rodean los bordes de la pieza A con un poco de cera, y despues se la coloca sobre la pieza B uniéndolas entre sí

por medio de la cera, pero teniendo cuidado de que el reverso de la medalla esté en pleno contacto con la placa B, que debe estar sumamente limpia. Despues se cubre de barniz todo el resto de la placa B y parte del alambre CC con el que está soldada.

Se coloca la placa B en el fondo de la vasija DD, y se introduce el extremo del alambre CC en el agujero E del soporte F, y se le aprieta con un tornillo. Hecho esto se coloca el diafragma GG en la vasija D y sobre el agujero del diafragma el cilindro HH cuyo fondo YY es permeable. Se introducen en seguida en el cilindro H el disco de zinc J y el alambre de cobre KK que estan soldados entre sí.

Es indispensable que los alambres C y K y los agujeros E y L estén muy brillantes, para lo cual se los frota con papel de lija; y lo que es aun mejor se los amalgama con nitrato de mercurio; por fin es necesario que los alambres y agujeros estén en contacto muy intimo.

Se llena la vasija D hasta varios milímetros encima del diafragma G con una disolucion de sulfato de cobre, y el cilindro H, hasta que cubra bien al disco de zinc J; se echa agua acidulada en la que se disuelve la cantidad de sulfato de sosa que puede tomarse á la vez entre dos dedos. Por fin sobre el diafragma G y al rededor del cilindro H se colocan algunos cristales de sulfato de cobre, que disolviéndose poco á poco, mantienen á un mismo grado de saturacion del sulfato cuyo cobre se deposita en A al paso que el ácido atraviesa la pared permeable Y y disuelve el zinc.

Un dia sí y otro no es necesario cambiar el agua del cilindro H; pero si se ha comenzado la operacion basta con añadir agua pura y limpiar el disco de zinc, que disolviéndose se cubre de una capa de cobre en polvo.

Al mismo tiempo se puede apartar el diafragma G y sacar del líquido la pieza A para juzgar del color del metal

depositado; pero debe tenerse cuidado de hacer la operacion con cierta rapidez, porque el aire puede oxidar el cobre, y esto impide que las capas que luego han de depositarse adhieran bien á su superficie. Despues de hecha la observacion se colocan en su lugar todas las piezas del aparato y se deja marchar la operacion hasta que la capa de cobre tenga el espesor necesario para destacarla del molde sin correr el riesgo de que se rompa.

El color de rosa pálido es el mejor caracter de la calidad del cobre, y cuando al aire adquiere un color pardusco ó su superficie se empaña, se le limpia con un poco de ácido nítrico diluido hasta que de nuevo adquiera el color de rosa indicado.

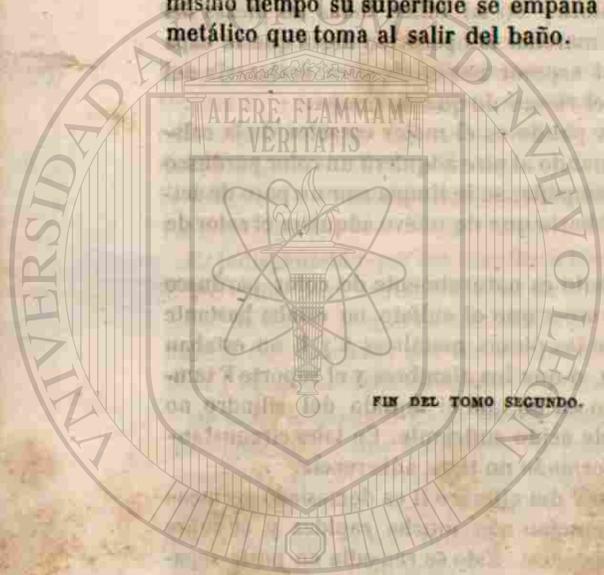
Cuando el depósito es naturalmente de color pardusco hay indicios para creer que el sulfato no estaba bastante concentrado ó que las piezas metálicas A y B no estaban en pleno contacto, ó que los alambres y el soporte F tampoco lo estaban, ó en fin que el líquido del cilindro no tiene la cantidad de ácido suficiente. En tales circunstancias, el depósito formado no tiene adherencia.

Cuando el fondo Y del cilindro H es demasiado permeable marcha la operacion con mucha rapidez y el cobre tampoco tiene coherencia. Esto se remedia en parte separando el disco del zinc J del tabique para aumentar la distancia entre el zinc y la pieza A.

Cuando no se quiere que el depósito sea muy espeso se separa la pieza A de la placa b, se la lava perfectamente con agua pura, y despues con una lima se quita el metal que se halla depositado al rededor de la pieza; se la calienta en seguida, por la cara en que se ha depositado el cobre, con una lámpara de espíritu de vino; y si echando una gota de agua sobre su superficie hierve y se evapora súbitamente, se la sumerge inmediatamente en agua fria. Entonces bastan algunos golpecitos con el martillo para separar la pieza, y si hubiera mucha resistencia no hay

mas que meter la hoja de un cuchillo entre los hordes de la prueba y el original.

Cuando se calienta la prueba del modo que se ha dicho adquiere el cobre nuevo grado de maleabilidad, pero al mismo tiempo su superficie se empaña y pierde el brillo metálico que toma al salir del baño.



FIN DEL TOMO SEGUNDO.

## INDICE

### DEL TOMO SEGUNDO.

#### DE LA HIGROMETRIA.

Higrómetro de Saussure.	45
De la delicuescencia.	25
De las densidades.	26
Densidades de los gases.	27
De los globos aereostáticos.	52
Mecanismo del vuelo.	40
Densidad de los líquidos.	44
Densidades de los sólidos.	45
De los arcómetros.	49
Del <i>maximum</i> de densidad del agua.	56
Pérdida de peso que experimenta un cuerpo rodeado de aire.	62

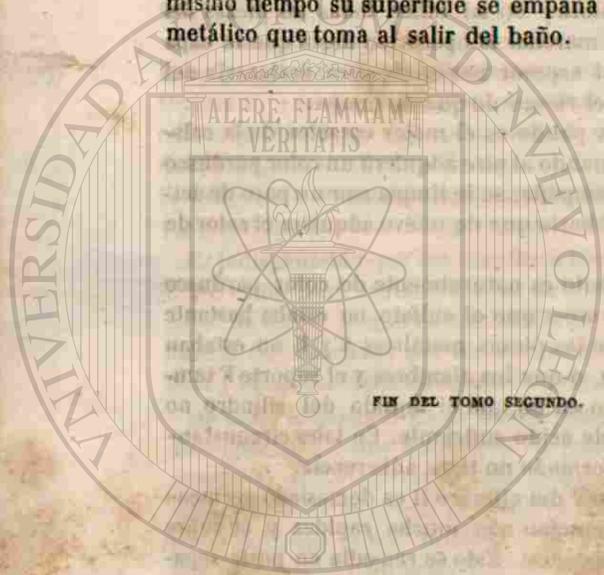
#### DE LA ATMOSFERA.

Del decremento de la densidad de la atmósfera.	65
Del barómetro.	67
Del barómetro de cuveta.	74
Del barómetro de sifon.	75
Del barómetro de cuadrante.	77
Barómetro de Amontons.	80

BIBLIOTECA

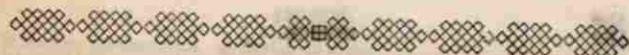
mas que meter la hoja de un cuchillo entre los hordes de la prueba y el original.

Cuando se calienta la prueba del modo que se ha dicho adquiere el cobre nuevo grado de maleabilidad, pero al mismo tiempo su superficie se empaña y pierde el brillo metálico que toma al salir del baño.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## INDICE

### DEL TOMO SEGUNDO.

#### DE LA HIGROMETRIA.

Higrómetro de Saussure.	45
De la deliquesencia.	25
De las densidades.	26
Densidades de los gases.	27
De los globos aereostáticos.	52
Mecanismo del vuelo.	40
Densidad de los líquidos.	44
Densidades de los sólidos.	45
De los arcómetros.	49
Del <i>maximum</i> de densidad del agua.	56
Pérdida de peso que experimenta un cuerpo rodeado de aire.	62

#### DE LA ATMOSFERA.

Del decremento de la densidad de la atmósfera.	65
Del barómetro.	67
Del barómetro de cuveta.	74
Del barómetro de sifon.	75
Del barómetro de cuadrante.	77
Barómetro de Amontons.	80

BIBLIOTECA

Barómetro de Descartes.	80
Barómetro de Huygens ?.	81
Barómetro de Hock.	id.
Barómetro de Farenheit.	82
Mediación de las alturas por medio del barómetro.	84
Tabla para calcular las alturas de las montañas, segun las observaciones barométricas.	86
Tipo del cálculo.	97
De la máquina pneumática.	98
De las máquinas de compresion.	406
Escopeta de viento.	409
De la fuente de compresion.	id.
De las bombas.	440
Bomba de los Sacerdotes.	445
De la fuente intermitente.	448
De la fuente de Heron.	420
Del sifon.	424
Lámparas hidrostáticas.	425
Lámpara de disolucion salina.	426
Lámpara de Thilorier.	427
Lámpara hidráulica de Thoyot.	id.
Fuente de circulacion.	428
Lámpara de gas hidrógeno.	429

## MAQUINAS DE VAPOR.

Máquina de Newcommen ó de Cowley (de simple efecto).	432
Máquina de VVatt (baja presion).	435
Máquina de Woolf (de presion media y con expansion).	437
Máquinas de alta presion.	439
Válvulas para dar paso al vapor.	442
Válvulas de seguridad.	445
Válvulas interiores.	445
Calderas.	id.
Manómetro.	446
Volante.	447
Ventajas comparativas de las diversas máquinas de vapor.	id.
Cálculo de los efectos dinámicos de las máquinas de vapor.	450
Máximo efecto que produce la cantidad de vapor formada por la combustion de una kilógrama de carbon en una máquina ordinaria.	452

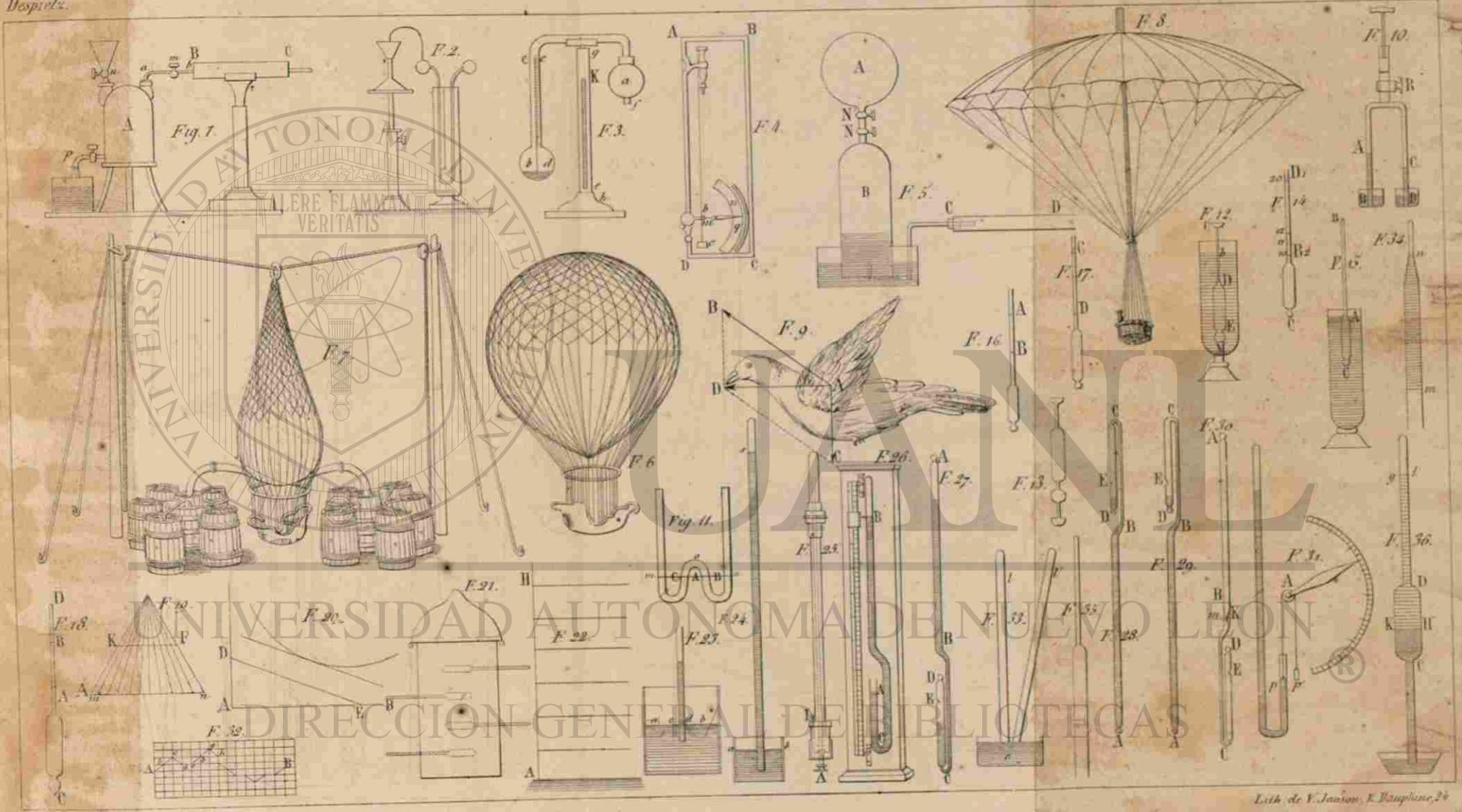
Máquinas locomotrices. — Barcos de vapor.	454
Carruajes de vapor.	457
Armas de vapor.	458
Máquinas movidas por el ácido carbónico, etc.	459
De las explosiones de las máquinas de vapor.	460

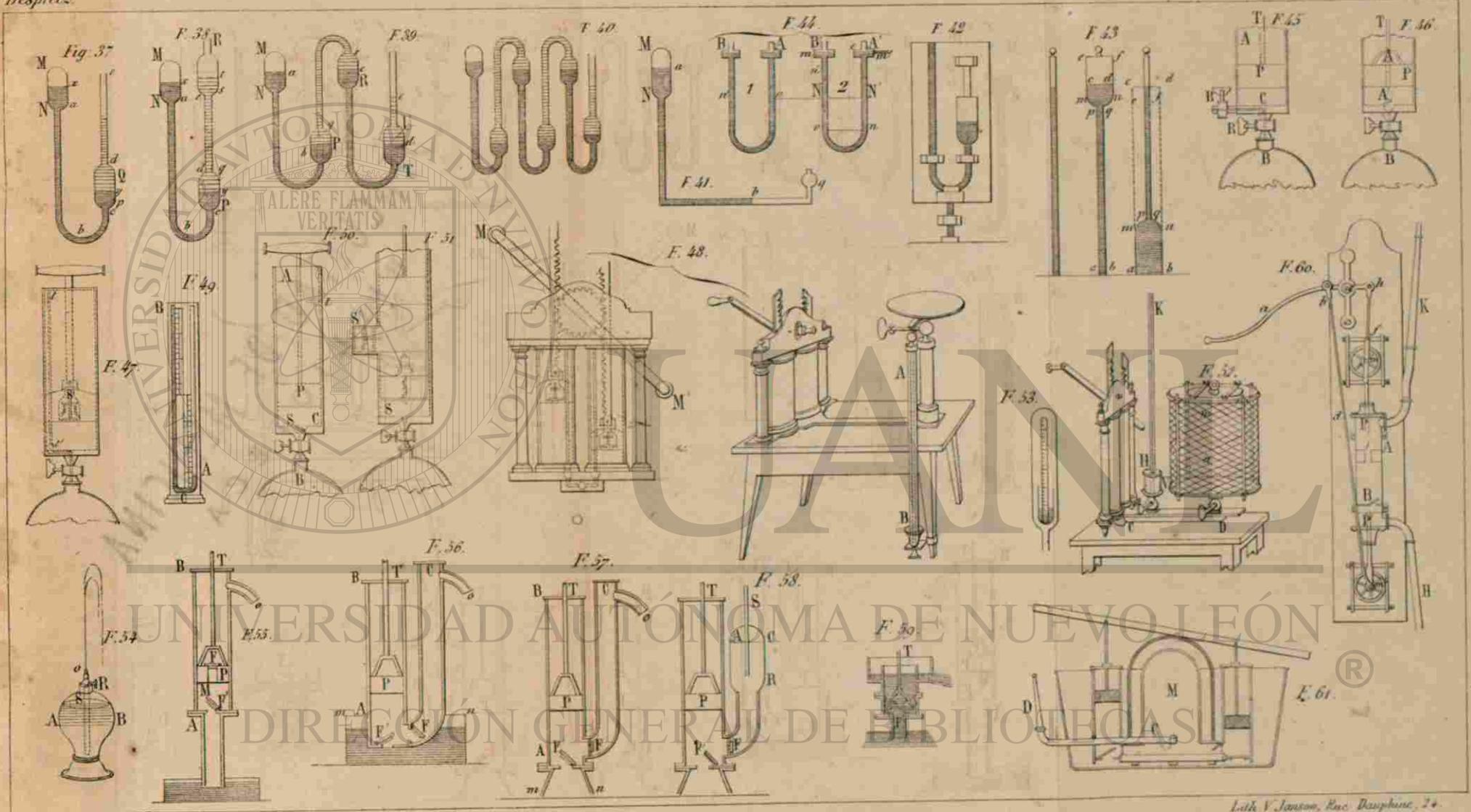
## DE LA ELECTRICIDAD.

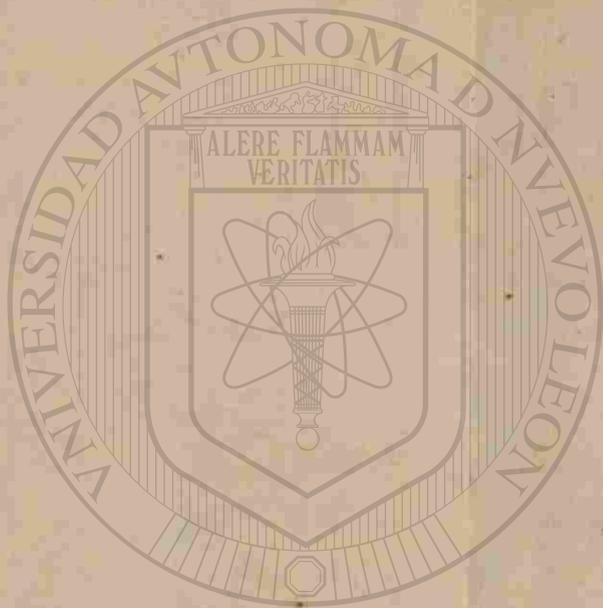
Nociones preliminares.	468
Hipótesis teóricas.	475
De las leyes que siguen las acciones eléctricas.	477
Pérdida de la electricidad por el aire y por los soportes : Leyes segun las cuales esa pérdida se efectua.	486
Pérdida que ocasiona el aire.	488
Pérdida que ocasionan los apoyos.	490
Colocacion de la electricidad en la superficie de los cuerpos conductores aislados.	492
Método para averiguar la distribucion de la electricidad en cuerpos de diversas formas.	494
Distribucion del fluido eléctrico entre varios cuerpos en contacto.	204
Resultados obtenidos con dos globos, cuyos diámetros estaban en la razon de 4:2.	202
Resultados obtenidos con 12 globos de 2 pulgadas de diámetro.	203
De las máquinas eléctricas.	205
De las electricidades disimuladas. — De su separacion á distancia.	244
Del disimulo de la electricidad, y de su recomposicion lenta ó súbita.	225
Del electróforo.	225
Condensadores.	251
De la botella de Leyden.	257
Carga por cascada.	240
De las baterías eléctricas.	244
Efectos mecánicos de la electricidad.	242
De los electroscopios.	249
Electroscopio condensador.	252
De la luz eléctrica.	255
Electricidad producida en el vacío.	254
Electricidad de las nubes.	260
Electricidad atmosférica.	265
De los para-rayos.	267

Explicacion de los movimientos que la electricidad produce en los cuerpos.	274
Electricidad desarrollada por la presion.	275
Electricidad desarrollada por la division de los cuerpos.	278
De la electricidad desarrollada por el contacto.	279
Construccion de la pila.	283
Diversas clases de pilas.	id.
Pilas secas.	286
De las pilas secundarias.	287
Efectos de la pila.	294
Efectos fisicos.	294
Efectos calorificos.	id.
Efectos fisiológicos.	296
Efectos químicos de la pila.	297
Efectos mecánicos.	306
Facultad de los cuerpos para conducir la electricidad galvánica.	310
Facultad de conducir de los líquidos.	342
De las sustancias que tienen, con respecto á la electricidad galvánica, una facultad de conducir particular.	345
Fenómenos termo-electro-dinámicos.	348
Fenómenos termo-electro-estáticos.	319
De la electricidad desarrollada en los fenómenos químicos.	322
APÉNDICE.	
Teoría química de la pila.	334
Polaridad eléctrica.	335
Pila de corriente constante de Becquerel.	340
Polaridad eléctrica que pueden adquirir algunos metales muy oxidables.	342
Propiedades del zinc amalgamado.	343
De la nomenclatura electro-química.	347
Condicion general de las descomposiciones electro-químicas.	348
Electrómetro de Volta.	349
Principales aplicaciones de los principios electro-químicos.	351
Método electro-químico para dorar plata y laton.	352

\*\*\*\*\*







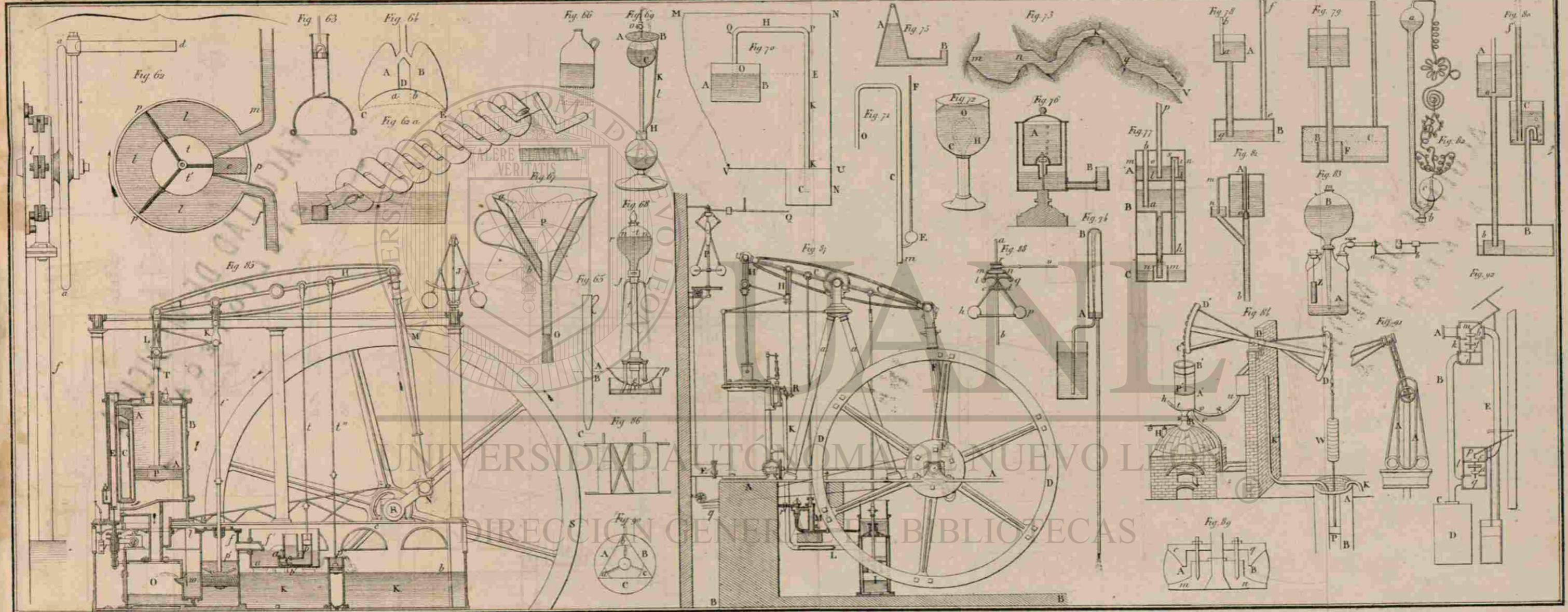
U A N L

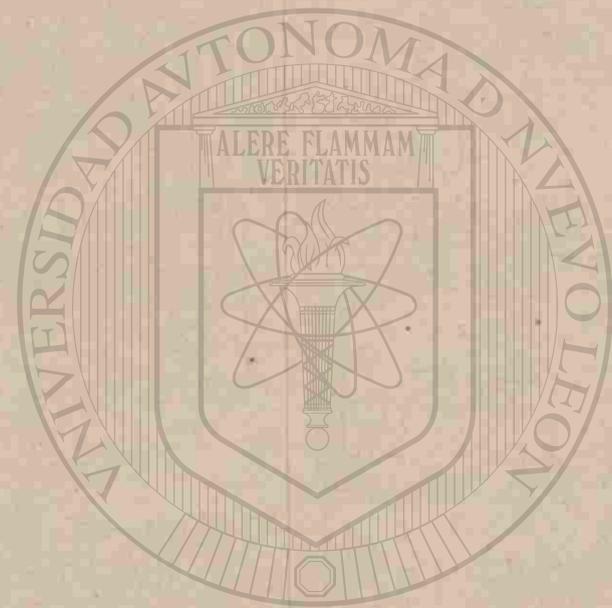
FACULTAD DE MEDICINA  
BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





UANL

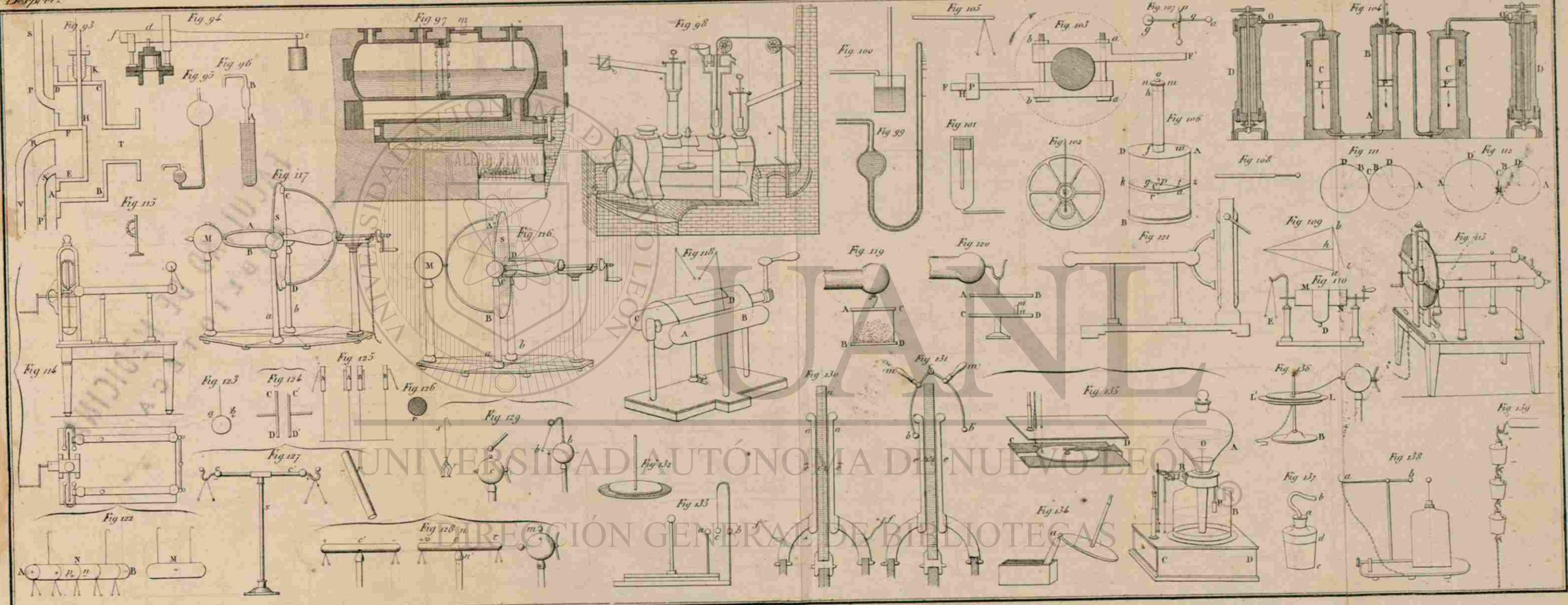
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

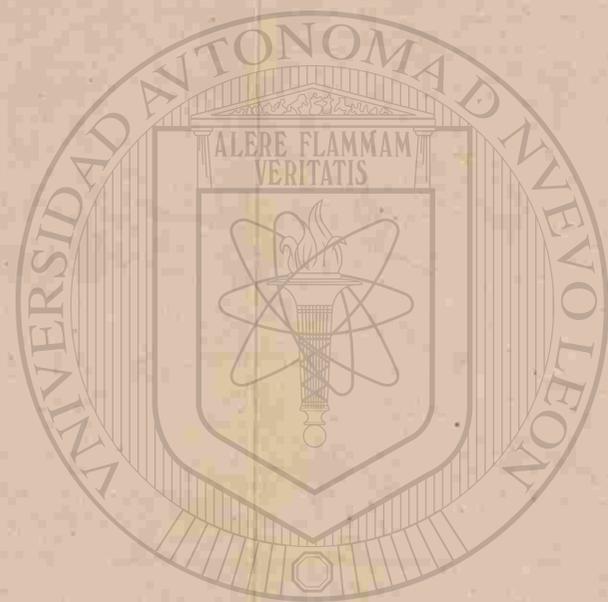
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

FACULTAD DE MEDICINA  
BIBLIOTECA

Despretz





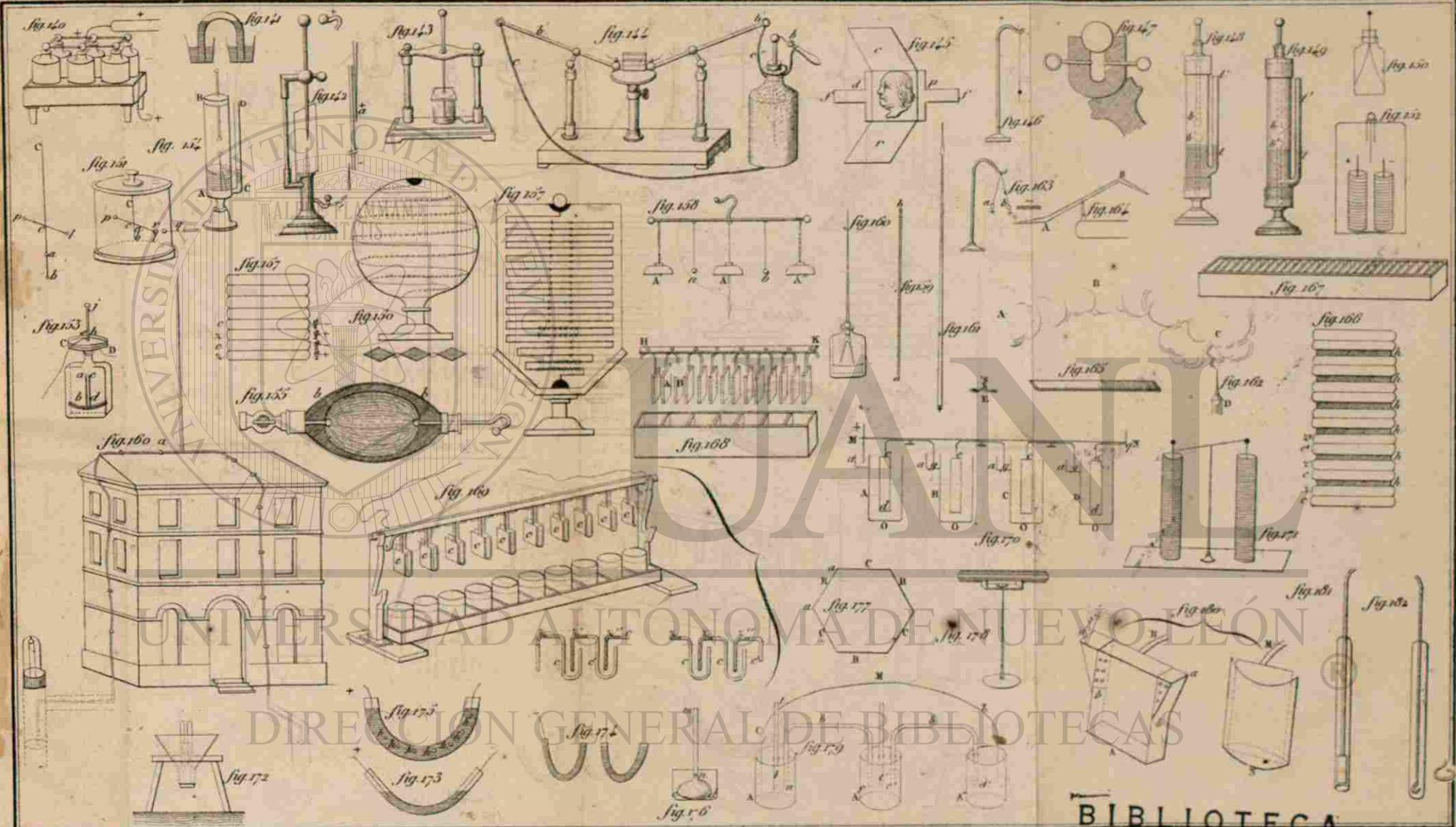
UANL

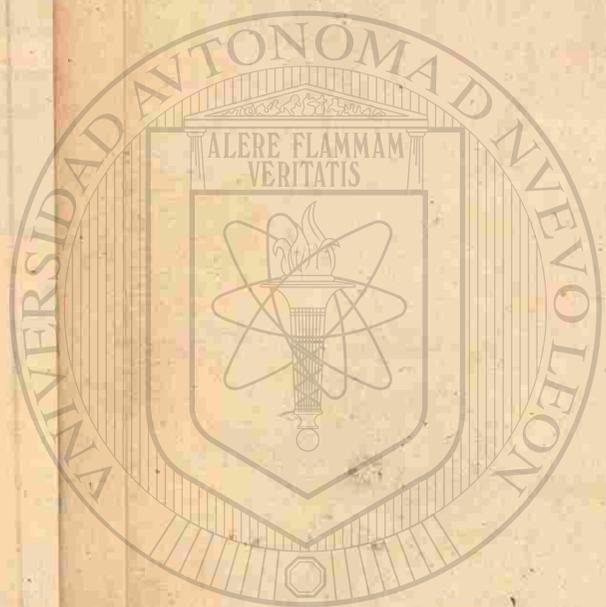
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

FACULTAD DE MEDICINA  
BIBLIOTECA



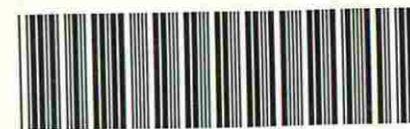


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



1030000609

