

Compendio elemental de fisica, o tratado sencillo de fisica ... / traducido al español por ... Carlos Mallaina.

Contributors

Soubeiran, Eugène, 1797?-1858.
Mallaina, Cárlos.

Publication/Creation

Burgos : P. Polo, 1843.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/mzufypw3>

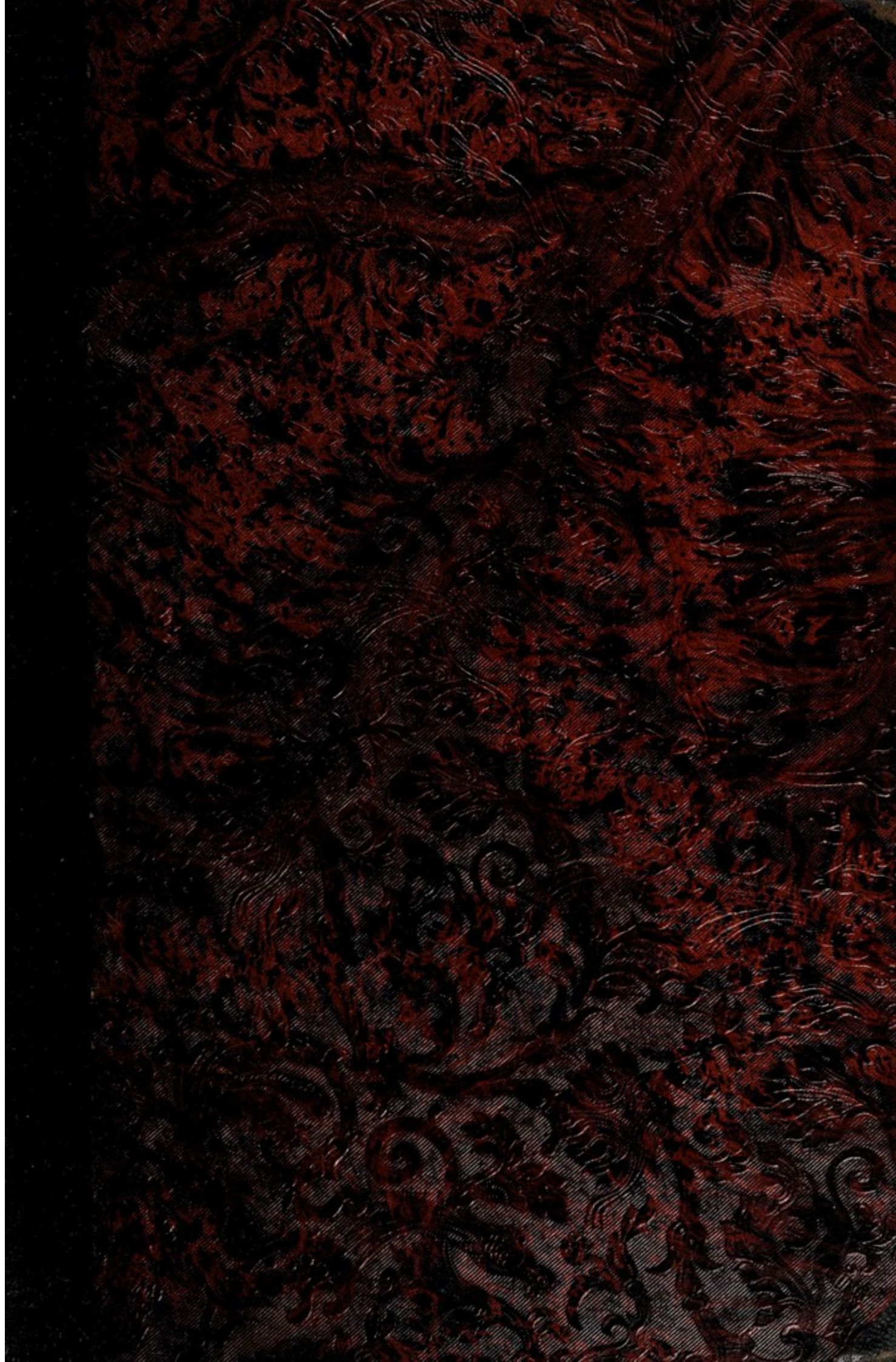
License and attribution

This work has been identified as being free of known restrictions under copyright law, including all related and neighbouring rights and is being made available under the Creative Commons, Public Domain Mark.

You can copy, modify, distribute and perform the work, even for commercial purposes, without asking permission.



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>



49042/B

N. ix. i
19



Digitized by the Internet Archive
in 2018 with funding from
Wellcome Library

<https://archive.org/details/b29302389>

COMpendio Elemental

FÍSICA

O TRATADO SENCILLO DE FÍSICA

por C. Loubelian.

Profesor de la Física en la Universidad de Burdeos, y Director de la Escuela de Artes y Oficios de Burdeos, y de la Escuela de Artes y Oficios de la ciudad de Burdeos.

traducido al español

por el Licenciado D. Carlos Malagón,

Profesor Principal del Real Instituto de San Carlos.

Madrid, 1844.

BURGOS,

Imprenta de Pascual Páez.

Año de 1844.



COMPENDIO ELEMENTAL

DE

FÍSICA

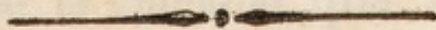
Ó TRATADO SENCILLO DE FÍSICA

por E. Soubeiran,

PROFESOR EN LA ESCUELA DE FARMACIA, FARMACÉUTICO EN JEFE
DE LOS HOSPITALES Y HOSPICIOS CIVILES DE PARÍS, DIRECTOR DE LA
FARMACIA CENTRAL DE LOS HOSPITALES, MIEMBRO DE LA ACADEMIA
REAL DE MEDICINA, &c. &c.

traducido al español

*por el Licenciado D. Carlos Mallaina,
Redactor principal del Mensual Farmacéutico.*



BURGOS,

Imprenta de Pascual Polo.

Año de 1843.

COMPTON'S PATENT

38

FÍSICA

o TRATADO SENCILLO DE FÍSICA

por E. Rouleau

PROFESOR EN LA ESCUELA DE FARMACIA, FARMACÉUTICO EN JEFE
DE LOS HOSPITALES Y HOSPICIOS CIVILES DE PARÍS, DIRECTOR DE LA
FARMACIA CENTRAL DE LOS HOSPITALES, MIEMBRO DE LA ACADEMIA
REAL DE MEDICINA, &c. &c.

traducido al español

por el Licenciado D. Carlos M. de la Cruz,
Medico Principal del Hospital General de Madrid

Imprenta de Pascual Polo.
Año 1844



PRÓLOGO DEL AUTOR.

Esta obra se dirige á las personas que carecen del tiempo suficiente para adquirir profundos conocimientos físicos, y por otra parte tampoco tienen necesidad de ellos: será útil con tal que pueda contribuir á generalizar aquellos principios necesarios á todos en las circunstancias mas habituales de la vida. Hay pocos sugetos que puedan hacer el uso conveniente de una fórmula matemática, deducir sus consecuencias ó calcular su resultado definitivo, pero existen muchos que de principios sencillos enunciados en language ordinario pueden sacar aplicaciones diarias y provechosas. El libro es corto y bien puede ser leído; las numerosas láminas que le acompañan contribuyen á darle la claridad que la concision pudiera haberle hecho perder: sin embargo, tenga entendido el lector que esta obra no puede serle provechosa si no presta á su lectura aquel espíritu de atencion que ecsige todo asunto sério; una vez familiarizado con los principios, las esperiencias que demuestran su ec-

sacultad ó las aplicaciones que se derivan de ellos, no serán mas que sus legítimas consecuencias para él.

El autor ha introducido en este compendio elemental algunas fórmulas matemáticas sencillas; pero ha tenido la precaucion de colocarlas en notas separadas, (1) de este modo serán útiles para las personas que puedan comprenderlas sin perjudicar la claridad, ni á la unidad del testo para los demas.

(1) Yo colocaré estas notas al final de la obra, y las que aparezcan con un asterisco al pie de las páginas serán mías. (Nota del traductor.)

PROLOGO DEL TRADUCTOR.

No á todos los sábios es dado vulgarizar las ciencias sublimes. La Física, que va siendo sucesivamente mas matemática, tomada en su sentido mas estricto, considera las propiedades de las materias inertes en estado sólido, en estado líquido, en el de fluido aeriforme y tambien en el de fluido incoercible ó imponderable; examina las acciones mecánicas que los cuerpos en aquellos cuatro estados ejercen unos sobre otros, y los diferentes fenómenos que presentan en sus movimientos.

Mr. Soubeiran con una habilidad propia de su escelso ingenio ha logrado reunir en el tratadito que presento al público los puntos mas importantes de tan vasta comprension, de modo que puedan hacerse familiares entre las gentes sencillas, y esto forma su mejor elogio.

En la traduccion he preferido comunmente la claridad á la concision y á la elegancia del lenguaje, y siempre he tenido presente que este compendio no puede pasar de un libro elemental sencillo: asi he seguido al autor casi constantemente; y si en algun caso interpongo tal cual palabra de poca importancia entre las suyas, suele denotar un paréntesis su origen: finalmente, solo al lector corresponde juzgar con acierto de mi corto trabajo, y á su indulgencia le encomiendo.=C. M.

COMPENDIO ELEMENTAL

DE

FISICA.

PROPIEDADES GENERALES DE LA MATERIA.

Se llaman propiedades físicas de los cuerpos aquellas que se observan cuando su composición no experimenta cambio ni alteración. Hay algunas tan esenciales á la materia, que siempre la acompañan, se las llama por esto propiedades generales. Las mas importantes son la estension y la impenetrabilidad. Estension es la porcion de espacio que ocupa un cuerpo, limita su grandor compuesto siempre de las tres dimensiones, longitud ó largura, latitud ó anchura, profundidad ó altura. Es preciso distinguir el volumen real del volumen aparente de los cuerpos; por ejemplo, en una esfera hueca de cobre la estension de la superficie metálica exterior no es el espacio ocupado por la esfera entera y sólida. La unidad de medida para la estension es el metro diezmillonesima parte de la distancia del equador al polo N. tomada del meridiano que pasa por Paris: da las medidas siguientes:

MEDIDAS DE LONGITUD.

Metro. (1). unidad fundamental.

Decimetro. decima de metro.

(1) El metro equivale á 3,5889216 pies españoles.

Centimetro.centesima parte de id.
Milimetro.milesima parte del metro.

MEDIDAS ITINERARIAS.

Miriametro. (1)diez mil metros.
Quilometro.mil metros.
Decametrodiez metros.

MEDIDAS AGRARIAS.

Hectareadiez mil metros cuadrados.
Area. (2).cien metros cuadrados.
Centiarea.un metro cuadrado.

MEDIDAS DE CAPACIDAD.

Quilolitro.mil litros.
Ectolitro.cien litros.
Decalitro.diez litros.
Litro. (3).decimetro cúbico.
Decilitro.décima parte del litro.
Centilitro.centésima parte del litro.

MEDIDAS DE SOLIDOS.

Decastereo.diez estereos.
Etereo. (4).metro cúbico.
Decistereo.décima parte del estereo.

Impenetrabilidad, es la propiedad en virtud de la cual ocupa cada cuerpo su lugar, en virtud de la cual dos cuerpos no pueden existir al mismo tiempo en un punto; pertenece á la materia en

(1) El miriámetro equivale á 35889,216 pies españoles, ó á 1,794608 leguas.

(2) El area es igual á 8,9446932 estadales cuadrados de á 12 pies.

(3) El litro á 3,4542523 ochavos de fanega ó á 1,983046304 cuartillos de líquido.

(4) El estereo á 46,22659594256 pies cúbicos, &c.

La grama unidad de peso francesa, como lo dirá el autor en la 6.a nota, equivale á 20,030732 6976 granos, y el baro á 21,734736 quintales; (vease sobre este punto el excelente tratado elemental de matemáticas del Sr. Vallejo, t.º 1.º, pág. 56 y siguientes, 4.a edicion.)

todas las circunstancias posibles, si bien algunas veces las apariencias indican lo contrario; así se ve penetrar con un clavo á un trozo de madera, y el hierro y la madera es bien claro que no ocupan al mismo tiempo igual espacio, sino que las fibras del leño se comprimen para dejar paso al metal.

Porosidad, es la propiedad que poseen los cuerpos materiales de tener ciertos espacios vacíos entre las partículas de su masa, está caracterizada por la simetría de los vacíos, y si bien el espacio comprendido entre las partículas puede aumentar ó disminuir, su disposición simétrica no sufre alteracion. Los fenómenos de la dilatacion y contraccion que experimentan los cuerpos en ciertas circunstancias prueban de la manera mas evidente que sus partículas no son continuas, si se pone sobre una vasija de madera A. fig. primera, un tubo de vidrio S. y se vierte mercurio en este aparato, el metal filtra bien pronto al traves de los poros leñosos, y demuestra así la porosidad. La *compresibilidad*, es la propiedad que tienen los cuerpos sometidos á una presion de poder disminuir su volumen; es una consecuencia de la porosidad, pues un cuerpo disminuye el volumen cuando sus partículas han podido aproximarse entre si. La *permeabilidad*, es la propiedad que poseen ciertos cuerpos de poder recibir á otros en su interior; es tambien consecuencia de la porosidad; pero si todos los cuerpos son porosos, todos no son permeables, pueden serlo por una sustancia y no por otra. El vidrio es permeable por el calor y la luz, y no por el agua, el aceite penetra el marmol, el agua y el mercurio no.

Divisibilidad, es una propiedad de los cuerpos materiales no de la materia, aquellos son susceptibles de una division extraordinaria: un poco de almizcle esparce sus partículas olorosas en el aire de cualquiera habitacion donde se halle, y apenas disminuye su peso en mucho tiempo, aunque el ambiente se renueve sin cesar; una parte de carmin diluida en trescientas mil de agua les dá color sensible; un hilo de vidrio de una centésima parte de milimetro

forma un tubo hueco, del que se necesitan por lo menos veinte metros de longitud para componer el peso de una centígrama. El dorado de los metales prueba aun muy bien la extrema divisibilidad de los cuerpos; 30 gramas de oro aplicadas sobre un cilindro de plata pueden formar un hilo dorado de mas de 110 leguas de longitud, al que podrá cambiar el cilindro en una lámina, cuya longitud será igual; se podrá dividir esta lámina á su vez por la latitud en un gran número de partes: el oro habrá suministrado de este modo mas de catorce millones de porciones bien visibles.

Inercia. Consiste en una perfecta indiferencia de la materia para el reposo y para el movimiento. La materia no muestra ningun indicio de voluntad, no puede darse asi misma ni quitarse el movimiento, persevera eternamente en uno ú otro de estos estados. Los astros, que obedeciendo á la impulsión recibida en la creacion, no han experimentado cambio alguno en su marcha despues de millares de siglos, nos suministran una de las pruebas mas respetables de la inercia; asi como vemos sobre la tierra que los cuerpos no se mueven sin impulsión que les obligue á tomar movimiento; y podemos juzgar tambien que no se detienen sin que una nueva causa destruya el efecto de la primera impulsión: un ginete, cuyo caballo cae repentinamente, continúa obedeciendo al movimiento horizontal de que estaba animado; pero la pesadez le precipita bien pronto sobre la superficie de la tierra á alguna distancia por delante del punto en que cayó el caballo. Una de las causas que mas ordinariamente destruyen los efectos de la fuerza adquirida es el frotamiento de los cuerpos, y tanto mas efecto produce cuanto mayor es: una bola de marfil que se lanza en un plano pulimentado, en la mesa de un villar ó en el suelo, se detiene mas pronto sobre la superficie que le presenta mas desigualdades; y que en consecuencia aumenta mas los frotamientos. Hay, pues, para la materia dos estados diferentes, el movimiento y el reposo. Se llama movilidad aquella propiedad en virtud de la que un cuerpo puede ser tras-

portado: el reposo en los cuerpos puede ser absoluto ó relativo; el absoluto no existe en el universo, el relativo se verifica cuando un cuerpo está quieto con respecto á los circunvecinos: una bola de villar cuando está en reposo, es relativo este reposo porque participa á un mismo tiempo del movimiento rotatorio de la tierra sobre si misma, del que tiene al rededor del sol, y sin duda del que arrastra todo nuestro sistema solar en los espacios celestes.

Fuerza. Se llama así todo agente que pone los cuerpos en movimiento. Muchas veces las fuerzas nos son desconocidas en su propia naturaleza; pero juzgamos de ellas por sus efectos; obrando una sola fuerza sobre un cuerpo le pone en movimiento, y este movimiento sigue la línea recta; el curvilíneo es siempre resultante de la acción de muchas fuerzas ó de la acción continua de una sola fuerza cuya impulsión es desigual: cuando los espacios recorridos en tiempos iguales son también iguales, el movimiento empleado es uniforme; y variado ó desigual cuando el espacio recorrido en cada tiempo no es el mismo. Cuando un cuerpo está en movimiento si la fuerza de impulsión cesa repentinamente, el cuerpo continúa moviéndose rectilínea y uniformemente; un caso muy notable es el de dos cuerpos arrastrados por un movimiento común: una fuerza impresa á uno de ellos obra sobre él, como si le hallase en reposo: le pone en movimiento según la nueva impulsión, obedeciendo así al movimiento común que le animaba en el momento de esta impulsión; una bola que se lanza verticalmente se eleva continuando en seguir el movimiento rotatorio de la tierra, y vuelve á caer en el punto de donde partió: la bola de villar puesta en movimiento por el jugador nunca deja de participar del movimiento terrestre. Se mide una fuerza por su efecto, siempre proporcional á la energía de la misma fuerza; se llama velocidad el efecto producido, y se mide por el espacio recorrido en un tiempo dado, para esto sirve de unidad de tiempo el segundo, de longitud ó de espacio el

metro; recorriendo un cuerpo tres metros en un segundo, tiene la velocidad de tres metros; la tierra en el movimiento de rotacion sobre sí misma anda en Paris cerca de cinco leguas por minuto, su velocidad es de mas de trescientos metros. Una fuerza es proporcional al efecto que produce, ó á la velocidad que imprime á los cuerpos; y para medirla es preciso tener en cuenta la masa, porque una misma fuerza aplicada á masas diferentes no puede imprimirles la misma velocidad; se averigua la fuerza multiplicando la masa por la velocidad: sean las masas $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ con las velocidades 2 ms. 1^{mo} $\frac{1}{4}$ mo. las fuerzas que las han animado son $\frac{1}{2}$ multiplicado por 2^{ms}. 1- \times por 1.^{mo} 4- \times por $\frac{1}{4}$ mo ó 1; es decir que han recibido la impulsión de una fuerza igual; supongamos una masa 1 con una velocidad de 2^m. otra masa 1.^a con la velocidad de 4^m. la fuerza que anima á la primera es 1 + 2^m = 2 y la que anima á la segunda será 10 \times 4m. = 40.

Se llama movimiento ó cantidad de movimiento de un cuerpo la fuerza de que está animado, que reside en él, en virtud de la cual continua moviéndose. Desde el momento en que un cuerpo ha recibido cierta impulsión, cesando la fuerza que la ha dado continua moviéndose en razon de su inercia con una velocidad proporcionada á la impulsión; pues este efecto residente en el cuerpo constituye su cantidad de movimiento. Dos cuerpos que reciben una misma impulsión, tienen necesariamente la misma cantidad de movimiento; si su masa es igual tendrán tambien la misma velocidad; si es desigual tendrán el mismo movimiento con una velocidad diferente; si por el contrario han recibido los dos cuerpos la impulsión de dos fuerzas desiguales, tendrán un movimiento diferente; pero podrá suceder que tengan una misma velocidad. Se medirá siempre la cantidad de movimiento multiplicando la masa por la velocidad, como se hace para medir las fuerzas, y así debe ser, pues que la cantidad de movimiento de un cuerpo no es otra

cosa que el efecto producido por la fuerza, y esta se mide por sus efectos.

Examinemos ahora la accion de muchas fuerzas sobre un cuerpo.

Cuando dos fuerzas obran en un mismo sentido, sus efectos son iguales á la suma de las dos: así un hombre no puede arrastrar cierta carga, y agregando á sus fuerzas las de otro la arrastran los dos con facilidad. Cuando dos fuerzas iguales obran en sentido opuesto se destruyen mutuamente; una ahuja imanada colocada entre dos imanes de iguales fuerzas, queda en reposo aunque es solicitada por los dos. Cuando dos fuerzas desiguales obran en opuesto sentido, la mas enérgica vence, pero el efecto queda disminuido de todo el efecto contrario que hubiera producido la fuerza mas débil, por ejemplo, dos cubos de pozo pendientes á las dos estremidades de una cuerda, uno mas pesado que otro, se pone en movimiento, pero su caída es lenta, disminuida por todo el efecto que el segundo cubo hubiera producido en sentido contrario. Cuando dos fuerzas obran diferentes pero no diametralmente opuestas, el móvil toma una direccion media y una velocidad siempre menor que la suma de las dos velocidades tomadas separadamente; en este caso se puede hallar con facilidad por una construccion muy sencilla la direccion tomada por el móvil y su velocidad: representando cada fuerza por la línea que el cuerpo sometido separadamente á su impulsión recorria en un tiempo dado, se tira de la estremidad de cada línea otra paralela á la direccion de la otra fuerza, de que resulta un paralelógramo, y el movimiento y la velocidad del móvil están representados por la diagonal que comienza en el punto de partida, y termina en el ángulo opuesto del paralelógramo. Se llama á esta construccion ley del paralelógramo de las fuerzas, sea (fig. 2) *a* el cuerpo puesto en movimiento, *a b* el efecto y la direccion de una de las fuerzas, *a c* el efecto y la direccion de la otra; se construye el paralelógramo

por medio de las líneas $b d$, $c d$ paralelas á las fuerzas $a c$, $a b$, y direccion asi como la velocidad del movil quedan indicadas por la diagonal que une a con d y que se llama la resultante de las dos fuerzas. He aqui algunas aplicaciones: una pepita que se oprime entre los dedos toma la direccion media entre las dos presiones laterales, y marcha en línea recta. El pescado que golpea vivamente el agua con su cola de derecha á izquierda marcha hácia delante, siguiendo una línea recta. El ave que bate el aire con sus alas camina rectamente hácia delante, si los movimientos de las alas son iguales; si quiere dar vuelta mueve con mas fuerza una ala que otra, lo mismo que el pez cuando quiere dar á su marcha una direccion oblicua modera en cierto sentido el choque de su cola.

Si se aplican á un mismo tiempo muchas fuerzas á un punto material se puede conocer su efecto comun, tomando la resultante de dos de estas fuerzas para la construccion del paralelógramo, y conviniéndola con otra para tener una resultante nueva, que combinada con otra tercera dará una resultante tercera, &c. Dada una sola fuerza se puede fácilmente descomponer en dos por medio del paralelógramo, porque la línea que representa la direccion é intensidad de esta fuerza única puede tomarse por la diagonal de un número infinito de paralelógramos; los lados de los paralelógramos serán componentes á que se podrá sustituir la fuerza dada. Puede descomponerse asi una resultante en dos fuerzas muy diferentes; pero una vez determinada una de las componentes solo puede construirse un paralelógramo: la teoria del plano inclinado es una de las aplicaciones de este principio.

Es importante examinar, que sucede cuando se aplica un número de fuerzas, á dos ó mas puntos materiales, ligados invariablemente, como los cuerpos sólidos: deben reducirse en este caso todas las fuerzas á una resultante.

1.º Dos fuerzas paralelas obran en el mismo sentido sobre dos puntos materiales unidos entre si: su resultante es igual á la

suma de las dos fuerzas; y pasa por un punto tal de la línea que las separa, que las dos partes de esta línea se observa son reciprocamente proporcionales á la intensidad de las dos componentes.

Asi en la (fig. 3 $a b$ son dos puntos materiales, $a d$ y $b e$ las dos fuerzas paralelas; $c f$ es su resultante igual en longitud á $a b$ y $b e$, y el punto en que obra está colocado entre b y a á igual distancia; para establecer el equilibrio era preciso aplicar en c una fuerza opuesta e igual á $c f$. En la fig 4 la resultante $c f$ igual á $a d$ y $a b e$ se aplica en c mas próxima de a .

2.^o Si dos fuerzas paralelas aplicadas á dos puntos materiales unidos entre si son desiguales y sus direcciones opuestas, su resultante igual á su diferencia pasa por un punto situado mas allá de la línea que une los dos puntos materiales del lado de la mayor, y las distancias de los puntos de accion son reciprocamente proporcionales á las fuerzas.

a y b fig. 5 son dos puntos materiales unidos entre si; $a d$, y $b e$ dos fuerzas paralelas opuestas; $c f$, la resultante cuya longitud igual á la diferencia de las dos líneas á d y $b e$ está colocada al lado de la mayor, fuera del espacio comprendido entre las dos componentes. Se establecerá equilibrio oponiendo al punto c una fuerza igual y contraria á $c f$. En el caso en que dos fuerzas sean iguales y opuestas no puede haber resultante única, y se verificará el equilibrio oponiendo á estas dos fuerzas otras dos iguales, estas fuerzas paralelas y opuestas toman el nombre de pareadas.

3.^a Dos fuerzas no paralelas aplicadas á dos puntos materiales invariablemente unidos nos dan su resultante, prolongando las direcciones de las fuerzas hasta que se encuentre, y constituyendo el paralelógramo como si hubiesen sido realmente aplicadas en el punto de encuentro, y este estuviese invariablemente unido á solos dos puntos materiales: fig. (6) $a b$ son dos puntos materiales, $a d$, $b e$ dos fuerzas no paralelas; prolongando su direccion se

encuentran en o , y se obtiene la diagonal $o h$ que corta la línea $a b$ desde el punto e al que deberá ser aplicada la resultante dándole la longitud $c q$ igual $o h$. Si desde el punto c se tiran las líneas $c a$ y $c b$ perpendiculares á las direcciones de las fuerzas, se encuentran reciprocamente proporcionales á estas fuerzas, de modo que multiplicando cada fuerza por su perpendicular se obtienen productos iguales; el producto de las fuerzas por su perpendicular se llama movimiento de las fuerzas.

FUERZA CENTRÍFUGA.

Un cuerpo en movimiento debe seguir moviéndose eternamente en virtud de su inercia; la impulsión que ha recibido de una fuerza única le comunica siempre un movimiento en línea recta: la fuerza centrífuga es un caso particular muy notable de este movimiento en línea recta. Las partículas de un cuerpo que gira sobre sí mismo ó da vueltas están en movimiento, y si no fueran detenidas por su mútua adherencia escaparían todas en línea recta; tienden pues sin cesar á separarse del centro, de ahí el nombre de fuerza centrífuga aplicado a este caso particular del movimiento de los cuerpos. Si la fuerza supera la adherencia de las partículas entre sí, estas obedeciendo á la centrífuga son lanzadas en línea recta por todas direcciones; así sucede con el agua que moja las ruedas de amolar, y con el barro que se pega á las de los coches; algunos volantes de maquina se quiebran si el movimiento de rotacion llega á ser bastante fuerte para vencer la cohesion de la fundicion; las cuerdas de una honda se estienden por la fuerza centrífuga, pero la piedra no escapa hasta que el hondero soltando una de ellas la permite obedecer al movimiento de que está ani-

mada; la destreza consiste en soltar la piedra cuando la línea que va á recorrer la conduzca al objeto: por efecto de la fuerza centrífuga cuando se dan rápidas vueltas en círculo es necesario esforzarse para no ser lanzado al exterior; por su auxilio en un picadero el jinete puede inclinarse impunemente sobre el vientre.

Los efectos de la fuerza centrífuga se muestran igualmente sobre los sólidos que sobre los líquidos; cuando se ejerce esta fuerza sobre cuerpos de densidad diferente el mas pesado se separa mas. En círculos desiguales descritos en un mismo tiempo la fuerza centrífuga es proporcional á los radios del círculo; y en círculos iguales descritos en tiempos diferentes está en razon inversa del cuadrado de los tiempos.

El movimiento de rotacion de la tierra sobre sí misma anima á todas sus partes de un movimiento centrífugo, mas fuerte en el ecuador que en los polos, porque alli es mayor la velocidad. Cuando la tierra estaba aun líquida, el efecto de esta fuerza centrífuga mayor en el ecuador donde el movimiento es mas rápido contrabalanceando de una manera mas eficaz la accion de la gravedad, hizo que las partículas se hayan separado mas en el centro, y su acumulacion ha producido el entumecimiento de la tierra en el ecuador y el aplastamiento en los polos. Se representa facilmente esta accion de la fuerza centrífuga sobre la materia aun líquida de la tierra por medio del aparato figura 31, *a á*, es un anillo de acero al que se puede dar movimiento de rotacion; el anillo *á* puede resbalar libremente por el eje *t*; haciéndole dar vueltas, se aplasta de modo que toma la forma *b*; verémos despues á esta fuerza modificar el efecto de la gravedad de los cuerpos segun su mayor proximidad al ecuador ó á los polos.

MAQUINAS SIMPLES.

PALANCA.

La palanca es una barra inflexible que puede girar sobre un punto de apoyo; se distingue en ella el punto de apoyo y los dos brazos, la resistencia esto es el cuerpo que se ha de levantar y la potencia ó la fuerza que debe levantarle; supongamos una barra suspendida por su centro figura 7 dos pesos iguales harán equilibrio en sus estremidades, si cada uno de ellos teniendo una misma masa es solicitado à precipitarse por una fuerza igual: suprimiendo uno de ellos y teniendo con la mano la palanca para sostener el peso opuesto podemos formar una idea mas sencilla de lo que debe entenderse por resistencia y por potencia en una palanca; aquella es el peso que tiende á precipitarse, y esta la fuerza muscular que se opone á la precipitacion. Si en una palanca el punto de apoyo no está en el centro lo que manifiesta la desigualdad de sus dos brazos, no harán equilibrio dos pesos iguales, y este se verificará cuando la distancia de dos pesos desiguales al punto de apoyo es proporcional, y en razon inversa de su masa: supongamos el punto de apoyo situado á la cuarta parte de la longitud de la palanca figura 8 un peso de 1 Kilograma á la estremidad del brazo mas largo, hará equilibrio con un peso de tres Kilogramas colocado á la estremidad del brazo corto. En efecto, para que *a* arrastre á *b* es preciso que *b* recorra un espacio triple de *a* figura 9; pues una masa 3 y una velocidad 1 exige tanta fuerza como una masa 1 exige una velocidad 3. Se espresa esta accion de las palancas, diciendo que hay equilibrio cuando el producto de las masas por las longitudes de los brazos son iguales, ó lo que es lo mismo cuando los pesos ó las fuerzas son recíprocamente proporcionales á las longi-

tudes de los brazos de la palanca (1) en este caso aun el peso menor puede ser reemplazado por la mano, y su esfuerzo es tanto menor cuanto que obra en la estremidad del brazo de palanca mas prolongado: asi se pueden levantar masas muy considerables por medio de una palanca sin gran esfuerzo. Se distinguen tres géneros de palancas.

1.º La *palanca de primer género* tiene el punto de apoyo entre la resistencia y la potencia que están á los extremos. Tal es el pie de cabra (pied de chévre) de los arquitectos *fig. 10*, *l* es la palanca, *p* la potencia, *a* el punto de apoyo, *r* la piedra levantada. El columpio de los niños es tambien una palanca de primer género asi como la romana *fig. 11* (de pesar los cuerpos) que suspendida en *s* tendrá el punto de apoyo en *a*, el cuerpo que se quiera pesar se enganchará en *r* y se le equilibrará por medio del peso invariable *p* cuyo efecto aumenta á medida que se le separa mas hácia la estremidad del brazo grande de la palanca. Las tigas, los alicates, las tenazas son dos palancas de primer género reunidas; está situado su punto de apoyo en el clavo, la resistencia entre las dos láminas en la parte que sirve para coger los objetos y la potencia en la otra estremidad.

2.º. En la *palanca de segundo género* el punto de apoyo está en un extremo, la potencia en el otro, y la resistencia entre ambos, vease un ejemplo en el *pie de cabra* de la figura 12. ; el punto de apoyo *a* se halla en la estremidad de la palanca que toca el suelo, la potencia *p* es la mano que egerce su accion en el otro extremo la resistencia *r* es la piedra que descansa en la palanca en parte. El cuchillo de raices es tambien una palanca de segundo género, *fig. 13*, el punto de apoyo es la charnela *c*, la potencia está, en el otro extremo *p* y la resistencia bajo el cuchillo *r*; los remos del barquero están en el mismo caso, el punto de apoyo existe en el agua, la resistencia en la clavija, y la potencia en el extremo del remo.

3.º *La palanca de tercer género* tiene la potencia entre el punto de apoyo, y la resistencia es la menos favorable para la fuerza y la mas ventajosa para la velocidad, frecuentemente ocasiona el movimiento de los miembros de los animales: en el movimiento del antebrazo *p e*, *fig. 14*, *a* es el punto de apoyo colocado en el codo, el músculo *p m* es la potencia, la resistencia *r* es el peso del antebrazo. Se hallan tambien las demas palancas en el organismo animal; la cabeza colocada sobre la columna vertebral constituye una de primer genero, la mandibula forma otra de tercer genero, su punto de apoyo existe en el condilo, la resistencia está situada en la longitud (á una distancia variable) en la estremidad de la palanca si trabajan los incisivos, y mas cerca del punto de apoyo si están en accion los molares; la potencia es ejercida sobre todo por los músculos masetero y temporal colocados entre el punto de apoyo y la resistencia; la mandibula tiene poca fuerza en los dientes incisivos y muy grande entre los molares existentes casi en el mismo punto que la potencia que obra entonces con toda su intensidad; nuestras tenacillas de fumar son palancas dobles de tercer género, el punto de apoyo está en la curbatura, la resistencia en el extremo, y la potencia en la mano colocada entre ambos puntos. El torno *fig. 16*, que sirve para levantar pesos, puede ser comparado á una palanca encorbada de brazos desiguales; representemos *figura 15* el mecanismo del instrumento, *a* es el punto de apoyo, *a b* el brazo corto en cuya estremidad se halla suspendido el peso, *a c* el brazo mayor de la palanca en cuya estremidad obra la mano; y he aquí, el extremo de la barra que atraviesa el cilindro sobre el cual viene á arrollarse la cuerda. El cabrestante es un instrumento semejante, cuyo rodillo está asentado verticalmente; la cabria *figura 17*, la rueda de cantera *figura 18* están enteramente en igual caso; es siempre una potencia débil cuyo efecto es aumentado porque obra á la estremidad de un brazo largo de palanca. En el ga-

to figura 19 la barra dentada $a b$ es movida por el piñon p ; el brazo del piñon que es muy corto constituye la resistencia sobre la que obra la potencia con gran ventaja por el manubrio que tiene un brazo de palanca mas largo. La polea *fig 20* es una rueda, cuya circunferencia está ahuecada en forma de garganta, y gira libremente sobre su eje, es propiamente hablando una palanca de primer género con sus brazos iguales, y puede admitirse que la cuerda obra á la estremidad de cada uno de estos brazos, por lo que ningun aumento de fuerzas se obtiene con el empleo de la polea; pero como esta es muy movable sobre su eje el menor exceso de fuerza en favor de un lado se manifiesta al punto. Se usa ordinariamente para cambiar la direccion del movimiento, asi un caballo que no puede levantar cierta carga, la levantará, si la cuerda atada al fardo de que tira horizontalmente pasa por una polea, esta máquina llega á ser algunas veces palanca de segundo género, asi en la polea A *fig 22* la resistencia r está unida á la chapa de la polea, el punto de apoyo a es la estremidad donde la cuerda está atada, la potencia p está al otro extremo de la cuerda de donde se tira; con tal aparato solo es necesaria una mitad de fuerza para levantar el peso r , porque la mitad de la carga está sostenida por el punto fijo a : la polea b solo sirve para cambiar la direccion de la potencia; el peso b mitad menos que r le hace sin embargo equilibrio. Multiplicando este género de combinaciones, se obtienen los aparatos llamados polipastos que sirven para levantar masas muy pesadas. En la *fig 21* para la polea A la mitad del peso p está sostenida por el punto fijo f , y la estremidad d de la cuerda sufre la otra mitad; pero la polea B transporta la mitad de este esfuerzo al punto fijo f y la cuerda d solo debe sufrir la cuarta parte de la fuerza que seria necesaria estando sola para hacer equilibrio á p , y así de las demás. Cada polea disminuye, pues, en una mitad el esfuerzo necesario, y este á medida que se multiplica el número de poleas decrece en la rela-

cion siguiente: $1\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ &c: el polipasto construido así no seria cómodo para el uso, y se le sustituye con el de la fig. 23 que solo exige un punto fijo y ocupa poco lugar, todas las poleas que se tienen en punto fijo solo sirven para volver las cuerdas; las inferiores constituyen el polipasto. Si un peso es sostenido en el centro de una barra, fig. 24, dos fuerzas que le sostienen en las extremidades de esta barra sufren igual cantidad; mas si el peso está mas próximo á una estremidad que á otra es necesario un esfuerzo mayor para sostener el extremo mas próximo: en este caso las fuerzas que sostienen el peso están en razon inversa de la longitud del brazo de la palanca por el cual obran, fig. 25. Si el peso está suspendido, la inclinacion de la palanca en nada cambia las condiciones del equilibrio; pero si el peso está fijo en la parte superior de la barra fig. 26, la carga es mas fuerte en la parte inferior. Si lo está en la inferior la carga, es mas fuerte en lo alto fig. 27, como es fácil convencerse á la sola inspeccion de las figuras. Las observaciones precedentes tienen fácil aplicacion cuando una carga está suspendida ó unida á una barra, cuando el transporte tiene lugar sobre un suelo horizontal, ó cuando se verifica en un suelo inclinado.

GRAVITACION.

Abandonados los cuerpos á sí mismos, á cierta distancia de la superficie de la tierra, caen hasta encontrar un obstáculo que se oponga á su caída, y este efecto resultante de la atraccion que ejerce la tierra sobre los cuerpos, no es otra cosa que un caso particular de la atraccion universal, al que damos el nombre especial de gravedad ó pesadez; se ejerce por cada partícula de las que componen la tierra, pero se la puede considerar como una sola

fuerza reunida en el centro mismo del globo terrestre, y todos los efectos son atraídos hacia este centro.

La gravitacion ó gravedad es una fuerza poco enérgica: un débil obstáculo basta para oponerse á sus efectos; se ejerce su accion independientemente de la justa posicion de otros cuerpos. Si estos son atraídos por la tierra, tambien la atraen y la hacen mudar de lugar para venir á su encuentro; pero el volumen de aquellos es tan pequeño, comparado con la enorme masa de esta, que son inapreciables los efectos de semejante atraccion. Un cuerpo que cae, sigue una línea recta, determinada por la pesadez, cuya accion está concentrada en el centro de la tierra; (*) sabemos por otra parte, que cualquier cuerpo sometido á la accion de una sola fuerza toma siempre el movimiento rectilíneo, de donde debe concluirse que la línea seguida por el que cae indica la direccion segun la cual obra la gravedad, y que esta línea continuada iria á pasar al centro de la tierra, toma por esta direccion el nombre de línea vertical, diferente necesariamente en dos sitios distintos *fig 50*. Todas las verticales forman entre sí ángulos mas ó menos agudos, aunque si comparamos las líneas seguidas por dos cuerpos que caen á cierta distancia uno de otro, nos parecen exactamente paralelas, pero esto consiste en que la estension que nos es posible observar en un mismo momento es tan poca cosa comparada con el diámetro de la tierra, que la separacion real entre las dos verticales observadas es enteramente inapreciable para nosotros. La línea que sigue un cuerpo al caer en cualquiera punto de la superficie del globo es la vertical de este punto; se la obtiene siempre sin dificultad por medio de un instrumento sencillo que lleva el nombre de plomada

(*) Aun no se ha estudiado acaso con la debida atencion la accion de los cuerpos celestes sobre las materias que caen de cierta altura á la superficie de nuestro globo; pero los movimientos de flujo y reflujo en el mar y otras causas inducen á sospechar que en ciertos casos puede influir mas ó menos la atraccion de los planetas remotos en la desviacion de la vertical.

ó hilo de plomo *fig. 28*. Se compone de un cuerpo pesado suspendido en un hilo; la gravedad tiende á precipitar á este cuerpo oponiéndose á ello el hilo suspensor; la plomada queda en reposo cuando la direccion de la pesadez p y la del hilo f se hallan enteramente opuestas; la direccion del hilo manifiesta entonces la vertical. En cualquiera otra posicion no hay equilibrio, porque la pesadez y la plomada no están directamente opuestas; esta plomada se pone en movimiento hasta satisfacer la condicion del equilibrio. Todos los dias se usa la plomada para asegurarse de la posicion vertical de los edificios sirve aun para reconocer si una superficie es perfectamente horizontal: supongamos un triángulo tt *fig. 29*, cuya barra trasversal $b b$ es perpendicular á la vertical: cuando el triángulo posa sobre un plano horizontal, la plomada pasa exactamente por el centro de esta barra; pero si se coloca el instrumento sobre un plano inclinado, la plomada cae á uno ú otro lado del centro de la barra manifestando asi que el plano sobre que posa el triángulo está inclinado al horizonte.

Los cuerpos caen todos con la misma velocidad; la accion de la pesadez se ejerce en efecto no sobre las masas sino sobre las partículas pesadas: en una gran masa hay mas partículas atraídas, pero cada una de ellas lo es igualmente, y queda la misma la velocidad comun. Galileo que descubrió esta ley, la ha demostrado dejando caer de la torre de Pisa bolas de oro, de plomo, de porfido y de cera, esta última mas ligera fué la única que se atrasó en la caída; mas reconoció Galileo que este atraso no era proporcional á los pesos de las bolas. La resistencia del aire es la causa que retarda la caída de los cuerpos ligeros; se prueba facilmente dejando caer diferentes cuerpos en un largo tubo de vidrio dispuesto de modo que se pueda á voluntad hacer en él el vacío: dando vuelta repentinamente á este tubo, los cuerpos mas ligeros caen mas lentamente, y repetida la experiencia despues de hecho el vacío en el tubo, los pesados y ligeros caen con la misma

velocidad. El martillo de agua es otro ejemplo del mismo orden; se reduce á un tubo de vidrio con cierta cantidad de agua que ha sido encerrada mientras se hallaba en plena ebulicion y despues de haber desalojado el aire del aparato. Si repentinamente se da vuelta á este tubo el agua cae formando una sola masa y produce un ruido seco en el momento del choque. La resistencia que opone el aire á la caida de los cuerpos es proporcional á la estension de estos: una bola de corcho y otra de plomo de igual grosor principian á caer á un mismo tiempo, el efecto del aire será proporcional á la estension de sus superficies, y como la cantidad de movimiento de las dos bolas es muy diferente, la velocidad de la bola de plomo, que tiene mas movimiento, será menos disminuida que la velocidad de la de corcho haciendo perder el aire á cada instante á cada una de las bolas una cantidad de movimiento semejante. Por lo que precede se explica por que una bala de fusil llega á mayor distancia que el perdigon; por que el granizo que cae de las regiones elevadas de la admosfera solo tiene una mediana velocidad cuando llega á la superficie del globo; cómo se debe temer poco una jarra de agua arrojada por la ventana, siendo asi; que un trozo de yelo del mismo peso seria ciertamente funesto; cómo el aereonauta por medio de el paracaidas, que presenta una gran superficie puede moderar la rapidez de su descenso. Los cuerpos caen con velocidad acelerada. Cualquiera sabe que es fácil seguir con la vista á un cuerpo que cae de corta altura; pero si su punto de partida está muy elevado es tan grande su velocidad cuando pasa delante de nosotros que llega á sernos imposible distinguir su forma; esta velocidad acelerada es la causa por que una caida desde lo alto es siempre mas grave.

La aceleracion en la caida de los cuerpos proviene de que la gravedad es una fuerza que obra sin cesar; á cada instante añade nueva impulsión á la recibida ya por el cuerpo. Resulta de la accion incesante de la gravedad y del movimiento adquirido por las

impulsiones precedentes, movimiento de que son incapaces de despojarse los cuerpos atendiendo á su inercia. Las leyes que presiden á la caída de los cuerpos son las siguientes:

El espacio recorrido por un cuerpo que cae es proporcional al cuadrado del tiempo transcurrido desde el momento de su partida.

Las velocidades crecen con proporción de los tiempos. El espacio recorrido por un cuerpo que cae á la superficie de la tierra, en el primer segundo de su caída es de 4,90 44 metros, casi exactamente 5 metros; la velocidad adquirida por segundo es de 9,80 88 metros.

<u>Tiempo</u> <u>transcurrido.</u>	<u>Espacio</u> <u>recorrido.</u>	<u>Espac. total.</u>	<u>Veloc. despues</u> <u>de cada 2^o</u>
1 segundo.	1.	1.	2.
2.	3.	4.	4.
3.	5.	9.	6.
4.	7.	16.	8.
5.	9.	25.	10.
6.	11.	36.	12.
1.	5 metros.	5 metros.	10 metros.
2.	15.	20.	20.
3.	25.	45.	30.
4.	35.	80.	40.
5.	45.	125.	50.
6.	55.	180.	60.

Conocida esta ley, se puede usar para reconocer con suficiente exactitud en un gran número de casos para la elevación de un punto, ó la profundidad de una sima; basta para esto determinar el número de segundos que tardará un cuerpo en llegar á la base del uno ó al fondo de la otra. Sean cuatro segundos el espacio recorrido, será de 80 metros, si son seis segundos, 180 metros. El instrumento por medio del que se verifica la ley de la caída de los cuerpos se llama máquina de Atwood: reducida á su mayor

sencillez, se compone de un sistema de poleas muy movibles fijas á lo alto de un sostenedor, vease la fig. 32; un hilo fino pasado por el canal de una polea resiste en cada una de sus estremidades el peso bastante considerable a b . Los dos pesos son iguales; la gravedad ejerce sobre cada uno de ellos igual accion; como solo puede marchar en sentido inverso se equilibran, y por este hecho puede considerarse la accion de la gravedad sobre ellos como nula: pero colóquese sobre uno de estos puntos una pequeña masa adicional, y los dos pesos se pondrán en movimiento con una velocidad bastante pequeña para que se pueda facilmente observar; sea cada uno de los pesos 49,5 gramas, una grama el de la masa adicional, la gravedad obra sobre esta pequeña masa de la manera ordinaria, y la precipitaria si estuviera sola con la velocidad acostumbrada; pero no puede ponerse en movimiento esta masa sin arrastrar consigo los dos pesos que contienen noventa y nueve veces mas materia pesada. Hallandose tambien dividida la cantidad de movimiento de la pequeña masa, llega á ser cien veces mas débil para cada unidad de materia; la velocidad es disminuida en la misma proporcion, y puede ser entonces facilmente observada. Si se quiere hacer uso de la máquina de Atwood, se levanta el peso a hasta la polea, se le sobrecarga con la masa adicional, y observando con cuidado el momento en que da principio su caida, se determina el espacio recorrido en cierto número de segundos; se obtiene esto facilmente por medio del plano movable p que se levanta y se baja á voluntad: un reloj marca exactamente el tiempo en esta máquina; una báscula sobre la cual posa el peso superior se desprende por sí misma, y fija exactamente el instante en que empieza la caida: supongamos que cada uno de los pesos es de 24 gramas, los dos tendrán 48, y si la masa adicional pesa una grama, la totalidad de la materia será de 49 gramas; obrando la gravedad sobre la masa adicional solamente ó sobre una grama, la haria caer 49 decímetros en un segundo; pero

dividiéndose su efecto entre 49 veces mas de materia pesada, la velocidad llega á ser otras tantas veces menor, y el cuerpo solo corre un decímetro en el primer segundo, tres en el segundo, cinco en el tercero &c. Con la maquina de Atwood se puede verificar la ley siguiente: interrumpida la accion de la gravedad, continuan moviendose los cuerpos con movimiento uniforme, y con tal velocidad, que en un tiempo igual al transcurrido desde su caída recorren un espacio doble. Para hacer la experiencia se coloca delante del plano que recibe la masa pesada una especie de anillo o que debe atravesar esta masa, y se da una forma prolongada *m* al peso adicional, de modo que no pueda atravesar el anillo en donde queda cesando de obrar en este momento la gravedad, y sin embargo las dos masas continuarán moviéndose por el solo efecto de la velocidad adquirida. Colocado el anillo, por ejemplo, en el punto á que llegan las masas despues del segundo segundo, y en donde han recorrido el espacio de 4 decímetros, y depositado su peso adicional, corren luego en dos segundos el espacio de 8 decímetros. (2)

Al mismo tiempo que los cuerpos quedan sometidos á la accion de la gravedad si reciben la impulsión de alguna nueva fuerza activa, se combinan los efectos de las dos; por ejemplo:

1.º Si una fuerza obra en el mismo sentido que la gravedad, el efecto de esta última se aumenta con el de aquella, tal seria el caso de una bala despedida con fuerza de alto abajo. (3)

2.º Si una fuerza obra en sentido inverso de la gravedad como un golpe de baqueta que lanza una pelota á lo alto en direccion vertical, la pelota obedece á la impulsión, pero obrando la gravedad sin cesar destruye poco á poco la velocidad adquirida; la pelota tarda en descender precisamente tanto tiempo como ha empleado en subir. (4)

3.º Si una fuerza lanza un cuerpo en direccion horizontal, ó perpendicular á la vertical obedece el cuerpo á un mismo tiempo á la impulsión horizontal que ha recibido y á la gravedad que le

solicita hácia el centro de la tierra, y describe una curva, cuya forma depende de la intensidad de la impulsión horizontal: sea de 100 metros esta velocidad horizontal, el cuerpo los recorrerá en el primer segundo; pero caerá al mismo tiempo 5 metros, efecto ordinario de la gravedad; en el segundo segundo tendrá aun su velocidad horizontal de 100 metros, cayendo 15 metros efecto de la gravedad.

Un cuerpo cae del mástil de un navio que navega á toda vela y llega al pie del mástil, no á la mar, porque al mismo tiempo que obedece á la gravedad, continúa moviéndose según la dirección horizontal adquirida en el momento que se ha desprendido.

4.º Si un cuerpo es lanzado oblicuamente, describe una doble curva; se puede reconocer fácilmente despidiendo una piedra ó produciendo un chorro de agua oblicuo: aun aqui se emplea el mismo tiempo para la ascension que para la caída.

El plano inclinado nos ofrece un ejemplo interesante de la acción de la gravedad: si se quiere levantar un cuerpo, se conseguirá con menos fuerza si en vez de tirar de él en sentido directamente opuesto á la gravedad, se le arrastra sobre un plano inclinado que le haga ascender poco á poco al punto deseado, y la fuerza necesaria para sustraerle á la acción de la gravedad será tanto mas débil, cuanto menos rápida sea la inclinación del plano.

Cuando se quiere levantar un cuerpo obrando sobre él en sentido diametralmente opuesto á la gravedad, es de absoluta necesidad recurrir á una fuerza mas enérgica que la de esta; pero el esfuerzo disminuye usando del plano inclinado: sea el cuerpo *a* colocado sobre un plano inclinado *fig. 33 y 34*, podemos representar la acción de la gravedad por la línea *a b*, y lo mismo que cuando dos fuerzas obran al mismo tiempo sobre un cuerpo se pueden transformar en una sola por medio del paralelogramo, puede cambiarse una fuerza en otras dos: descompongamos pues la gravedad representada por la línea *a b*, tendremos de una

parte la fuerza $a b$ perpendicular á la superficie del plano inclinado, y de otra parte la $a c$ paralela á este plano: la primera es evidentemente destruida por la resistencia del plano; solo queda la segunda á la que es preciso hacer equilibrio para impedir la caída del cuerpo. Estableciendo la misma construcción sobre cualquier plano mas ó menos inclinado, vemos que la línea representada por la única fuerza activa es mas larga, y que por consiguiente exige mayor fuerza para estar en equilibrio, á medida que la inclinación del plano es mas pronunciada. Lo que se gana en fuerza empleando el plano inclinado, se pierde en velocidad, y el espacio que se ha de recorrer es tanto mayor cuanto menor es la fuerza necesaria y mas largo el plano inclinado. Cuando un cuerpo cae sobre un plano inclinado, su velocidad adquirida es la misma que si descendiera de igual altura verticalmente. Todas las cuerdas de un círculo consideradas como planos inclinados son recorridas al mismo tiempo, de modo que dos bolas, *fig. 36*, cayendo aun mismo tiempo, una segun $a b$, otra segun $c b$ ó $d b$ llegarían á un mismo tiempo al punto b . Cierta curva conocida de los geómetras con el nombre de cycloide, *fig. 37*, tiene la propiedad singular de dar el camino mas corto, de modo que una bola que la recorra tarda menos tiempo en llegar de a á b que si pasase el espacio que separa $a b$, siguiendo un arco de círculo y sobre todo un plano inclinado; otra propiedad de la cycloide es que un cuerpo tarda un mismo tiempo en llegar á b , ya parta de a ó de \acute{a} ó de \grave{a} . Cuando se usa del plano inclinado para levantar cierto peso á fin de no prolongar la inclinación, se hace girar el plano al rededor de un eje vertical, tal es precisamente la construcción de la rosca, puede formarse una idea de esta por los caminos que nos conducen á la cima de una montaña dando vueltas en su al rededor, ó por la escalera en caracol que sube á la cima de una torre; la rosca *fig. 35* que entra en la construcción de las máquinas es un cilindro en el cual se ha cia-

celado un hélice regular de tal modo que deja entre cada vuelta de la espiral su prominencia correspondiente. Se le introduce en una pieza hueca *c* llamada matriz y trabajada como la rosca con los hélices correspondientes huecos alternados con los de esta. Supongamos la rosca fija puesta verticalmente, y que se maneje por hácia abajo, la matriz adoptada descenderia el plano inclinado que se le presentase, si el rozamiento no se opusiera; lo mismo sucederia si la rosca fuese movable y la matriz fija.

Si se opone á la marcha de esta matriz un obstáculo cualquiera, ofrece este cierta resistencia que se llega á vencer obrando sobre la misma matriz por medio de un brazo de palanca *b*. Puede representarse la resistencia como la de un peso que se halla disminuido solo por elevarse sobre un camino inclinado, la accion de la palanca se halla aumentada con ella; pero se pierde en velocidad lo que se gana en fuerza. La matriz abandonada á sí misma tiende á desender de nuevo, se lo impide el rozamiento, y como este crece á medida que la rosca está mas ajustada, la matriz queda en su lugar, y así llega á ser el rozamiento la causa de una de las mayores ventajas que ofrece el empleo de la rosca.

DEL PÉNDULO.

Se llama péndulo á un cuerpo pesado prendido de un hilo ó de una vara rígida, y libremente suspendido de un punto fijo. Cuando el péndulo es vertical *fig.* 38, en *a b* la gravedad tiende á precipitarle; pero obrando el hilo en sentido inverso, anula esta accion, y queda en reposo. Si el péndulo se aleja de la vertical hasta *a b* la direccion de la gravedad y del hilo no están diame-

tralmente opuestas, y cae siguiendo una direccion media, que está determinada por el hilo sostenedor del cuerpo pesado: la velocidad es acelerada porque á cada instante renueva su accion la gravedad: llegando el péndulo hasta *a b* cesa esta accion, y solo continúa moviéndose en razon de su velocidad adquirida; mas apenas abandona la vertical, vuelve á obrar la gravedad, y destruye poco á poco el movimiento; el péndulo detenido en su curso en *b* cae en sentido inverso; los mismos efectos se reproducen, y así se establece un movimiento de oscilacion que tiene su principio en la accion de la gravedad, y que duraria eternamente si los rozamientos en el punto de suspension y la resistencia del aire no le destruyesen poco á poco.

Se llama oscilacion al movimiento del péndulo de un extremo de su curso al otro; desvio al ángulo que forma alejándose de la vertical; y amplitud al arco descrito por el péndulo espresado en grados del círculo; la duracion de las oscilaciones cuando son pequeñas queda la misma, aunque su amplitud vaya siempre en disminucion. El peso del péndulo no tiene influencia sobre la duracion de las oscilaciones, pues que todos los cuerpos caen con la misma velocidad; (5) depende aquella duracion de la longitud del péndulo, lo que puede conocerse facilmente haciendo oscilar á un tiempo dos péndulos de longitud desigual; el mas largo tendrá las oscilaciones mas lentas, y sus duraciones serán entre sí como las raices cuadradas de las longitudes del péndulo; supongamos dos péndulos cuyas longitudes sean entre sí 1, 4, 9, las duraciones de sus oscilaciones serán como 1, 2, 3.

El péndulo da el medio de medir la gravedad, siendo mas rápidas las oscilaciones (con péndulos iguales,) si la accion de esta fuerza aumenta, mas lentas si disminuye; en el equador, por ejemplo, donde la superficie de la tierra está á mayor distancia del centro obra la gravedad mas débilmente, y el péndulo oscila con mas lentitud que en los polos donde la tierra es aplanada, y la

distancia de su superficie al centro menor, y por lo mismo oscilamas de prisa; en el intervalo dependen las oscilaciones de la distancia mayor ó menor á que se halla del polo ó del equador; en París el péndulo de segundos ó que da una oscilacion por segundo tiene 0,9938267 metros de longitud.

El péndulo mas sencillo que podemos construir se compone de partes pesadas situadas a alturas diferentes, y que por esta razon tienen muy distintas velocidades de oscilacion; pero como están unidas entre sí, hacen sus oscilaciones con una velocidad comun, retardando unas y acelerando otras su movimiento. La longitud del péndulo simple correspondiente al compuesto es siempre intermediaria, está representada en el péndulo compuesto por un punto que toma el nombre de centro de oscilacion, situado bajo el centro de gravedad del péndulo.

El mejor péndulo y el mas sencillo de que se puede hacer uso, se compondrá de una bola de platino muy pesada suspendida á un hilo, es el que mas se aproxima al péndulo matemático. Para los relojes el péndulo *fig. 39* se compone de una lenteja pesada *l* suspendida de una virola que estriba por un cuchillo de acero en otro cuchillo tambien de acero pulimentado. La lenteja por su forma y peso hiende el aire con mas facilidad, y experimenta menos obstáculo á su movimiento. Se arma á este péndulo de una áncora de escape *a a* que engrana en los dientes de una rueda puesta en movimiento por el resorte del reloj. Cuando el péndulo está vertical, los dientes de la áncora entran en los de la rueda por cada lado, y todo el mecanismo se detiene; cuando se separa á derecha ó izquierda, el movimiento comienza de nuevo; el sacudimiento producido cada vez que el contacto se renueva da al péndulo la porcion de velocidad perdida por el rozamiento y resistencia del aire.

En París el péndulo de 0,9938267 metros de longitud da una oscilacion por segundo, y el mecanismo de reloj se arregla en

consecuencia de esto; en los relojes de las habitaciones se dá al péndulo menos longitud; pero se compensa su mayor velocidad por la disposicion de las ruedas; cuando tratemos de la dilatacion que produce el calor en los cuerpos se verá el modo de compensar los cambios que las variaciones de temperatura producen en la longitud del péndulo, y por consiguiente en la marcha regular de los relojes.

EQUILIBRIO DE LOS SOLIDOS.

El estado de equilibrio de un sólido consiste en el reposo apesar de la accion de la gravedad. Para estudiar las condiciones de este equilibrio, es necesario formarse una justa idea de lo que se entiende por centro de gravedad.

El centro de gravedad de un cuerpo es un punto simétricamente central, sobre el que puede admitirse que es ejercida toda la accion de la gravedad. Se supone teóricamente (ley de accion de las fuerzas paralelas pág. 12) que esta accion teniendo lugar sobre todas las moléculas pesadas, se halla concentrada en un solo punto, y tiene una energia representada por todas las acciones particulares ejercidas sobre las moléculas aisladas: segun esta definicion del centro de gravedad, se representa facilmente el lugar que debe ocupar en un cuerpo regular, como una esfera, un cubo, un cilindro; hay tambien un medio fácil, como despues se verá, para hallar su lugar en los cuerpos de todas formas, en una esfera hueca, en un anillo el centro de gravedad ocupa el centro mismo de la esfera ó del anillo; lo que acaba de demostrar que la idea unida al centro de gravedad es una abstraccion, pero muy cómoda, como teoria para la explicacion de los hechos.

Una ley sola resume las condiciones de equilibrio de los cuerpos sólidos: un sólido está en equilibrio cuando su centro de gravedad se halla sostenido; deben distinguirse sin embargo dos casos particulares, cuando el cuerpo está apoyado y cuando está suspendido. El equilibrio de un sólido apoyado tiene lugar cuando la vertical que pasa por el centro de gravedad viene á parar á la base sobre que posa el cuerpo. Asi un ladrillo *b* está en equilibrio cuando la vertical *v* que pasa por el centro de gravedad *c* viene á parar sobre el obstáculo *o*. Si el ladrillo estuviese mas inclinado á la parte exterior como en *b* fig. 41 la vertical *v* no vendria á parar sobre *o* y el ladrillo caería. Un palo puede ser tenido en equilibrio sobre el dedo, si la vertical que pasa por el centro de gravedad viene á pasar tambien por el extremo del palo, lo que puede conseguirse por medio de movimientos ejecutados en diversos sentidos.

El equilibrio de un sólido es indiferente, estable ó instable: 1.º indiferente, cuando la altura del centro de gravedad no sufre alteracion aunque tome el sólido cualquiera posicion, una esfera, por ejemplo: 2.º estable, cuando dicho centro es el mas bajo posible; y si se le separa de esta posicion vuelve á tomarla despues de muchas oscilaciones fig. 42: 3.º instable, cuando el mismo centro está lo mas alto posible, fig. 43, y si se le separa de esta posicion aunque poco, la gravedad que tiende á precipitarle hace dar al cuerpo una vuelta completa; como sucede con un huebo que se intenta colocar verticalmente sobre su extremo mas agudo.

2.º El equilibrio de un sólido suspendido tiene lugar cuando la misma vertical pasa por el punto de suspension y el centro de gravedad, como se puede ver en las fig. 44 y 45, en donde la vertical partiendo del punto de suspension *s* y pasando por el centro de gravedad *c* esta indicada por medio de puntos; aqui tambien se distingue el equilibrio 1.º indiferente, cuando el centro de gravedad y el punto de suspension están situados en el mismo

punto *c* s fig. 46, puede servir de ejemplo una polea que gira sobre su eje fijo; 2.^o estable, cuando el centro de gravedad *c* está mas bajo que el punto de suspension *s* fig. 47; si el cuerpo sólido es movido vuelve á su estado de equilibrio despues de algunas oscilaciones; y 3.^o inestable, cuando el centro de gravedad *c* está sobre el punto de suspension *S* fig. 48. Por poco que se destruya el equilibrio, el centro de gravedad deja de estar en la misma vertical que el punto de suspension, y la gravedad le hace descender lo mas bajo posible.

En la ley del equilibrio de los cuerpos suspendidos se halla un medio de reconocer la posicion del centro de gravedad, por mas irregular que sea la forma de un cuerpo. Cuando se le suspende por medio de un hilo y está en reposo, el centro de gravedad estará necesariamente en la vertical que pasa por el punto de suspension; si se le suspende de nuevo por otro punto se cumplirá la misma condicion; y como el centro de gravedad se ha de encontrar en algun punto de una y otra vertical, y estas solo se cruzan en un punto, sobre este punto estará situado el centro de gravedad. Todos los dias experimentamos en nosotros mismos las condiciones del equilibrio ó reposo de los cuerpos sólidos: en el hombre el equilibrio tiene lugar cuando el centro de gravedad situado hácia la mitad de la parte inferior del bacinete está en la vertical que pasa al espacio ocupado por los pies; colocados los pies talon contra talon en una misma línea, el hombre puede inclinarse á derecha ó izquierda, pero no hácia adelante ni hácia atrás; y si se colocan punta con punta, no pueden ejecutarse movimientos hácia los lados. Un hombre que conduce acuestas una carga pesada, se inclina hácia adelante para traer á su posicion el centro de gravedad que la carga había arrastrado atrás; y si la carga es conducida en los brazos delante del cuerpo, este necesita inclinarse hácia atrás. Un bailarín de cuerda debe mantener su posicion, de modo que el centro de gravedad pase siem-

pre por la cuerda al punto en que posa el pie; si es poco esperto, le sirve de auxilio el balancin; si es hábil, mantiene el equilibrio llevando convenientemente los brazos y el cuerpo á un lado y á otro. El hombre sentado descansa sólidamente, porque la base de sustentacion es muy ancha, y el centro de gravedad está muy cerca de esta base; cuando quiere levantarse, es obligado á llevar el cuerpo hacia adelante para desalojar el centro de gravedad, y conducirlo á pasar por la planta de los pies.

BALANZA.

El instrumento que sirve para determinar el peso de los cuerpos se llama balanza. La mas ordinaria se compone de una barra inflexible libremente suspendida, y que lleva por medio de cordones ó barritas en sus estremidades platillos destinados á recibir los pesos y los cuerpos que se quiere pesar. La barra que sostiene los platillos se llama fiel, debe ser fuerte para no doblarse con los pesos que se cargan en sus estremidades, está libremente sostenida por su centro, de modo que se pone en movimiento al punto que una de sus estremidades sufre un peso mas considerable que la otra. La línea segun la cual está suspendido el fiel se llama el eje de suspension, y los dos lados del fiel fuera de esta línea son los brazos del fiel.

Cuando las dos estremidades de la palanca están igualmente cargadas, la gravedad que tiende á precipitar los cuerpos, obra con la misma energía sobre cada uno de los lados de la balanza, y el fiel solicitado de una manera igual en sus dos estremidades, queda en equilibrio; pero si hay un peso mayor en uno de los platillos de la balanza, entonces se ejerce de este lado la accion de la gravedad sobre mayor masa, y la balanza cae hácia él mismo.

Pesar un cuerpo, es determinar la cantidad de un peso (6)

conocido necesario para hacerle equilibrio, é impedirle que se precipite; este equilibrio tiene lugar cuando la suma de las partes materiales es la misma en ambos lados, y por consiguiente cuando la accion de la gravedad se ejerce igualmente en una que en otra estremidad del fiel.

El fiel de la balanza es una verdadera palanca de primer género de brazos iguales, debe tener las condiciones siguientes:

1.^o El centro de gravedad debe estar colocado bajo el punto de suspension *fig. 47*; entonces el fiel desequilibrado que sea, oscila á derecha é izquierda hasta conseguir equilibrarse. Si el punto de suspension y el centro de gravedad están en el mismo sitio *fig. 46*, este centro está siempre sostenido, y el fiel queda en reposo en todas las posiciones; si el centro de gravedad está sobre el punto de suspension *fig. 48*, al menor desvio no es sostenido ya el centro de gravedad, y la accion del peso le obliga á caer hasta la parte inferior; entonces la balanza se dice que es loca, porque basta un peso pequeño para hacerla caer, como si hubiese sido muy cargada, y si el centro de gravedad estuviese situado muy abajo, la balanza será perezosa.

2.^o Los brazos de la palanca deben tener la misma longitud, de otro modo no harian equilibrio dos pesos iguales: con un fiel de brazos desiguales se construyen las balanzas falsas; quedan en equilibrio cuando no están cargadas, porque se procura compensar con un exceso de masa lo que falta en longitud al brazo mas corto. Si se ponen en este lado los pesos, y en el otro las sustancias que se quieren comprar, obrando estas en el extremo del brazo de palanca mas largo pueden equilibrar con menos masa á pesos mayores del brazo corto; se distinguen estas balanzas falsas cambiando despues de establecido el equilibrio los pesos y las mercaderias recíprocamente. La igualdad de longitud en los brazos, es una condicion casi imposible de realizar de un modo absoluto; daremos un medio supletorio.

3.^o Una balanza es tanto mas sensible, quanto mas largo, tenga los brazos del fiel; pero deben ser aan mismo tiempo bastante resistentes para no doblarse con la carga que hayan de sufrir: las formas *fig* 49 que dan solidez con poca masa, son muy ventajosas bajo este aspecto.

En una buena balanza, el punto de suspension de los platillos debe estar en la misma línea que el del fiel: se llena perfectamente esta condicion en la construccion del fiel debido á *Ganh* *fig* 50, el cual es plano segun la línea *a b*; el cuchillo de suspension *s* es contenido en la pieza móvil *p* que se afianza por medio de tornillos; el córte está exactamente en la misma línea que *a b*, y por consecuencia tambien el punto de suspension. El fiel está escotado en *a* y *b*, y la materia sustraída es remplazada por dos cuchillos de acero, cuyo córte está en la misma línea que *a b*.

Con un fiel semejante, sube un poco el centro de gravedad quando se cargan los platillos de la balanza; pero nunca puede pasar el punto de suspension: en efecto, todos los pesos puestos en los platillos obran como si estuviesen concentrados en los puntos de suspension *a b* de estos platillos, y no puede por consiguiente hacer subir el centro de gravedad sobre la línea *a b*; pero debajo se halla la masa pesada que constituye el fiel, y esta hace bajar necesariamente el centro de gravedad de la línea indicada, es decir, del punto de suspension.

Si los platillos están suspendidos bajo el punto en que lo está el fiel, la carga puesta en ellos hace descender mas y mas el centro de gravedad, y la balanza llega á ser perezosa; si están suspendidos mas arriba, el centro de gravedad sube llega al punto de suspension del fiel, y la balanza es indifferente, ó le pasa y llega á ser loca. Para conservar siempre en el mismo lugar el punto de suspension de los platillos, se dá la forma de cuchillo á la parte que debe apoyar sobre el cuchillo de la estremidad del fiel.

En las balanzas delicadas se coloca el cuchillo del fiel sobre un plano de acero, ó de agata que no pueda ser encentado, y para economizar el córte es preciso separar el fiel mientras la balanza no esté en uso. Muchas veces se añade al fiel una aguja larga que hace muy sensibles los movimientos mas ligeros. Se puede decir que es imposible construir una balanza que llene todas las condiciones de exactitud, sobre todo la de igualdad de los brazos de fiel; se consigue, sinembargo, obtener pesos exactos con una balanza inexacta; pero que tenga sensibilidad: para esto se emplea el método de sustitucion, ó de peso doble debido á Borda. Se pone el cuerpo que se quiere pesar en uno de los platillos, y se establece el equilibrio añadiendo en el otro una masa cualquiera; hecho esto, se quita el cuerpo y se le remplaza con pesas; solo se establecerá el equilibrio cuando obren precisamente como el cuerpo á que han remplazado, y por consecuencia dan á conocer el peso de éste con grande exactitud.

EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS.

HIDROSTÁTICA.

La hidrostática es la parte de la física que trata del equilibrio de los líquidos: la poca adherencia que las partículas de estos cuerpos tienen entre sí lleva consigo particularidades importantes en la accion de su gravedad.

Abandonado un líquido a sí mismo, se dispone de tal modo, que todas sus partes están lo mas posible próximas al centro de la tierra: resulta de aquí que la masa enorme de agua que ocupa

las cuatro quintas partes de la superficie del globo terrestre forma una vasta superficie encorbada *fig. 51*, mostrando así de una manera mas regular la forma redonda que pertenece á la tierra.

La curba inmensa que forma la superficie del agua se reduce realmente á tan poca cosa para las masas á que pueden referirse nuestras observaciones alguna vez, que somos conducidos en la práctica á admitir un principio opuesto: la superficie de un líquido es perfectamente horizontal, lo que quiere decir que podemos despreciar su muy pequeña curba. Todo líquido obedece incesantemente á esta ley; por ella corre el agua sin cesar sobre un terreno inclinado, hasta que cualquier obstáculo la detiene y le permite tomar igual nivel en todos los puntos de la superficie.

Colocado un líquido en muchos vasos que comuniquen entre sí, tendrá un mismo nivel en todos, sin que lo impida la forma de estos vasos. El vaso muy ancho *» fig. 52* comunica con los tubos *b c* ó *d* de grandor, de forma ó de disposicion diferentes; y establecida la comunicacion, llega el agua á la misma altura en cada uno de ellos. Todos los dias vemos ejemplos y aplicaciones de esta propiedad de los líquidos. Si se quiere conducir agua de un punto á otro, se consigue siempre que el punto á donde haya de llegar no esté mas alto que aquel de donde viene, cualquiera que sea por otra parte la forma ó los contornos de los conductos; tambien vemos conductos de agua elevarse ó bajarse para seguir las pendientes del terreno, y el agua los corre sin embargo en toda su estension.

Cuando muchos líquidos están reunidos en un vaso se sobreponen en razon de su densidad. Los antiguos físicos ponian en una redomita mercurio, una solucion saturada de potasa, alcohol colorado y aceite de petroleo; los líquidos se sobreponian en este orden: el mercurio ocupaba el fondo, y el aceite la superficie, el aire formaba aun en esta una capa mas de fluido ligero: la diferencia de peso de la materia grasa butirosa determina su separacion lenta de la leche, y su ascension á la superficie en una capa

mezclada con leche que constituye la crema ; en razon tambien de su densidad diferente vertiendo con precaucion vino sobre el agua , se pueden establecer dos capas bien distintas de los dos liquidos.

Cuando diferentes líquidos existen reunidos en vasos comunicantes, el equilibrio tiene lugar, si los líquidos de una misma base tienen sus alturas perpendiculares al horizonte en razon inversa de sus densidades. En el sifon *fig. 53* se pone agua y mercurio: el mercurio ocupa el fondo del sifon en ambos brazos; las columnas *ac* y *bc* se equilibran, y siendo *1* la altura de la columna de mercurio en *b* sobre la de *b*, la altura de la de *a* sobre *a* será *14*, pues que el mercurio es en igual volumen *14* veces mas pesado que el agua. En las lámparas hidrostáticas una columna de solucion de sulfato de zinc se equilibra con otra de aceite; esta última mas alta á causa de su ligereza se eleva hasta la mecha, y siempre se conserva á esta altura por la disposicion interior del aparato.

PRESION DE LOS LÍQUIDOS.

Los líquidos se amoldan exactamente á las basijas que los contienen y comprimen sus paredes por todas partes. Las partes de un mismo líquido ejercen su presion independientemente unas de otras, lo que depende de su poca adherencia. Una fácil esperiencia lo demuestra. Se hace un agujero en el fondo de un cubeto, y sobre él se pone una piedra ancha; se procura levantar esta empujándola con el dedo que pase por el agujero, y no se puede conseguir por su escesivo peso; en seguida se coloca un tapon para cerrar la abertura, se llena el cubeto con agua, y es mucho mas pesada que la piedra de la primera esperiencia, Sin embargo, si se pro-

cura pasar el dedo por aquel agujero, solo se experimenta una resistencia muy moderada, no hay que levantar mas que la capa de agua colocada sobre el dedo, la columna de agua que está levantada resbalando sobre las capas vecinas y vertiéndose sobre los lados, mientras que era preciso levantar antes toda la piedra, cuyas moléculas adherentes debian de ser soportadas todas por el dedo.

Los líquidos ejercen su presion en todos sentidos: la presion hácia arriba se prueba por medio del aparato de Haldat, *fig* 54, se pone mercurio en el aparato de modo que ocupe el espacio comprendido entre *a* y *b*: el nivel en *b* está marcado por medio de un anillo móvil *n*; se vierte agua en *v*, comprime hácia arriba la superficie del mercurio, y se le ve subir alguna cosa en *l* sobre *b*. La presion aumenta con la altura de la capa líquida en *v*; esto conduce á un hecho curioso que parece paradojal, y puede enunciarse asi: la presion ejercida por un líquido sobre el fondo de cualquier vaso está representada por el peso de una columna de líquido, cuya base es el fondo del vaso, y su altura la de el mismo líquido; resulta de esto que una misma cantidad de líquido puede ejercer muy diferente presion en el fondo de un vaso segun la forma de este. Supongamos tres vasos *v v' v''*, *fig*. 55, que contengan agua, la presion sobre el fondo de cada uno de ningun modo estará en relacion con la cantidad de este líquido; pues será para todos igual á la de una columna líquida, cuya base sea el fondo del vaso, y su altura la del mismo líquido; en el vaso *v*, *fig*. 55, está marcada por la pared misma del vaso, y en los otros por columnas de puntos: facilmente se llega á demostrar remplazando el gran vaso *v* del aparato de Haldat, *fig*. 54, por los tubos *v v'*; una misma altura de líquido determina igual elevacion del mercurio en *l*. Los antiguos fisicos demostraban esta propiedad adaptando un tubo fino á un tonel lleno de agua y llenando el tubo del mismo líquido, lo que aumentaba bien poco la materia pesada; sinembargo, el tonel no podia sufrir la presion igual al peso de una columna de

líquido cuya anchura seria el fondo del tonel y su altura la del líquido mismo del tubo; este peso por una columna de agua de un metro cúbico es de 1000 kilógramas.

Los líquidos ejercen una presion lateral, y esta presion está en razon directa de la altura de la columna líquida. Un tonel se vacia cuando se le agugerea en un lado, porque el líquido comprimido lateralmente por las capas vecinas es arrojado hácia la abertura; el chorro es mas rápido cuando el agujero ha sido practicado en la parte inferior, que cuando se practica en lo alto, porque la presion lateral crece con la profundidad; cuando se construye un dique se da mas fuerza á la masoneria de la parte inferior para que resista eficazmente á la mayor presion del fondo.

En un vaso se ejerce la presion lateral sobre las paredes; y en opuesto sentido en dos puntos colocados enfrente uno de otro $p p'$, fig. 56, si se practica una abertura en uno de estos puntos, corre el líquido, y la resistencia cesa por aquella parte; mas como la presion continúa ejerciéndose sobre la pared opuesta, el vaso suspendido libremente experimenta un movimiento de trastorno; sirviéndose al efecto de la basija, fig. 57, libremente suspendida y con agua queda en reposo mientras sus estremidades corbas $p p'$ permanezcan tapadas; en el momento en que se las destape cesan las presiones en dichos puntos, subsistiendo las contrarias solas, sus efectos obran unidos y la basija toma un movimiento de rotacion que dura todo el tiempo de la salida del líquido; este aparato se llama molinete ó torniquete hidráulico: en el mismo principio se funda la construccion de las ruedas de reaccion empleadas como motor en las artes.

Los líquidos ejercen su presion de abajo arriba, y aumenta con la profundidad de las capas líquidas: en un punto dado es siempre igual á la presion de alto abajo, $v v$, fig. 58, es una basija de vidrio llena de agua; c fig. 58 y 59 es un cilindro

de la misma materia con bordes planos, d es un disco pulimentado sostenido por un cordón; aplica o d á la parte inferior del cilindro c , y sostenido en esta posición por el cordón se introduce el aparato en el agua, *fig.* 58, y aunque entonces se suelte el cordón no cae el disco que es sostenido por la presión del líquido ejercida hacia arriba. Vertiendo agua con precaución en el cilindro c , el disco se precipita cuando el nivel del líquido en el cilindro es el mismo que el del vaso v . En este momento la presión de arriba abajo y la de abajo arriba son iguales, y el disco obedece á la gravedad, saliendo bien la experiencia en cualquiera profundidad donde se sumerja el disco, lo que prueba que la presión hacia arriba crece con la profundidad, y que en todas las capas es igual á la presión del líquido hacia abajo. Debe atribuirse á la presión hacia arriba el levantamiento de las válvulas de las bombas; ceden á esta presión, y dejan penetrar al líquido en el cuerpo de bomba; por ella se llena de agua un barco agujereado en el fondo, y para resistirla se da fuerza á la quilla tanto mayor, cuanto mas deban sumergirse.

La presión que se ejerce en cualquier punto de un líquido es transmitida en todos sentidos; tenemos un ejemplo de esto en la *Chorreta* (Pissete) de Bercelús, *fig.* 60. Es una botella con agua provista de un tapon atravesado por un tubo t de muy poco calibre; soplando por el extremo de este tubo se introduce aire en la botella, y se aumenta la presión sobre la superficie del líquido; esta presión hacia abajo se propaga en todos sentidos, y el líquido es arrojado por el extremo del tubo en forma de hilito rápido.

La prensa hidráulica, *fig.* 61, es una feliz aplicación de la transmisión de la presión en los líquidos. Por medio de la palaca l se ejerce cierta presión en la superficie líquida de la bomba, a cuyo diámetro suponemos un centímetro y la fuerza de la presión 100 kilogramas, esta presión se transmitirá lateralmente por el canal $a b$, y de abajo arriba en todo el cuerpo de bomba $c c$; el piston

p será pues comprimido en toda su superficie; si su diámetro es cien veces mayor que el del líquido de la bomba a , o 100 centímetros, la presión ejercida será 110 veces mayor ó de 10,000 kilogramas; el piston se pondrá en movimiento, y comprimirá el cuerpo que se coloque en o entre el plano fijo m y el móvil u que sigue el movimiento del piston: así aprovechando la propiedad que tienen los líquidos de transmitir las presiones en todos sentidos, con una pequeña fuerza se puede conseguir grande efecto.

EQUILIBRIO DE LOS GASES.

La acción de la gravedad no se manifiesta en los gases con tanta evidencia como en los sólidos y líquidos; no se les ve realmente caer; no debemos admirarnos que se haya creído por mucho tiempo no eran pesados. Tal era la opinión admitida sobre el aire, hasta que Galileo comprimiéndole en un balon probó su peso. Sinembargo estaba reservado á Toricelli poner esta verdad fuera de duda, adquiriendo la ciencia aun mismo tiempo el barómetro que es uno de los instrumentos mas preciosos.

BAROMETRO.

No habiendo podido unos fontaneros de Florencia elevar el agua á mas altura que 32 pies, Toricelli probó que este fenómeno estaba unido á la gravedad del aire, y lo demostró con una experiencia muy sencilla; tomó un tubo de vidrio de un metro de

longitud cerrado por uno de sus extremos; le llenó de mercurio y le sumergio por el extremo abierto en una cubeta que contenia este mismo metal; el mercurio descendió en el tubo, y despues de algunas oscilaciones se fijó a cierta altura, *fig. 62*. Para Toricelli el tubo lleno de mercurio es, *fig. 63*, uno de los brazos *a* de un sifon del cual el otro brazo *b* es la columna de aire admosférico que pesa en la superficie de la cubeta; cada uno de los brazos contiene un fluido de densidad diferente; sus alturas están en razon inversa de estas densidades; el aire fluido eminentemente ligero sostiene por su peso la columna de mercurio. Si la comparacion es exacta, remplazando el mercurio con el agua, el aire debe sostener una columna catorce veces mas alta, como sucedió en la observacion de los fontaneros florentinos, como aconteció á Pascal cuando repitió la esperiencia de Toricelli con un tubo lleno de vino.

Si el aire sostiene con su peso el mercurio en el tubo de Toricelli, á medida que el observador se eleve en la admósfera, se sustraerá a la accion de las capas de aire inferiores, la presion sobre el mercurio será menor, y el metal deberá descender una cantidad correspondiente. A invitacion de Pascal hizo Perrier cierta esperien-ia en Puy-de-Dome, vió al mercurio bajar á medida que se elevaba sobre la montaña, y volver sucesivamente á su altura primitiva al paso que descendió; poco importa la forma ó la latitud de los tubos, *fig. 64*, aqui como para los líquidos, la altura de dos columnas fluidas establece solamente la condicion de equilibrio.

El tubo de Toricelli ha llegado á ser un medio precioso para medir la gravedad del aire y la de los demás gases tomando al efecto el nombre de Barómetro; debe estar lleno de mercurio puro, sin que contenga aire ni humedad; para lo cual despues de haber puesto una porcion de mercurio puro en el tubo, se tiene este un poco inclinado en un hornillo, y se lleva el metal á la ebullicion, se acaba de llenar en seguida con una nueva por-

cion caliente que se añade en veces, haciéndolo siempre hervir, y cuando el tubo está enteramente lleno se sumerge su extremo abierto verticalmente en el mercurio.

El barómetro de cubeta, *fig. 65*, se compone de un tubo de Toricelli sumergido en una cubeta *c* que contenga mercurio. Para graduar el instrumento se le aplica una regla que contenga en sus divisiones fracciones de metro; el cero se toma en el nivel del mercurio en la cubeta, una pequeña pieza corrediza *e* sirve para manifestar la altura de la columna de mercurio. Este instrumento no es muy exacto, porque el nivel del metal en la cubeta considerada como fija baja ó suve segun que el del tubo asciende ó desciende; se remedia en gran parte este inconveniente dando á la cubeta mucha mayor latitud que al tubo, entonces los cambios que induce la gravedad en la altura de la columna líquida son poco notables en el cero del instrumento.

Barómetro de Fortin, *fig. 66*. La cubeta de este barómetro se compone de un fondo de piel que un tornillo *v* hace subir ó descender á voluntad. En la parte superior de la cubeta hay una pequeña punta de marfil *p* que suministra el medio de tener un cero constante, haciendo obrar el tornillo de modo que el extremo del marfil venga á tocar justamente la superficie del mercurio. El barómetro de Fortin es portátil, la cubeta se halla cubierta por una piel permeable al aire y no al mercurio; si se quiere trasportarle se levanta el fondo móvil hasta que llega á la estremidad del tubo; está encerrado el instrumento en un estuche de metal abierto por los lados y en donde están marcadas las divisiones.

Barómetro de Sifon, *fig. 67*. En los barómetros precedentes la accion del vidrio sobre el mercurio deprime la columna de este metal en el tubo mas fuertemente que en la cubeta, causa de error que no existe en los barómetros de Sifon. Están formados de un tubo corvo, cuyos dos brazos tienen el mismo diámetro; la de-

presion es por lo tanto la misma en ambos lados, y no hay necesidad de correccion, (7) Se graduan por medio de una regla móvil que tiene las divisiones, y al mismo tiempo hace mover una barita de marfil que se lleva antes de la observacion á flor de la superficie líquida. A veces se aplica al instrumento una regla fija, cuyo cero está colocado bajo ó sobre el punto del nivel de mercurio en la cubeta; despues de haber visto á que division llega la altura de la columna en el tubo, se resta del número observado la diferencia entre el cero y el nivel real de la cubeta, en el caso que el primero esté situado mas bajo, y se añade por el contrario la diferencia, si el cero fijo está colocado mas alto. Cuando se quiere hacer portatil este instrumento, se establece una canilla de hierro que permita interrumpir la comunicacion con el aire exterior; pero el instrumento queda entonces sujeto á quebrarse á causa de las diferencias de dilatacion que el vidrio y el metal experimentan por los cambios de temperatura.

Barómetro de Gay-Lussac, *fig. 68.* Es el barómetro de Sifon, cuyos dos brazos están separados por una porcion de tubo capilar *cc* de diámetro bastante fino, para que el aire no pueda desalojar el mercurio y atravesarle: la estremidad del brazo mas corto que hace veces de cubeta está enteramente cerrada, se le practica en un lado una pequeña abertura, suficiente para establecer la comunicacion con el aire exterior; pero que no permita la salida del mercurio. Para tener una garantia mas contra la introduccion del aire, Bunteu ha establecido en el interior del instrumento una pequeña separacion, contra la cual se estrellaria y detendria necesariamente cualquier ampolla de aire que hubiera podido penetrar. El barómetro de Gay-Lussac es portatil, se establece en él una graduacion fija, como lo hemos dicho para el de Sifon ordinario.

Barómetro de Cuadrante, *fig. 69.* Es un barómetro de Sifon dispuesto de modo que haga mover una aguja, un pequeño peso *p* descansa sobre la superficie mercurial unido á un hilo que se ar-

rolla en una polea, teniendo en la otra estremidad el peso p : cuando el mercurio sube ó baja en la cubeta, el pesito p sigue su movimiento y hace marchar á la aguja. Las adherencias y rozamientos hacen muy irregular la marcha de este instrumento, es preciso menearle cada vez que se le consulte y aun así da indicaciones poco exactas.

El mercurio como todos los cuerpos se dilata por el calor, y haciendose mas ligero á medida que se calienta, es preciso tener en cuenta este cambio de densidad; pues una columna de mercurio debe ser mas alta si está caliente para hacer equilibrio á una misma presion de la atmósfera. En las observaciones que piden grande exactitud se cuenta con la dilatacion del mercurio que es de $1/5550$ por cada grado del termómetro, trayendo á la columna á la altura que tendria en la temperatura de 0.

A este efecto se aumenta ó se disminuye por el cálculo la altura de la columna de mercurio $1/5550$ de su longitud total por cada grado de temperatura inferior ó superior á 0. (8)

El barómetro sirve para medir la gravedad del aire; se puede usar de él para medir las alturas, pues que la del mercurio baja á proporcion de la elevacion atmosférica á que se opera; uno de sus habituales usos es hacer presagiar la lluvia y el buen tiempo, si bien son poco seguras sus indicaciones; no obstante, si está alto, el tiempo generalmente es bueno, y si desciende indica lluvia; á 0, 766 ms. ó 0, 773 el tiempo es bueno por lo comun, á 0,76 es variable, mas bajo anuncia lluvia ó vientos, á 0, 730 ms. presagiá tempestades, este es el punto mas bajo que se ha observado.

EQUILIBRIO DE LOS GASES.

Los gases son eminentemente comprensibles y expansibles segun se evidencia por medio de las siguientes experiencias. Se coloca bajo el recipiente de la máquina neumática una vejiga que contenga poco aire cerrada y atada con bramante *fig. 70*. Haciendo el vacío en la campana, disminuye la presión que ejerce el aire en el exterior de la vejiga; el del interior se dilata entonces de modo que se incha mas y mas, si se deja entrar el aire poco á poco en el interior de la campana, la vejiga recobrará su primer volumen. Se puede repetir esta experiencia un gran número de veces; porque el aire, como los demas gases, tiene una elasticidad perfecta.

Podemos considerar á una columna de gas como formada de partículas materiales que la gravedad tiende á precipitar, y de calórico que se puede comparar á un resorte colocado entre estas partículas, y que obra en sentido inverso de la gravedad. El equilibrio tiene lugar cuando la fuerza de resorte del calórico que separa las partículas gaseosas iguala á la tendencia, á la precipitación de estas partículas gaseosas pesadas. En una alta columna de aire las partículas inferiores que sufren el peso de las superiores ceden á su presión y se aproximan mas; pero la fuerza de elasticidad del calórico es superada no destruida, crece á medida que se aproximan las moléculas y bien pronto hace equilibrio con la presión. En cierta parte cualquiera de una columna gaseosa, la presión de las partículas y la fuerza de resorte del calórico son siempre proporcionales: asi se expresa indiferentemente el estado de equilibrio de un gas considerando la presión de las partículas ó la fuerza elástica del calórico interpuesto: de ahí las expresiones siguientes que enuncian

un mismo estado de los fluidos aeriformes, presión de los gases, su fuerza elástica, su tensión ó la tensión elástica de los gases.

Si hacemos aplicación de lo que precede al aire atmosférico, concluiremos que sus capas varían de presión y de densidad con la altura; su densidad y su fuerza elástica son mayores en las capas inferiores y disminuyen gradualmente en las mas elevadas. Si toda la atmósfera terrestre tubiera igual densidad que en la superficie, su altura seria de unos 8000 metros, siendo así que pasa de 30,000. Parece admirable que el aire contenido en un frasco cerrado tenga presión igual á la de la atmósfera; pero se explica esto fácilmente si se reflexiona que las paredes del vaso se oponen á la separación de las partículas, y mantienen así la pequeña masa de aire que encierran en las mismas condiciones de equilibrio que la gran masa de donde ha sido estraida.

El aire y los demas gases ejercen presión en todos sentidos.

1.^a La ejercen de arriba á bajo. Esta propiedad se demuestra por el barómetro, y aun se halla probada con el *Rompe vejigas*, fig. 71, se reduce á una vejiga *v. v.* estendida sobre un cilindro de vidrio que se coloca sobre el platillo de la máquina neumática: á medida que se extrae el aire interior, el peso de la atmósfera deprime la vejiga, como lo indica la línea de puntos *v v v'*; si en este momento se la toca con una barita de vidrio, se quiebra al punto *y* el aire que se precipita en el vacío produce un ruido muy fuerte.

2.^a Los gases comprimen lateralmente. Por esto un tonel lleno de líquido y cerrado, agujereado lateralmente no permite salir al líquido, y apesar de la presión lateral del mismo que debiera determinar su caída, el aire la detiene comprimiendo esteriormente en sentido inverso. Por la presión lateral se transmiten á un barómetro colocado en una sala los cambios ocurridos en la presión atmosférica. La presión lateral en una columna de gas es mayor en las capas mas profundas; pero no son apreciables las diferencias en las capas inmediatas, á causa de la gran ligereza de los gases.

3.º Los gases ejercen tambien presion hácia arriba. Se toma un vaso *fig. 72*, se le llena exactamente de agua, se cubre la superficie del agua con una hoja de papel estendida, é invirtiendo el vaso no cae el líquido, lo que depende del estuerzo que la presion del aire hácia arriba ejerce contra la accion de la gravedad. El mismo efecto es producido en la cantimplora ó la pipeta cuando el dedo cierra la abertura superior, *fig. 73*.

La presion que el aire ejerce sobre los cuerpos es muy considerable: sobre una superficie dada es igual al peso de una columna de agua de igual latitud que la superficie y de treinta y dos pies de altura. Esta presion es casi exactamente de 1 kilógrama por centímetro de superficie. El aparatito conocido con el nombre de hemisferios de Magdebourg pone en evidencia esta fuerte presion, *fig. 74*; se compone de dos hemisferios huecos de cobre que se sobreponen con un cuero graso en el punto de union para que haga el contacto mas íntimo; estos hemisferios unidos se separan uno de otro con bastante facilidad; pero si se hace el vacío en su interior por medio de la llave *r* y del extremo de la rosca *s* que se adapta á la máquina neumática, tirando de los extremos dos hombres con todas sus fuerzas no pueden desunir los hemisferios. Antes de hacer el vacío, la presion interior es igual á la exterior, y se destruye mutuamente: una vez hecho el vacío solo se ejerce la exterior, toda la que es preciso resistir para separar los hemisferios.

Un hombre de mediana estatura sufre así una presion que corresponde á un peso aproximado á 12000 kilógramas.

Un pescado colocado á 32 pies de profundidad bajo del agua sufre un peso igual al de una columna de agua de 64 pies; si los cuerpos no se desmoronan bajo tal peso, se debe á que los fluidos elásticos colocados en el interior hacen equilibrio á esta presion, como hemos visto sucedia con los hemisferios de Magdebourg. El efecto de la presion interior se hace sentir cuando se disminuye la exterior; es una de las causas de los accidentes que se experimentan

elevándose á grandes alturas, es la que determina la hinchazon ó entumecimiento de la piel cuando se aplican ventosas.

El equilibrio de los gases en los vasos comunicantes se reduce á dos leyes muy sencillas. 1.^a Los gases de naturaleza diferente se mezclan con gran facilidad. Bertollet ha visto producirse esta mezcla entre gases en perfecto reposo, y que solo comunicaban por un tubo de fino diámetro. 2.^a Cuando se ponen en comunicacion gases cuya tension elástica es diferente, la igualdad de tension se establece con rapidez; se abre la llave que establece la comunicacion entre el aire exterior y el comprimido; encerrado en un balon, este último fluido sale con ruido hasta que su fuerza elástica llegue á ser la misma que la de la atmósfera; y si al contrario está vacío el balon ó contiene gas de menor tension, el aire exterior entra en él produciendo una corriente en sentido inverso.

Los cambios de volumen que los gases experimentan por un aumento ó disminucion de presion siguen una ley general, cuyo descubrimiento atribuyen los franceses á Mariotte, es como sigue: el volumen de un gas está en razon inversa de la presion que sufre. Para hacer la esperiencia se toma un tubo eucurvado *fig. 75*; el gas seco ocupa la estremidad *a* de este tubo, el mercurio está nivelado en los dos brazos en *b b*, el gas sufre entonces una presion igual á la de la atmósfera; si se vierte mercurio en el brazo largo del tubo, se ve disminuir el volumen del gas en *a* á medida que la presion aumenta; y se puede asegurar facilmente que los volúmenes estarán en razon inversa de las presiones. Si la presion es doble, es decir, si la columna de mercurio en el brazo *b* es 76 centímetros mas alta que en el brazo *a*, el volumen se reduce á la mitad y á la cuarta parte, si la presion es de cuatro atmósferas, Mr. Dulong ha verificado la exactitud de esta ley para el aire hasta 37 atmósferas. Es ciertamente aplicable aun á 50 atmósferas.

La ley de Mariotte no es sinembargo exacta para todos los

gases en límites tan estensos; la desigualdad se manifiesta cuando los gases se aproximan al punto de hacerse líquidos, y por consiguiente mas pronto para los que se liquidan con mas facilidad.

Sirve dicha ley para determinar, dado un gas á cierta presión, que volumen tendria á otra diferente. Se han pesado todos los gases bajo la presión de 0,76m.; cuando se les mide y se quieren deducir sus pesos de sus volúmenes, es necesario reducir estos volúmenes á lo que serian bajo dicha presión.

El volumen observado y el calculado están siempre en razon inversa de las presiones. (9)

Cuando se mide un gas es importante que el nivel del agua ó del mercurio en la campana sea el mismo que tienen estos líquidos en la cubeta: llena esta condicion, habrá seguridad de que las presiones interiores y exteriores son iguales, y entonces la fuerza elástica del gas interior está probada por el barómetro que hace conocer la presión del aire en el momento de la experiencia. Si el nivel es mas bajo en la campana, la presión del gas es mayor que la del aire; si es mas alto le sobrepasa la presión exterior. Se pudiera con rigor investigar la diferencia, pero es mucho mas cómodo establecer la igualdad de presión.

INSTRUMENTOS DE COMPRESION.

Manómetros. Son instrumentos destinados á medir la fuerza elástica de los gases. El barómetro es un verdadero manómetro, que denota habitualmente la presión atmosférica, y que tambien se aplica algunas veces á aparatos particulares.

Barómetro truncado. Sirve para medir débiles presiones, es un tubo barométrico recurvado *fig. 76* que tiene poca longitud,

el brazo *b* cerrado en su estremidad está lleno de mercurio, el otro está abierto, y el instrumento no indica mas que una presion bastante débil para que la columna de mercurio del brazo *b* no pueda ser sostenida enteramente; se juzga de la presion por la altura de esta columna *b* sobre el nivel en *a*; si es nula, será igual la altura en los dos brazos. Los manómetros para las presiones fuertes son varios: se distinguen el abierto, el cerrado, y la válvula de seguridad.

El Manómetro abierto, fig. 77, se compone de un tubo abierto en sus dos estremidades, sumergido en un vasito *g* lleno de mercurio, la estremidad del tubo está siempre en comunicacion con la atmósfera, el vasito está sumergido en el melio, cuya fuerza elástica se quiere conocer, se juzga de esta por la altura á que sube el mercurio en el tubo.

Manómetro cerrado, fig. 78. Está fundado en la ley de Mariotte: se compone de un tubo estrecho cerrado en su estremidad, y por la otra sumergido en agua ó mercurio. Cuando la presion aumenta sobre la superficie del agua ó mercurio en la cubeta *g*, el líquido se eleva en el tubo comprimiendo el aire contenido en él. Como el volumen del aire disminuye en razon inversa de la presion que sufre, se puede juzgar de la presion sobre la cubeta por el volumen que el gas ocupa en el tubo; á un cambio de volumen en el tubo manométrico corresponde un cambio ocurrido en la presion sobre la cubeta. Sea 100 el volumen ocupado por el aire bajo la presion de una atmósfera, los volúmenes y las presiones estarán en las relaciones siguientes:

Presion 1 atmósfera	volumen	100
2		50
3		33
4		25
5		20
10		10

En la figura 79 el tubo manométrico cerrado d se sumerge en un reservatorio g , que comunica por medio del conducto c con el vaso, cuya presión interior quiere conocerse; el brazo d sirve de tubo manométrico.

La válvula de seguridad fig. 81 se compone de una pieza p que cierra la abertura a : una palanca de segundo género ll pesa sobre la pieza p ; se arregla la resistencia por medio del peso c que se hace mayor ó menor, y se separa mas ó menos hácia la estremidad del brazo de la palanca. Se determina al tacto cual debe ser la distancia de este peso para que la válvula se levante bajo una presión determinada.

Lámpara de gas hidrógeno fig. 274. Esta lámpara se compone de un reservatorio r , en el que entra un vaso superior v , el cilindro de zinc z está suspendido en r , la llave lateral i lleva el gas á un trocito de musgo de platino que le inflama, y la llama enciende una pequeña bujía colocada delante. Se introduce agua acidulada en el vaso, obra sobre el zinc, desprende hidrógeno del que se deja perder una parte para purgar de aire el aparato; se cierran todas las averturas, y el gas que se acumula en r rechaza al líquido al vaso v : bien pronto la cantidad de líquido en r ha disminuido bastante para dejar de sumerjir el zinc, y entonces queda interrumpida la producción del gas hidrógeno: si en este momento se abre la llave, una parte del gas escapa, disminuye la presión interior, el líquido ácido descende, es sumerjido de nuevo el zinc y se forma gas que remplaza al desprendido.

Máquinas para soplar fig. 94 No son otra cosa que aparatos de compresion. Un largo piston se mueve en un cuerpo de bomba que comunica por los tubos tt' con el hogar del horno. En s' s'' hay dos válvulas que se habren del cuerpo de bomba hácia los tubos tt' ; en s y s'' se hallan otras dos que se abren en el cuerpo de bomba de fuera hácia adentro. Cuando el piston descende, comprime el aire en p' , cierra la válvula s'' abre la s' , el aire

rechazado penetra en *t*; cuando el piston asciende, el aire rechazado en *p* cierra la válvula *s*, abre la *s'* y pasa a *t'*; al mismo tiempo el aire exterior vuelve á entrar en *p* por la válvula *s*. Con un cuerpo de bomba de 8 pies cuadrados sopla una máquina semejante á la descrita 10, 000 pies cúbicos de aire por minuto.

Trompas fig. 95. La trompa es una especie de máquina de sopro: se compone de un tubo de 20 pies de altura, agujereado lateralmente *e e* que viene á encajar en una especie de reservatorio *r* colocado sobre agua y que comunica con un hogar por el tubo *t*. El agua que llega á la bomba se divide al caer sobre una piedra, y deja desprender una parte del aire que contiene; pero el efecto resulta sobre todo de la corriente de aire exterior que se introduce por las aberturas laterales *ee* de la trompa y que el agua arrastra en su caída.

INSTRUMENTOS DE DILATACION.

Máquina neumática, fig. 82 y 83. Ha sido inventada esta máquina en 1650 por Otto de Guerick. Sirve para producir el vacío: el recipiente de vidrio *r* está en comunicacion con el cuerpo de bomba *c*; estando el piston *p* en lo bajo de este cuerpo se le levanta por medio de la barra *t*; se hace el vacío, y el aire del recipiente penetra en parte en él; en este momento se baja el piston, la válvula *b* viene á cerrar la comunicacion con el recipiente, el aire contenido en *c* se comprime mas y mas á medida que el piston desciende, su fuerza elástica es bien pronto suficiente para elevar la válvula *b*, y ha sido completamente espulsado cuando el piston llega á la parte inferior de su curso. Una nueva ascension del piston admite nueva cantidad de aire en *r* que es espulsado á su turno: asi se llega á hacer un vacío casi perfecto bajo el recipiente de la máquina neumática. Se adaptan ordinariamente á esta máquina dos cuerpos de bomba de los cuales uno estrae el aire del recipiente, mientras

el otro espulsa la porcion de aire de que está lleno; se ponen estos dos pistones en juego por medio de cierto engranaje movido por una palanca de dos brazos *fig. 83*. Para juzgar del vacío interior de la máquina se adapta á ella un barómetro truncado que comunica con el recipiente.

Bombas. Sea *p* un cuerpo de bomba *fig. 84*, cuyos detalles se ven en la *fig. 86*, el piston se pone en movimiento por la palanca *l*; un tubo *t* va á sumergirse en la masa de agua inferior *a*, cuando se levanta dicho piston se hace el vacío en el cuerpo de bomba, el aire contenido en el tubo *t* levanta la válvula *s* y se divide por consiguiente entre el tubo y el cuerpo de bomba. La válvula *s* vuelve á cerrarse por su propio peso, y se interrumpe toda comunicacion al mismo tiempo que el aire pesa en el exterior sobre la superficie del agua *a*, y la hace subir por el tubo hasta que la presión exterior es contrabalanceada por el peso de la columna de agua y por la fuerza elástica del aire contenido en el tubo: descendiendo el piston por el cuerpo de bomba, empuja al aire encerrado en él, este eleva la válvula *s* y sale al exterior determinando una nueva ascension del líquido los repetidos movimientos del mismo piston. Si el tubo tubiese mas de 32 pies contados desde la superficie *a*, el agua no subiria mas, porque así equilibraba la presión del aire; pero si la longitud del tubo es tal que el agua pueda llegar hasta el cuerpo de bomba, levantará alternativamente las válvulas *s* y *s'*. Cada vez que el piston suba vendrá el agua á llenar de nuevo la bomba, al mismo tiempo que la porcion que pase de *s'* será mecánicamente levantada por el piston, llevada al tubo *c* á una altura cuyos límites serán la resistencia del piston y de las partes que le hacen mover.

La bomba construida así se llama aspirante y elevadora.

La bomba aspirante y comprimente difiere de la descrita en que el piston está lleno, *fig. 85*, y en que lleva á su lado un tubo lateral *t* en el que se halla una válvula *s'*: el aire y despues el agua

que penetran en el cuerpo de bomba son comprimidos en el tubo lateral á una altura limitada solo por la fuerza de resistencia del instrumento.

La bomba contra incendios es comprimente, lleva en un punto del tubo lateral *t* un reservatorio dispuesto como se ve en la *fig.* 87. Cuando el agua llega en este reservatorio á la base del tubo *t'* queda una porcion de aire encerrado; este aire se comprime mas y mas á medida que el piston descendiendo arroja el agua en el reservatorio por el tubo lateral: mientras vuelve á subir el piston (tiempo en que se interrumpe la proyeccion del agua en las bombas ordinarias) el aire comprimido en el reservatorio se distiende en razon de su fuerza elastica, y hace subir el agua á *t'*; de este modo el chorro es continuo, ventaja que se desea precisamente en las demas bombas.

Lámpara de aceite, fig. 88. Se compone de un vaso que en su parte *a* está dispuesto para recibir una mecha: el aceite en la lámpara debe llegar constantemente al nivel del orificio *a*, y debe mantenerse en él en lo posible: á este efecto se introduce en *b* un reservatorio *r* lleno de aceite; este es sostenido por la presion del aire, y si el nivel llega á bajar en *a* penetra una porcion de aire en el reservatorio y se corre la cantidad de aceite correspondiente para alimentar la lámpara.

Bebedero de palomas, fig. 89. El agua del vaso *v* disminuye, y cuando su nivel baja del orificio del cuello *e*, una parte del agua del vaso superior *b* cae al mismo tiempo que entra un poquito de aire. La fuerza elástica del aire en la botella *b* unida al peso del agua hace equilibrio á la presion de la atmósfera.

Sifones. El sifon, *fig. 90*, es un tubo encorvado sobre sí mismo, con uno de los brazos mas largo que el otro; si se sumerge este en un líquido y se aspira por el mas largo, el líquido se eleva en el sifon, le llena bien pronto y continúa corriendo hasta que su nivel baja de la estremidad inferior del brazo mas corto. Si se llena de líquido un sifon de diámetro fino, cuyos brazos sean iguales, *fig.*

90, no cae el líquido aun cuando sus extremos miren al suelo : las fuerzas que obran son la gravedad $p p'$ que tiende á precipitar el agua, y la presion del aire de abajo arriba $a a'$ que es mas fuerte y sostiene el líquido produciendo el mismo efecto en los dos brazos; si se dá mas longitud á uno, el peso p'' de la columna líquida llega á ser preponderante y determina por esta parte su caída, continuando el efecto por todo el tiempo del descenso del líquido. La condicion esencial en la construccion de sifones consiste en la desigualdad de longitud de los dos brazos. Lleno el sifon de líquido antes de sumergir el brazo corto produce en la continuacion de la corriente el mismo efecto que la succion.

Para estraer líquidos que puedan dañar la boca se modifica la forma del sifon, *fig. 91*. Para emplear este sifon de brazo lateral se cubre la estremidad e con el dedo en el momento de la aspiracion , y se deja paso al líquido en cuanto llegue á esta estremidad.

El sifon de Hempel, *fig. 92*, se emplea para los líquidos acres que desprenden vapores peligrosos: es el ordinario, cuyo brazo mas corto ha de estar replegado sobre sí mismo en a y hácia el exterior en su estremidad. Se la sumerge en el líquido y se la adapta un embudo e de cuello largo que se eleve sobre la altura del sifon : se vierte una porcion del líquido que se ha de decantar en el embudo y se retira este al punto que comience por el brazo largo la corriente: aqui la presion ejercida por el líquido en el embudo determina la ascension, y una vez establecida la corriente y retirado el tubo, entra el sifon en las condiciones de ordinario.

Con líquidos encerrados en vasijas de abertura estrecha se usa ventajosamente el sifon de Bunteu, *fig. 93*, distinto del ordinario solo porque lleva una bola en lo alto del brazo mas largo. Se llena este de líquido y la bola, y se sumerge el otro en el vaso que se quiere vaciar; al desprenderse el líquido de la bola produce un vacío que determina la ascension del líquido en contacto con el

brazo corto, y aunque la bola quede en parte vacía se mantiene la corriente. Se puede usar aun en las mismas circunstancias el aparato siguiente: se cierra el cuello del vaso con un tapon de dos agujeros, uno destinado á dar paso al sifon, y el otro á un pequeño tubo que entre en el líquido. El todo debe estar dispuesto de modo que el aire exterior no pueda penetrar entre el tapon las paredes del vaso y las de los tubos. Se sopla por la estremidad del tubo pequeño para aumentar la cantidad de aire en la capacidad vacía del vaso, y por consiguiente la presion ejercida en la snperficie del líquido: cuando esta presion aumenta suficientemente, determina su ascension en el sifon.

Cuando se usa el sifon de un diámetro muy pequeño, la capilaridad hace subir en él el líquido en cantidad suficiente para que se establezca la corriente muchas veces; por una accion análoga hace los efectos del sifon una torcida de algodón.

Los aparatos que emplean los químicos para la produccion y disolucion de los gases ofrecen numerosos ejemplos de los fenómenos de contraccion y dilatacion pertenecientes á los fluidos aeriformes. (Veanse las obras de química.)

DENSIDAD.

La densidad ó la gravedad específica es la relacion de la masa con el volumen, es la cantidad de materia pesada que contienen los cuerpos bajo un volúmen dado.

No todos los cuerpos tienen la misma densidad, esto es, el mismo peso bajo un mismo volúmen para determinar sus relaciones de densidad; se toma el agua por término de comparacion, se compara el peso de los cuerpos con el de un volúmen de agua

igual al suyo: esta agua tomada en el maximum de densidad sirve de unidad, y el problema consiste en pesar volúmenes iguales de agua y de cualquier cuerpo. El peso específico de un cuerpo espresa cuanto pesa este cuerpo en comparacion de un volumen de agua igual, y como un centímetro cúbico de agua pesa una grama, el peso específico de cualquier cuerpo espresa cuantas gramas ó fracciones de gramas pesa un centímetro cúbico de este cuerpo.

Como los líquidos se amoldan exactamente á los vasos, la investigación de su densidad es una operacion de las mas sencillas: se toma un frasco con tapon esmerilado, se le seca, se le pesa vacío, y despues lleno de agua: se le seca de nuevo, se le llena del líquido cuya densidad se quiere conocer, y se le pesa de nuevo.

Vaso vacío pesa. 56, 916 gramas.

 lleno de agua. 84, 066.

$$84, 066 - 56, 916 = 27, 150 = 1.$$

 Lleno de ácido sulfúrico. $107, 142 - 56, 916 = 50, 504$.

 La densidad del ácido sulfúrico es pues. 1,85 siendo 1 la del agua.

Los gases se hallan en el mismo caso que los líquidos: se amoldan á las vasijas que los contienen, y puede averiguarse su densidad pesando sucesivamente un vaso vacío, despues lleno de agua, y en seguida lleno de gas; pero como los gases son muy ligeros, es preciso operar con vasos de muchos litros de capacidad: se usa al efecto un balon tubulado *b* con cierta armadura *m* que pueda colocarse sobre la máquina neumática, *fig* 96.

Se hace el vacío en el balon, despues se hace la tara, se le llena de un gas que se seca haciéndole pasar al traves de un tubo *t* lleno de cloruro de calcio, habriendo la llave del balon penetra en él el gas y le llena, se hace de nuevo el vacío para estraer este primer gas que sirve para lavarle, se introduce nuevamente mas, se le cierra la llave y se pesa, el aumento de peso manifiesta el del gas; en seguida se llena el balon de agua y se pesa de nuevo.

Debemos añadir que es preciso tener en cuenta la temperatura del gas y su fuerza elástica para conducirlos por el cálculo, á lo que serian á cero y bajo la presion de 76m.

Esp. balon vacío. 545 gramas.

Lleno de agua. 8, 275-545=7, 770=1.

De aire. 555-545=10=0, 00129.

Como hay una gran diferencia entre la densidad de los gases y la del agua, se prefiere compararlos con el aire: La operacion consiste entonces en pesar sucesivamente el balon vacío lleno de aire seco, y en fin lleno del gas tambien seco. (10)

No es necesario ocuparse de la presion, puesto que la operacion se hace con bastante prontitud para que cambie, y los cambios que puede producir se ejercen en una cantidad proporcional sobre el aire y sobre el gas.

Esp. balon vacío. 545 gram.

Lleno de aire. 555-545=10=1.

Id. de ácido carbónico. . 560, 19-545=15, 19=1, 519.

Conocida la densidad de un gas con respecto al aire, es fácil saber la densidad del mismo gas con relacion al agua; basta dividir el mismo que representa la primera por 773.

Densidad del hidrógeno 0,0688.

—————=0, 000089038.

773

Densidad del cloro 2,4216

—————=0, 003132.

773

Se puede averiguar la densidad de los sólidos pesando volúmenes de estos cuerpos exactamente iguales al del agua, lo que se consigue sumergiendo el cuerpo objeto de la esperiencia en el agua y midiendo el volumen del agua desalojada igual al del cuerpo

que le ha desalojado; la experiencia se reduce así á pesar el cuerpo en el aire, á pesar el agua que desaloja y, á comparar los pesos. La operacion se hace sin dificultad con una buena balanza y un frasquito con tapon esmerilado: se averigua el peso del cuerpo en el aire y el del frasco lleno de agua, se introduce entonces el cuerpo en el frasco, se cierra este y se le pesa de nuevo, se ve que el peso es menor que el del frasco, agua y cuerpo reunidos, la diferencia indica el peso del volumen de agua desalojado.

Esp. Estaño pesa 12,25. 7,29.

Agua vertida 1,68. 1.

Del mismo modo se puede averiguar la densidad de las materias pulverizadas; solo que es preciso llevar el agua á la ebullicion cuando se le añada el polvo para desprender todas las partículas de aire que pudieran adherirse á su superficie.

Puede averiguarse la densidad de un sólido teniendo en cuenta el principio siguiente: Un cuerpo sumergido en un líquido pierde cierta parte de su peso igual al peso del volumen del líquido que desaloja. A Arquímedes se debe el descubrimiento de esta ley.

Supongamos una masa de agua *a* fig. 97; aislemos imaginariamente en medio de esta masa un cubo de agua *c*; sufrirá lateralmente presiones que se destruirán; á mas sufrirá en la parte superior la capa de agua *p*, y en la inferior la presion de la capa de agua *p'*; *p'* es mayor que *p*; pero la diferencia se halla compensada por el peso del cubo *c*. La presion sobre la superficie inferior de *c* es pues igual á *p* y al peso del cubo *c*. La accion de la gravedad que tiende á precipitar á *c* no se hace sentir puesto que *c* está sostenido de abajo arriba tanto como pesa de arriba abajo.

Si se remplaza el cubo de agua por otro cuerpo, cuya densidad sea absolutamente igual, el efecto será idéntico y el cuerpo dejará de pesar; si se remplaza *c* por un cuerpo mas pesado, este perderá la parte de su peso igual al del cubo *c*.

Lastrando una bola de cera de modo que su densidad sea absolutamente igual á la del agua, colgándola suspendida de un hilo á la estremidad del fiel de una balanza y sumergiéndola en agua se verá que no pesa.

Suspendiendo dos bolas de marfil iguales á las dos estremidades del fiel se equilibrarán; sumergiendo una de ellas en el agua, la balanza se inclinará al lado opuesto; añadiendo pesos para restablecer el equilibrio y quitando despues la bola sumergida, no bastarán ya aquellos pesos para restablecerle. Esta esperiencia prueba que la bola de marfil solo pierde una parte de su peso cuando está sumergida en el agua.

La esperiencia siguiente prueba que la pérdida de peso es igual al del agua desalojada.

B (fig. 18) es un cilindrito hueco que puede llenarse exactamente con otro lleno *a*: se ponen estos cilindros sobre el platillo de una balanza, y se establece el equilibrio con los pesos necesarios en el opuesto; se sumerge entonces el cilindro en el agua, se destruíra el equilibrio; porque el cilindro ha perdido una parte de su peso, entonces se llena de agua el cilindro hueco *b* y se restablecerá el equilibrio, pues el volumen de agua contenido en el cilindro *b* es absolutamente igual al del cilindro *a*; luego el cilindro *a* habia perdido cierta parte de su peso igual al de un volumen de agua como el suyo.

Esta bella observacion nos esplica por qué los cuerpos son menos pesados en el agua que en el aire, y por qué se experimenta poca dificultad á moverlos en el primer fluido; solo se obra en este caso sobre el escedente de su peso, mientras que la resistencia es igual á todo su peso una vez que hayan salido del líquido. Asi un pescador retira facilmente sus redes llenas de pesca en tanto que estan en el agua, y en el momento que las saca es cuando corren riesgo de romperse.

Cuando quiere utilizarse el principio de hidrostática proce-

dente para averiguar la densidad de un cuerpo se usa una balanza ligeramente modificada, uno de los platillos tan pesado, pero muchas veces mas pequeño y mas corto que el otro, lleva en su parte inferior un ganchito. Se pesa el cuerpo en esta balanza de la manera ordinaria, se le ata en seguida á un hilo de seda que se suspende al gancho, se le sumerge en el agua y se pesa en este estado para determinar la pérdida de peso que ha experimentado, y por consecuencia el peso del volumen de agua igual al suyo.

Esp.	Estaño pesado al aire. . . .	15
	en el agua . . .	13,94
	agua desalojada pesa pues. . . .	2,06
	1 volumen de agua pesa. . . .	2,06=1
	1 id. de estaño.	15=7,29.

DENSIDAD DE ALGUNOS SOLIDOS.

Platino	{ forjado	..	..	..	..	20, 3366
	{ purificado	..	..	..	..	15, 5000
Oro. . .	{ forjado	.	.	.	.	19, 3617
	{ fundido.	..	..	..	..	19, 2581
Mercurio (a 0.º)	..	..	..	..	..	13, 598
Plomo fundido	..	..	..	..	..	11, 3523
Plata fundida	..	..	..	..	..	10, 4743
Cobre en hilo	..	..	..	..	..	8, 8785
Cobre rojo fundido	..	..	..	..	..	8, 7880
Estaño fundido	..	..	..	..	..	7, 2914
Acero sin batir	..	..	..	..	..	7, 8163
Hierro en barras	..	..	..	..	..	7, 7880
Hierro fundido	..	..	..	..	..	7, 2070

Zinc fundido	.. .. .	6, 861
Antimonio fundido	.. .. .	6, 712
Diamantes los mas pesados (ligeramente colorados de rosa).	.. .. .	3, 5310
Los mas ligeros	.. .. .	3, 5010
Flint-Glass (ingles)	.. .. .	3, 3393
Cal carbonatada cristalizada	.. .. .	2, 7182
Cristal de roca puro	.. .. .	2, 6530
Vidrio (de S ^{nt} Gobain)	.. .. .	2, 4882
Azufre nativo	.. .. .	2, 0332
Hielo	.. .. .	0, 930
Potásio	.. .. .	0, 8651
Madera de haya	.. .. .	0, 852
Corcho	.. .. .	0, 240

DENSIDAD DE ALGUNOS LÍQUIDOS.

Mercurio	.. .. .	13, 6
Acido sulfúrico	.. .. .	1, 84
Id. nítrico	.. .. .	1, 51
Id. hidrocórico	.. .. .	1, 21
Leche	.. .. .	1, 03
Agua de mar	.. .. .	1, 0263
Agua destilada	.. .. .	1,
Vino de Borgoña	.. .. .	0, 9915
Aceite de linaza	.. .. .	0, 94
Id. de navina	.. .. .	0, 9193
Id. de olivas	.. .. .	0, 9153
Amoniaco concentrado	.. .. .	0, 875

Eter hidroclórico	.. .. .	0, 874
Esencia de trementina	.. .. .	0, 8697
Alcol absoluto	.. .. .	0, 792
Eter sulfúrico	.. .. .	0, 7155

DENSIDAD Y PESO ESPECIFICO DE LOS GASES.

<i>Nombres de los Gases.</i>	<i>Peso de 1 litro en grama.</i>	<i>Densidad.</i>
Hidrógeno	0, 09	0, 0688
Gas amoniaco	0, 77	0, 591
Azóe (Nitrógeno)	1, 27	0, 976
Hidrógeno bicarbonado	1, 27	0, 978
Aire	1, 30	1
Oxígeno	1, 43	1, 1026
Hidrógeno sulfurado	1, 55	1, 1192
Acido carbónico	1, 98	1, 5245
Cloro	3, 21	2, 426.

DE LOS AREÓMETROS.

Un sólido mas ligero que el agua la sobrenada en parte y desaloja un volúmen de líquido cuyo peso es igual al del sólido.

En este principio se funda la construccion de los areómetros, vease prácticamente establecido.

Tomemos en el agua un cubo c , fig. 97, sostenido de abajo á arriba todo lo que pesa hácia abajo, habrá equilibrio: remplacemos el cubo de agua por un cuerpo de la misma densidad, el efecto será el mismo; pero remplacémosle por uno mas ligero, (la mitad menos denso) la presión de arriba abajo p será menor que la presión de abajo arriba p' ; esta levantará el cuerpo hasta que las presiones lleguen á ser iguales. Puesto que el cuerpo es la mitad menos pesado que el agua, el equilibrio tendria lugar cuando solo ocupe el lugar de un volúmen de agua mitad que el suyo, entonces la mitad de su volúmen estará fuera del agua, fig. 99.

Para probar que el cuerpo nadando desaloja un volúmen de agua cuyo peso es igual al peso total de aquel, se pone agua hasta la altura a en el vaso v fig. 100 y se marca el nivel en medio de la virola v , entonces se coloca sobre el agua la bola hueca b ; esta desaloja agua y hace subir el nivel á a' y v' ; se separa esta agua por la llave r hasta que el nivel haya vuelto á su estado primitivo, lo que es fácil reconocer por la virola v ; si se ponen en los platillos de una balanza, por una parte la bola hueca, y por otra el agua separada se hallarán sus pesos iguales; por consiguiente la bola desalojó una cantidad de agua del mismo peso que el volúmen de la bola, ó que la bola.

Resulta de esto que un cuerpo flotante tiene siempre una parte sumergida tanto mayor cuanto mas pesado sea; y como desaloja un peso de líquido igual al suyo, un mismo cuerpo se sumergirá mas en un líquido ligero, menos en otro denso.

La construccion y uso de los barcos desde el mas pequeño hasta el de alto bordo están basados en las leyes que acabamos de fijar; sin que pueda escenderse en los unos ni en los otros la cantidad de carga que los sumergiria hasta que el agua llegase á los bordes: es de notar que en los cuerpos flotantes el equilibrio tiene solo lugar de una manera estable cuando el centro de gravedad está lo mas bajo posible,

Este es el principio de los *areómetros*: se distinguen dos suertes de ellos, unos de volúmen constante y peso variable, como el de *Fahreinheit* y el de *Nicholson* y otros de volúmen variable y peso constante, que son varios.

El *areómetro* de *Fahreinheit* ó *gravímetro* sirve para averiguar la densidad de los líquidos, su forma es la de la *fig. 104*: lleva en el punto *r* una cavidad que le da ligereza, y mas abajo otra en la que se pone un cuerpo pesado (plomo ó mercurio) para hacer descender el centro de gravedad y obligar al instrumento á que conserve en los líquidos una posicion vertical: En la parte superior se encuentra una cubeta *c* sostenida por una barrita ó tubito de vidrio, sobre la cual está marcada cierta escotadura *t* llamada punto de afloramiento. Debe ser el instrumento bastante ligero para sobrenadar en la mayor parte de los líquidos.

Para usarle se sumerge en un líquido y se añaden pesos en la cubeta ó platillo hasta que el punto *t* esté á flor del líquido ó toque con su superficie. El instrumento es de volúmen constante, pues que en todas esperiencias se sumerge igual cantidad; es de peso variable, porque el número de unidades de peso que se han de añadir para aflorarlo varía con cada líquido.

Ejemplo: el *areómetro* pesa 70 gramas: deben añadirse 30 gramas para sumergirle en agua destilada hasta el punto señalado; el volúmen de agua desalojada pesa pues 100 gramas: para aflorar el mismo instrumento en ácido sulfúrico es preciso añadir 115 gramas: el peso total será en este caso 185. Luego en volúmenes iguales el ácido sulfúrico pesa 185, y el agua 100; la densidad del primero es á la del segundo líquido como 1,85 es á 1.

El *areómetro* de *Nicholson*, *fig. 103*, es igual al anterior con solo la diferencia de estar hecho de metal y llevar en la parte inferior una cubita móvil que sirve para pesar los cuerpos dentro del agua; se usa este instrumento para averiguar la densidad de los cuerpos sólidos; sirva de ejemplo el azufre nativo.

Colocado en el agua el instrumento, supongamos que necesite 8 gramas en el platillo superior *c* para quedar afloatado, pongamos un fragmento del azufre en vez de las 8 gramas, y será preciso para conseguir nuevo afloatamiento añadir a dicho azufre 6 gramas: concluirémos de esto que el peso del fragmento es de 2 gramas: transportémosle luego á la cubeta inferior *s*, y observaremos que para afloatar el areómetro es menester añadir un grama á las 6 que existen en el platillo superior; el azufre sumergido ha perdido pues una parte de su peso representa la por 1 grama que equivale al peso de un volumen de agua igual al suyo. Por consiguiente la densidad del azufre es á la del agua como 2 es á 1.

Si se opera sobre un cuerpo mas ligero que el agua, no solamente perderá en ella todo su peso, sino que seria preciso compensar por pesos puestos en la parte superior los efectos de empuje del agua de abajo arriba.

Los areómetros de volumen variable y peso constante son de un uso mas habitual; se les da una de las formas indicadas en la *fig. 101* y *102*; no se les carga de pesos, y el suyo es constante en todas esperiencias; pero se sumergen una cantidad desigual en los diversos líquidos, ó el volumen de la parte sumergida es variable. Estos areómetros se sumergen hasta que desalojan un volumen de líquido de peso igual al suyo; de consiguiente profundizan mas en un líquido ligero que en otro denso.

Sumergido el areómetro en agua destilada á la temperatura de 12,5, se marca cero en el punto á que llega este líquido *fig. 101*; transportado en seguida á una solucion hecha con 10 partes de sal comun pura y 90 de agua destilada, se marcan 10 grados en el punto que toque el nivel del líquido salino: se divide el espacio comprendido entre los dos marcados en 10 partes iguales ó grados, y se continúan divisiones iguales por las partes superior é inferior del tubo. Un instrumento así construido da indicaciones para líquidos mas ligeros que el agua y para otros mas pesados; pero la

excesiva longitud que es preciso dar al tubo si ha de llenar bien estas indicaciones, le espone á romperse facilmente; y por otra parte es grande la cantidad de líquido necesaria para las observaciones, por lo que se prefiere fabricar areómetros particulares para líquidos ligeros y se suprime en ellos la parte inferior al 0.^o haciéndolos de modo que este grado se halle en el instrumento á poca distancia de la parte inferior del tubo; para los líquidos densos el cero se coloca en lo alto del tubo y se suprimen los grados superiores.

El areómetro para los ácidos ó *pesa-ácidos* marca desde cero á 70.^o; el *pesa-sales* de cero á 40.^o; el *pesa-jaraves* de 20.^o á 36.^o; el *pesa-leche* ó lactómetro de 1.^o á 10.^o Es importante advertir que los grados deben medirse en lo bajo de la curva que forma el líquido y no en el punto mas elevado á la inmediacion del instrumento.

El areómetro para líquidos ligeros graduado como acabamos de decir, lleva mas especialmente el nombre de areómetro batavo, se usa poco, el de Baumé y el de Cartier son mas usados.

Baumé para graduar su areómetro marcaba cero en el punto de afloramiento del instrumento obtenido en una solacion hecha con 90 partes de agua destilada y 10 de sal marina á la temperatura de 12, 5; marcaba 10 grados en punto de afloramiento en el agua destilada, y continuaba la division con igualdad sirviéndole de base la magnitud de las divisiones anteriores. Resulta de esta construccion que el alcol que marca cero en el areómetro batavo, señala 10.^o en el de Baumé, y por consiguiente la espirituosidad indicada por este último es siempre superior en 10 grados á la manifestada por el otro.

El areómetro de Cartier solo se emplea para líquidos ligeros, viene á ser una alteracion de el de Baumé, en ambos el cero es igual, pero los 30.^o del primero corresponden á los 32.^o del segundo, y segun Gay-Lussac el de Cartier marca 28 grados á la

temperatura de $+ 15$ en alcol de 74 cent. y el de Baumé 29, 655: se usa mucho en el comercio.

Se llama *pesa-aguardiente* el areómetro para líquidos ligeros, cuyo tubo solo tiene de 12 á 30 grados; *pesa-espíritu* el que marca de 25 á 45.^o, pesa éteres el que señala de 40 á 70.^o

Mr. Gay-Lussac ha construido para el alcol un areómetro llamado alcómetro centesimal, es el legal en Francia, y sus indicaciones sirven de base para los derechos impuestos á los alcoles, manifiesta inmediatamente la cantidad de alcol real que existe en un aguardiente, ha sido graduado á la temperatura de 15, marca 0.^o en el agua destilada, y 100.^o en el alcol absoluto, y sus grados intermedios han sido obtenidos sumerjiendo sucesivamente el instrumento en mezclas ó proporciones conocidas de agua y alcol. Estas diversas operaciones solo son necesarias para la construccion de un alcómetro patron, que sirve luego de término de comparacion para graduar otros.

Cada grado ó division centesimal espresa la cantidad de alcol absoluto; asi el alcol de 60 grados centesimales contiene 60 por 100 de alcol puro; el que marca 90 contiene 90 p. 100.

Se espresan los grados centesimales por la letra *c*, puesta á la derecha y un poco encima de la cifra que espresa los grados, como 10,^c 15,^c 50,^c

Relaciones de la densidad con los grados areométricos para líquidos mas densos que el agua.

<i>Grado.</i>	<i>Densidad</i>	<i>Grados.</i>	<i>Densidad</i>	<i>Grados</i>	<i>Densidad</i>
0	1,000	25	1,210	50	1,552
1	1,007	26	1,221	51	1,549
2	1,014	27	1,231	52	1,566
3	1,022	28	1,242	53	1,583
4	1,029	29	1,252	54	1,601
5	1,036	30	1,261	55	1,618
6	1,044	31	1,275	56	1,637
7	1,052	32	1,286	57	1,656
8	1,060	33	1,298	58	1,676
9	1,067	34	1,309	59	1,695
10	1,075	35	1,321	60	1,715
11	1,083	36	1,334	61	1,736
12	1,091	37	1,346	62	1,758
13	1,100	38	1,359	63	1,779
14	1,108	39	1,372	64	1,801
15	1,116	40	1,384	65	1,823
16	1,125	41	1,398	66	1,847
17	1,134	42	1,412	67	1,872
18	1,143	43	1,426	68	1,897
19	1,152	44	1,440	69	1,921
20	1,161	45	1,454	70	1,946
21	1,171	46	1,470	71	1,974
22	1,180	47	1,485	72	2,000
23	1,190	48	1,501	73	2,031
24	1,199	49	1,516	74	2,059

Relaciones de la densidad con los grados areométricos para líquidos menos densos que el agua.

Baumé.	Cartier	Batavo.	Densidad	Centesimal (1)
10	10	0	1,000	0
11	10, 92	1	0, 993	5
12	11, 84	2	0, 987	10
13	12, 76	3	0, 979	17
14	13, 67	4	0, 973	23
15	14, 59	5	0, 966	29
16	15, 51	6	0, 960	34
17	16, 43	7	0, 953	39
18	17, 35	8	0, 941	47
19	18, 26	9	0, 935	50
20	19, 18	10	0, 929	53
21	20, 10	11	0, 923	56
22	21, 02	12	0, 917	59
23	21, 94	13	0, 911	61
24	22, 85	14	0, 905	64
25	23, 77	15	0, 900	66
26	24, 69	16	0, 894	69
27	25, 61	17	0, 888	71
28	26, 53	18	0, 883	73
29	27, 44	19	0, 878	75
30	28, 38	20	0, 872	77
31	29, 29	21	0, 867	79
32	30, 31	22	0, 867	81
33	31, 13	23	0, 857	83
34	32, 04	24	0, 852	84
35	32, 96	25	0, 847	86
36	33, 88	26	0, 842	88
37	34, 80	27	0, 837	89
38	35, 72	28	0, 832	91
39	36, 63	29	0, 827	92
40	37, 55	30	0, 823	93

(1) Los grados centesimales se indican en números enteros, despreciando las fracciones.

<i>Baumé</i>	<i>Cartier,</i>	<i>Batabo.</i>	<i>Densidad</i>	<i>Centesimal.</i>
41	38, 46	31	0, 818	94
42	39, 40	32	0, 813	96
43	40, 31	33	0, 809	97
44	41, 22	34	0, 804	98
45	42, 14	35	0, 800	99
46	43, 06	36	0, 795	100
47	43, 98	37	0, 791	
48	44, 90	38		

Las variaciones de temperatura aumentan ó disminuyen el volumen de los líquidos, y por consecuencia su densidad. Las indicaciones del alcómetro solo son exactas cuando han sido tomadas a la temperatura de 15 grados, á la cual se ha graduado el instrumento; el alcol aparecerá pues mas fuerte de lo que es si la temperatura es superior, y mas debil si es inferior á este término. Las variaciones pueden llegar hasta 12 por 100 del valor del líquido espirituoso desde 0.^o á 30. grados.

Mr. Gay-Lussac ha construido tablas de correccion en donde manifiesta el grado que tendria un alcol tomado á cualquiera temperatura, en la de 15.^o hacen conocer aun los cambios que ha podido experimentar el alcol en el volumen á diversos grados por una elevacion ó baja de temperatura.

En el comercio cuando se hace uso del areometro de Cartier se compra el espíritu de vino á la temperatura de 12,5 y se cuenta un grado mas ó menos de espirituosidad por cada cinco sobre ó bajo esta temperatura; pero no se tiene cuenta de la disminucion ó aumento del volumen de la masa; para el aguardiente solo se cuenta un grado de espirituosidad por cada 10 de temperatura; mas estas indicaciones son poco exactas.

Se construyen aun areómetros que hacen conocer inmediatamente la densidad del líquido en que se los sumerje; se hace facil-

mente un areómetro patron de este género graduando el instrumento en líquidos cuya densidad sea conocida, y basandose en que á cada densidad corresponde cierto volumen sumerjido; si, por ejemplo, el instrumento se hunde hasta la cima del tubo en agua destilada, en otro líquido cuya densidad sea 2 no se hundirá mas que la mitad de su volumen, y la cuarta parte, si la densidad es 4 &c.

PERDIDA DE PESO EN EL AIRE.

DE LOS AERÓSTATAS.

Un cuerpo sumergido en el aire es comprimido de todos lados por el fluido que le rodea, y pierde en él una parte de su peso igual al del volumen de aire que desaloja. El hecho está probado por la esperiencia siguiente: se toma un pequeño fiel de balanza *fig. 105* que lleva en una de sus estremidades una esfera de pequeño diámetro, y en la otra una mucho mas gruesa. El peso de estas bolas debe ser tal que en el aire hagan equilibrio, ambas experimentan una pérdida de peso igual al peso de aire que desalojan, mayor por consiguiente para la mas gruesa que para la pequeña, ha sido preciso pues aumentar su masa para compensar esta pérdida mayor. Si se coloca el aparato en el vacío, el efecto del aire es destruido, y la bola gruesa por el exceso de su peso hace inclinar el fiel hácia su lado. Cuando se pesa un cuerpo en el aire no se obtiene su verdadero peso; pero la diferencia no merece la pena de ser tomada en consideracion si no se trata de esperiencias delicadas; en las investigaciones sobre la densidad se estima facilmente la pérdida igual á la $\frac{1}{773}^a$ parte del peso de un volumen de agua semejante que es necesario apreciar para la esperiencia.

Si un cuerpo es mas ligero que el aire no reemplaza el peso

de un volúmen de este aire que desaloja, y por lo mismo es elevado á las capas superiores de la atmósfera hasta que tengan igual densidad que él. A esto se reduce toda la teoria de los aeróstatas ó globos aerostáticos, reducidos á un aparato construido de tal modo que su densidad total, comprendidas las cubiertas, el tastre y el aeronauta sea menor que la del aire.

Los hermanos Montgolfier inventores de los globos empleaban la llama de los cuerpos ligeros para tener caliente y dilatado el aire contenido en un estenso envoltorio de papel. Charles propuso reemplazar el aire caliente con gas hidrógeno, y desde entonces siendo suficiente la ligereza del gas para la ascension, se vieron desaparecer los motivos de incendio, es decir, la mayor parte de los peligros á que se hallaba espuesta una máquina tan frágil.

Al partir el aeronauta no llena completamente el globo de gas; y como de este modo tiene una densidad poco diferente de la del aire se eleva con velocidad moderada; á medida que llega á region mas alta encuentra en ella un aire mas ligero, y el gas hidrógeno se pone en equilibrio con este, porque se dilata y mantiene la relacion de tension que existia entre ambos gases al partir; este efecto continúa hasta que el globo se ha llenado enteramente. Si hubiera estado lleno en un principio no siendo contrabalanceada la presion ejercida interiormente por la del aire exterior en lo alto hubiera podido romper las cubiertas. Si elevándose el gas conserva sus relaciones de densidad con el aire atmosférico, entran en la construccion de los aeróstatas materias pesadas que conservan su volumen y su densidad, y que tarde ó temprano establecen la igualdad de peso entre la máquina y la atmósfera que la rodea.

Lleno el globo, si contiene el gas á una tension mayor que la del aire exterior, puede subir el aeronauta, abriendo una válvula que deje salir parte del gas comprimido, digámoslo asi: Para descender hará salir mayor cantidad de gas por que la densidad total del instrumento aumente y comience á efectuarse la caída

cuya velocidad puede moderar el lastre arrojándolo con inteligencia, y así el aeronauta llega á tocar la tierra sin ningun sacudimiento ni grave accidente.

Los aeróstatas corren el espacio con gran velocidad: Mr. Green ha andado mas de 32 leguas en una hora, sin que la corriente de aire le hiciera advertir tal rapidez, aunque su globo se hallaba en medio de ella; el aeronauta puede subir ó bajar como hemos dicho en tan frágil embarcacion; pero todas las tentativas hechas hasta ahora para dirigir los movimientos horizontales de la máquina han sido infructuosas.

HIDRODINAMICA.

Es la ciencia que trata de los movimientos de los líquidos: la hidráulica es la aplicacion de esta ciencia al establecimiento de los conductos y máquinas de agua.

El estudio de la hidrodinámica se complica á cada instante con los movimientos que nacen de la extrema movilidad de los líquidos, y que añaden sus efectos secundarios á la accion principal. Se admite como hipótesis general que un líquido está formado de capas delgadas horizontales que descienden sin separarse cuando el líquido corre hácia abajo, formando así una capa mas delgada cuando el vaso es mas ancho y mas gruesa cuando es mas estrecho.

Para estudiar los fenómenos de la hidrodinámica es preciso hacer correr los líquidos bajo una presion constante; tres medios diferentes conducen á este resultado.

1º. El *repleto*, (Trop-plein) está representado en la *fig. 106*; *r* es un reservatorio de agua, *v* una caja en la que el nivel del líquido debe permanecer siempre el mismo, o la corriente de desa-

gue, s una válvula que sirve para arreglar la llegada del agua de modo que entre por la abertura que deja dicha válvula, igual cantidad á la que sale por la parte lateral o: lo que se consigue cuando el nivel no cambia; c c' es una cagita en la cual está sumergido el tubo t; la utilidad de estas dos piezas consiste en impedir la agitacion en el líquido á medida que penetra en la vasija v.

2.º El *flotador*, (floteur) de Prony, *fig.* 108. Su construcción está fundada en el principio de Archimedes; v v es un vaso que contiene agua; f f es otro vaso flotador provisto en su parte inferior de las varillas tt en las cuales está suspendido el vaso v', e es un tubo de vidrio que sirve para indicar el nivel del líquido en v, o es un conducto para hacer salir el agua de v. Supongamos el aparato en reposo, el flotador f se sumerge en el líquido hasta haber desalojado un peso igual al suyo propio, al de las varillas y al del vaso v', porque todas estas piezas forman un solo cuerpo. Ahora bien, cuando se da paso al líquido por o su nivel baja en v; pero como al mismo tiempo debe caer en v', aumentará la masa del sistema flotador precisamente en la cantidad de un peso igual al desprendido; el flotador se hundirá mas y mantendrá así el líquido en v á un nivel primitivo.

3.º *Frasco de Mariotte*. Esta vasija sirve para obtener una caída ó corriente de agua constante. Sea un frasco, *fig.* 109, que contenga agua y aire, un tubo abierto en sus estremidades penetrará por la tubulura t exactamente cerrada, y este tubo descenderá en el agua, de manera que su estremidad a esté á la misma altura que la abertura o que se abre ó se cierra á voluntad. Dispuestas así las cosas, el aire comprime en a la superficie del agua del tubo, y en o la abertura lateral, interiormente tambien con una cantidad igual en la superficie del agua de el frasco: si se da paso al líquido por la abertura lateral, corre prontamente por el tubo a obligado por el peso del aire, y su nivel se halla bien pronto en la parte inferior del mismo tubo. A medida que baja el agua, se

aumenta el espacio en v , el aire se dilata y su fuerza elástica disminuye; pronto este gas interior y el peso de la columna de agua de a á v son solo suficientes para hacer equilibrio á la presión atmosférica; en este momento cesa toda corriente, porque el frasco de Mariotte ha llegado á ser un verdadero barómetro en el que la presión del aire ejercida en a y en o hace equilibrio á la columna de agua y de aire dilatado, precisamente como al mercurio en el barómetro ordinario. Si se levanta el tubo a , fig. 110, sobre el nivel de la abertura o , la corriente continuará con una velocidad siempre igual hasta que el nivel del líquido en el frasco sea inferior á la estremidad del tubo a ; al paso que baja el agua se ven burbujas de aire atravesarla desde esta estremidad. En efecto, en esta disposición el peso del agua y del aire sobre a es siempre sostenido por la presión atmosférica que se ejerce en este punto; la corriente de agua ha disminuido la presión interior, entra una porción de aire en la cavidad y compensa por su fuerza elástica la pérdida que ha restado á beneficio de la corriente de agua; este efecto continua hasta que el nivel del líquido es inferior á la estremidad del tubo a ; pues que mientras dura la corriente, las capas de agua superiores son sostenidas por el aire atmosférico, y no contribuyen á la velocidad de aquella corriente lateral; esta velocidad solo está determinada por el espesor de la capa de agua comprendida entre a y o y siempre constante.

Se puede reemplazar la abertura lateral por un sifon, como se ve en la figura 111.

Theorema de Torricelli. Las moléculas líquidas al salir de un orificio tienen la misma velocidad que si hubieran caído libremente en el vacío de una altura igual á la del nivel sobre el centro del orificio. Este theorema se prueba con facilidad, si se reflexiona que la velocidad de una molécula lanzada verticalmente es la que pudiera adquirir cayendo de la misma altura á que llega, y que si se abre la llave lateral del vaso v lleno de líquido, fig. 112,

este se lanzará con corta diferencia á la altura del nivel en v (11)

1.º La velocidad de la corriente depende de la profundidad del orificio, y no de la naturaleza del líquido: así en la *fig.* 113 el mercurio y el agua corren con igual rapidez.

2.º Para un mismo líquido, las velocidades de la corriente son entre sí como las raíces cuadradas de la profundidad de los orificios bajo el nivel; porque en efecto, las velocidades de los cuerpos pesados son entre sí como las raíces cuadradas de las alturas de donde caen.

3.º Si la presión ejercida sobre la columna líquida es mayor que la exterior, este exceso de presión obra como una columna equivalente del mismo líquido, y la velocidad es la misma que si el líquido cayera de la cima de esta segunda columna. Lo contrario tendría lugar, si la presión exterior fuera mayor.

Contracción de la vena líquida. La vena líquida es el chorro que sale de paredes delgadas, tiene la forma del orificio y no se divide hasta cierta distancia. Mientras permanece unida y sin división, su superficie aparece pulida y tiene semejanza con un trozo de cristal inmóvil; al salir del orificio se estrecha, después se prolonga, se divide *fig.* 114; la parte más estrecha de la vena líquida se llama la sección contraída. (12)

La contracción de la vena es debida á la divergencia de los filetes líquidos que en todas direcciones se precipitan hacia la abertura. La división de la vena es debida á la gravedad, bien que el aire por su resistencia contribuye asimismo un poco para verificarla; pero de dos moléculas que parten una tras otra, resulta necesariamente, atendiendo á la aceleración de velocidad que les da la gravedad, que la primera adquirirá á cada instante un nuevo escedente de velocidad sobre la segunda: acontecerá, pues, que á cierta distancia se separarán visiblemente; la curvatura de la vena es un efecto ordinario de la gravedad, forma una parábola cuya amplitud aumenta con la velocidad inicial.

La distancia de la vena contraída al orificio puede variar. Pa-

ra una abertura de algunos centímetros solamente en un lado, la distancia es un poco mayor que el radio del orificio; disminuye por pequeñas aberturas, y parece que aumenta por otras mayores. Si la presión es muy débil, el líquido llena el orificio, después resbala hacia el centro y forma un pequeño filete, (*fig. 115*), que Hachette llamaba vena secundaria.

Caños, (ajutages) son unos tubos ó placas encorvadas de diversos modos taladradas; para estudiar sus efectos se les adapta á la pared de un repleto (*trop-plein*) de Prony: hé aquí sus principales efectos observados:

1.^o Un tubo cuya forma interior sea igual á la de la vena no produce efecto.

2.^o Una pared encorvada cuya concavidad esté vuelta hacia el interior aumenta el gasto de la corriente y la disminuye en sentido inverso.

3.^o Un caño cilíndrico no produce efecto cuando la vena pasa por él sin rozarle, lo que acontece ordinariamente si el líquido corre bajo una fuerte presión; y al contrario, si esta disminuye, la corriente aumenta porque el líquido roza al tubo. El aumento de gasto está en la relación de 133 á 100 cuando el diámetro del caño es la cuarta parte de su longitud: es de notar que cuando se establece la adherencia de la vena con el caño se contrae en el interior, como lo verificaria al aire libre.

4.^o Un caño cónico aumenta aun mas el gasto, y sobre todo le aumenta la justa posición de dos conos opuestos, *fig. 116*. Si p^c y s^c toman la forma de la vena, $m n$ es igual á tres veces $o m$, y $t t^c$ á los $17/8$ de s^c ; el aumento de gasto estará en la relación de 150 á 100.

5.^o La presión lateral es menor sobre la pared del caño cuando el líquido está en movimiento, que cuando está en reposo; de aquí resulta interin tiene lugar el movimiento una succión que explica el aumento de gasto, Puede utilizarse esta succión para ele-

var el agua, *fig. 107*, si se adapta un tubo *b c* que comunique con el caño, pues el agua subirá por él y correrá al mismo tiempo que por el caño.

6.º Hay caños que disminuyen el gasto: todo abultamiento en parte del tubo, todo choque de moléculas, y por consiguiente todo remolino, toda reflectacion hacen el gasto mas pequeño.

7.º Los líquidos corren con la misma velocidad ya se sumerja el orificio del conducto en otro líquido de igual naturaleza, ya esté colocado al aire libre, teniendo sinembargo en cuenta la presion que resulta del líquido en que se verifica la corriente.

Unidad de medida para la distribucion del agua. Se llama esta unidad pulgada de fontanero ó pulgada de agua, es la cantidad de agua que sale en un minuto por una abertura circular de una pulgada de diámetro practicada en una pared vertical y cargada con siete líneas de líquido sobre su centro ó de una línea sobre la superficie de abertura: da catorce pintas de agua en un minuto, ó 19,2 metros cúbicos en 24 horas. La media pulgada tiene un orificio de la mitad de diámetro, y solo suministra la cuarta parte del agua dada por la pulgada; la línea solo da $1/144$ que la pulgada. En la distribucion del agua se define con cuidado la naturaleza del caño á causa de la influencia que ejerce en el gasto.

Conductos de agua. Es importante darles bastante anchura para que suministren el agua exigida, y por otra parte es preciso economizar en lo posible aquel diámetro para no aumentar el gasto fuera de proporcion. Se observa que en un conducto de agua pasa por cada seccion del tubo la misma cantidad de líquido en un mismo tiempo; si el tubo se ensancha en un extremo, la velocidad disminuye en él; si se estrecha en el otro, aumenta en este; si es muy largo, el rozamiento puede retardar la corriente hasta el punto de impedir que el líquido salga del reservatorio: se concibe que la presion ejercida por el agua del tubo llega á ser

tambien un obstáculo para la corriente, y esta presion sobre el tubo es menor cuando el líquido corre; si en efecto se abre un pequeño agujero en la pared de un tubo, el chorro líquido será mas fuerte si el agua está en reposo, que si está en movimiento.

Corriente de los rios: es debida á la pendiente de la madre de estos y á la caída del agua que resulta de ella; se los puede comparar á tubos solo en parte llenos. La velocidad de un rio cualquiera es retardada por el rozamiento sobre su lecho; aumenta cuando crece el agua, porque los rozamientos sobre las paredes no crecen en igual proporcion. El curso de un rio amina su fuerza por donde se estiende, y la aumenta cuando se contrae su latitud, efecto fácil de reconocer al paso por los puentes. Todas las partes de una corriente no tienen la misma velocidad, el rozamiento la hace menor en el fondo y las orillas, es la mayor posible en el filete de la superficie que corre á igual distancia de ambas orillas, y de esto resulta que si todos los filetes tubieran una velocidad comun, esta seria 0,8 en el máximo, y el volumen de agua que correria seria el que pasa realmente: se reconoce por lo demás esta velocidad atendiendo al espacio que corren los cuerpos ligeros arrastrados por el agua. El Sena en París tiene una velocidad média de 0,80 metros por segundo, y en las aguas bajas de 0,65 metros, ó dos leguas por hora.

Olas. Arrojada una piedra en el agua ocasiona un movimiento de ondulation que se propaga á gran distancia, y puede durar bastante tiempo: en el punto mismo en que cae la piedra hace bajar el agua á su contacto, y las capas vecinas por el contrario son levantadas: estas se lanzan á volver á tomar su primera posicion, la pasan, vuelven á ella, la repasan aun y continúan por largo tiempo moviéndose como los cuerpos elásticos: el efecto se comunica á las capas vecinas que le propagan á su turno, y de ahí resulta un movimiento oscilatorio, no de traslacion que se ejecuta de arriba abajo, y vice versa, siempre en sentido contrario en

las capas que están en contacto. Una ola de mediana latitud tarda 8 segundos $\frac{1}{2}$ en recorrer 4 metros; esto puede utilizarse para medir próximamente la latitud de un canal.

Chorros de agua. Un chorro de agua exige cierto reservatorio elevado y una abertura practicada en placa delgada de metal: se eleva poco mas ó menos á la altura del nivel en el reservatorio, conforme al teorema de Torricelli.

En la construccion de un surtidor de agua se da la direccion un poco oblicua al caño, porque si fuera exactamente vertical, las porciones de agua que caerian pondrian con su choque cierto obstáculo á la elevacion de la columna líquida; y verificandose esta elevacion con alguna oblicuidad no vuelven á caer las partículas primeramente ascendidas sobre el mismo chorro sino á cierta distancia. Sinembargo nunca tiene el surtidor toda su altura teórica por la resistencia que ocasiona el rozamiento y el obstáculo del aire.

Ruedas de canalones. (*Roues á augets*) fig. 117. El agua corre sobre ellas y determina el movimiento por su choque y por su peso. Las ruedas de canalones son las mas poderosas de todas; se las da enormes dimensiones en longitud y latitud; su movimiento rotatorio es lento, y la diferencia entre los canales de conduccion y de desagüe debe ser igual al diámetro de la rueda.

Ruedas laterales (*de coté,*) fig. 118, giran por el peso del agua y por el choque resultante de la velocidad adquirida: son muy comunes en los molinos, y muy veloces. Mr. Poncelet ha aumentado su potencia guarneciéndolas de paletas encorvadas.

Ruedas pendientes: difieren de las precedentes en que las paletas ó dientes (aubes) se sumergen en el agua, las toca la corriente y las da movimiento; tienen la ventaja de que su construccion es muy sencilla, y se las puede establecer sin caída de agua.

Turbinas: son ruedas horizontales de paletas encorvadas; su eje ocupa el centro de una especie de cuba atravesado por la

corriente de agua, esta llega por lo alto y sale por el fondo ; el interior está guarnecido de paletas encorvadas y de tabiques convenientemente dispuestos para dirigir el agua á la cavidad de estas paletas.

MOVIMIENTO DE LOS GASES.

Los gases se conducen en sus corrientes de una manera poco diferente de los líquidos; no siendo muy fuertes las presiones á que se sujeten, puede admitirse que se conforman al teorema de Torricelli: (13) la contraccion de la vena gaseosa es bastante análoga á la de la vena líquida, y el gasto varia tambien con la forma de los caños, y difiere poco del gasto teórico cuando se usa un tubo cilíndrico algo ensanchado.

Al escapar los gases por una abertura producen un movimiento de retroceso á la manera de los líquidos. Despues de haber adaptado una vejiga llena de gas al aparato, *fig. 119*, cuyo brazo *a b* puede girar sobre sí mismo, se establece un movimiento de rotacion cuando el gas comprimido sale por las aberturas *a b*.

El gas que sale por una abertura un poco ancha, se dilata á su salida, y pierde parte de su fuerza elástica. Aproximando á la superficie plana *a b* *fig. 120*, de la que sale una corriente de gas, el disco de carton *c*, este es sostenido á corta distancia de la abertura por la presion del aire que llega á ser mas fuerte que la del gas saliente. Este fenómeno se ha mostrado en las máquinas de soplar y en las aberturas practicadas en la pared de las máquinas de vapor.

Para tener una corriente constante de gas, se hace llegar á

un vaso lleno de él cierta corriente constante de líquido obtenido con el frasco de Mariotte ó por cualquier otro medio. En el desprendimiento de gas para el alumbrado, la construccion y uso de los gasómetros conduce al mismo resultado poco mas ó menos; en efecto, comprimiendo el gasómetro con su propio peso sobre el gas contenido en él, le hace estar en una presion mayor que la exterior, y le mantiene en este estado por todo el tiempo que dura la corriente, pues que la pérdida de peso que experimenta el gasómetro sumergiéndose en el agua es muy poca cosa para causar un cambio notable en su presion.

Las corrientes de gas se establecen con facilidad en lugares abiertos; las vemos reproducirse á cada instante en la atmósfera, y en nuestras chimeneas se verifican aun cuando haya poco fuego en el hogar; se forman tambien al punto que establecemos comunicacion entre dos salas calientes pasando una de las corrientes por lo alto de la puerta y otra por lo bajo.

El viento no es otra cosa que una corriente de aire continuo, nace siempre que se produce en un parage cambio de presion ó de temperatura: se distinguen dos suertes de vientos: los de impulsion que se hacen sentir desde luego en los lugares mas aproximados á su punto de partida, y los vientos de inspiracion que son percibidos en los puntos mas lejanos por su posicion del parage que la direccion del viento pudiera hacer mirar como su punto de partida.

Los vientos soplan en todas direcciones, al norte, al sur, al este, al oeste y en las intermedias, distinguiéndose hasta treinta y dos rumbos diferentes. Muchas veces la atmósfera tiene en diversas alturas corrientes que no llevan la misma direccion.

En general en la superficie de la tierra el viento sopla casi horizontalmente.

Se conocen algunos vientos regulares, á saber: 1.º los Alisios que siguen en los trópicos la direccion del Sol, esto es, soplan de

este á oeste: 2.^o los Monzones, (de los cuales) cada uno reina seis meses; se hacen sentir sobre todo en el mar de las indias, unos desde Abril á Octubre, y otros desde Octubre á Abril: 3.^o la Brisa se hace sentir cerca de las costas; se levanta la del mar hácia las ocho de la mañana, aumenta hasta las tres, y disminuye hasta las seis de la tarde; á esta hora comienza la de tierra y dura toda la noche. Calentandose luego la tierra mas que el mar, la atmósfera terrestre se eleva á medida que recibe calor, y es reemplazada por el aire frio del mar; por la noche sucede lo contrario porque este se enfria con mas lentitud.

La velocidad del viento es muy variable: cuando apenas es sensible recorre 0,5 metros en un segundo, el viento moderado 2 metros, el fuerte 10, el de tempestad 22, el huracan 36, y el mismo huracan cuando trastorna los edificios 45 metros.

La presion que ejerce el viento sobre los objetos depende de su velocidad: la ejercida sobre la superficie de un pie cuadrado para un viento apenas sensible es de 4 gramas, para el viento fresco de 35 á 60 gramas, para la brisa fuerte de 1400 y mas, para una fuerte tempestad de cerca 6000, y pasa algunas veces de 22000 gramas en ciertos huracanes.

Los movimientos que imprimen los vientos á la atmósfera tienen la ventaja de mezclar sus diversas capas y purificar el aire; conduciendo el oxígeno á los puntos que lo han perdido, y separando los miasmas y los vapores, llevan las nubes de un punto á otro y favorecen asi la lluvia. Se sabe que la fuerza del viento es útil para la marcha de las naves, y que recibéndole en las velas dispuestas de cierto modo, se le puede emplear beneficiosamente para navegar en casi todas direcciones: por su presion hace girar las aspas de molino, y aunque su plano de rotacion es directamente opuesto al viento, como cada aspa está situada oblicuamente, el eje es obligado á girar, y siempre está un poco inclinado al horizonte porque lo está igualmente la direccion del viento,

Los movimientos de los gases en los conductos no han sido aun suficientemente estudiados; sin embargo, las observaciones siguientes hacen buenos servicios en la práctica: 1.º Las resistencias que experimentan los gases para moverse en los tubos de conduccion son proporcionales á los cuadrados de su velocidad média: 2.º La velocidad disminuye en los tubos á medida que son mas largos: 3.º El gasto de gas en un conducto uniforme está en razon directa de la presion en el reservatorio, é inversa de la raiz cuadrada de la longitud del conducto por donde se opera: 4.º Los ángulos, las desigualdades disminuyen la velocidad.

Nuestras chimeneas pueden asimilarse á un sifon, uno de cuyos brazos (la misma chimenea) está lleno de aire vuelto ligero por el calor, y el otro (la columna de aire exterior) de aire frio. El aire caliente sube como mas ligero, y obligado por el que está frio que comprime en el orificio inferior.

Obrando sin cesar la fuerza que impele al aire caliente, el movimiento es acelerado.

La estraccion ó desprendimiento depende de la velocidad de aire caliente; y la experiencia dice que no es menos de un metro por segundo: mayor velocidad aumentaria sin necesidad la cantidad de calor empleado.

Diversas circunstancias tienen una influencia marcada sobre aquel desprendimiento: la longitud de la chimenea aumenta la velocidad del aire; hay no obstante un límite en que el rozamiento acaba por compensar este aumento. En los hornos donde se quiere establecer una combustion fuerte se da hasta 100 pies de altura á la chimenea para activar la estraccion, y es conveniente dejarse guiar un poco por las circunstancias; pues asi como en las chimeneas francesas de nuestras habitaciones la demasiada estraccion renovaria el aire con tanta velocidad que produciria frio, si por el contrario fuese esta muy pequeña causaria humo: en general no deben construirse tubos de chimenea de menos de 10 metros

de altura ; una altura de 5 casi infaliblemente daría humo.

La estraccion aumenta con la latitud del tubo suponiendo al aire suficientemente calentado, pero gasta entonces mucho combustible: tubos de tres á cuatro decímetros de seccion son suficientes aun para las grandes chimeneas: en tubos mas anchos, el aire que asciende no está á veces bastante caliente, la estraccion se debilita y la chimenea produce humo, como acontece con frecuencia en las habitaciones.

La estraccion aumenta cuando el canal que forma la chimenea se estrecha inferiormente; la velocidad del aire en este caso crece en mayor proporcion que disminuye el diametro ó la magnitud del orificio; el estrechamiento de la parte superior produce igual efecto, y la aspiracion se hará igualmente bien con tal que una chimenea se estreche en la parte superior é inferior. Tal construccion estableceria grande ventilacion en nuestros cuartos; pero en muchas chimeneas que existen en ellos se arregla la magnitud del orificio inferior por medio de una placa movable.

La forma de los conductos influye tambien en la estraccion, es mayor en tubos circulares, porque en igualdad de seccion la superficie es menor, y por consecuencia tambien el rozamiento: importa muy poco, por otra parte, que el conducto se eleve desde luego verticalmente, ó que sea horizontal cierta porcion de la chimenea, siempre que en la parte vertical esté el aire suficientemente caliente. Se ha reconocido que la velocidad es mayor en las chimeneas de fundicion, menor en tubos de *tola* ó hierro laminado, y aun menor en los conductos de ladrillo.

Es un punto importante el suministrar aire suficiente para que alimente la combustion: á este efecto en la construccion de los hornos se da una ancha abertura al cenicero; en nuestras habitaciones entra el aire frio por las rendijas de puertas y ventanas; así estando el cuarto perfectamente cerrado, y no pudiendo establecerse la corriente, la chimenea ahumará. Hay ventaja en no dejar penetrar aire frio,

una de las mejores disposiciones para conseguirlo consiste en establecer en la chimenea tubos ascendentes que atrabiesen una caja, en la cual se calienta el aire exterior y en seguida pasa hacia el piso de la sala.

La acción que ejercen una sobre otra las dos corrientes de aire que se encuentran merece ser estudiada con algunos detalles: su efecto es nulo si teniendo ambas la misma velocidad se conducen libremente una contra otra, ó si teniéndola diferente se hallan separadas por un diafragma ó tabique en su punto de union, *fig. 121*.

Una corriente mas rápida rechazaria á la otra y marcharia sola por el canal central: que *a b*, *fig. 122*, tenga su maximum de velocidad, y la corriente *c d* será interrumpida; pero si *a b* no tiene su mayor velocidad, se establecerá una velocidad média, y las dos corrientes seguirán por el canal central. Asi cuando se quiere establecer una chimenea de concurrencia ó reencuentro (*d' appel*) sin hacer pasar aire frio al hogar se da á la chimenea mayor diámetro del que produciria la velocidad máxima del aire caliente; tambien se pudiera no aumentar este diámetro estableciendo un diafragma en el orificio del canal de aire frio, *fig. 123*.

Si la corriente de aire caliente se dirige horizontalmente en la chimenea de concurrencia, y si es rápida, la atraviesa en su latitud y se opone al paso de la columna de aire frio, lo que se remedia estableciendo un diafragma que cambie la direccion de la corriente caliente, *fig. 124*.

El viento que sopla en la estremidad de una chimenea produce el efecto de una corriente sobre otra corriente: si es horizontal encorva la columna de humo y en nada cambia la velocidad del desprendimiento; y si es vertical choca directamente á la corriente de aire caliente, la disminuye ó la detiene; un viento oblicuo hace humear principalmente; se produce con frecuencia por la reflexion del mismo viento cuando cualquier edificio domina á la chimenea. La observacion ha enseñado que se necesitan dos me-

tros de velocidad por segundo para que el humo no retroceda con un viento ordinario, se le da esta velocidad estrechando la abertura superior de la chimenea por medio de una especie de mitra: se emplean tambien con el mismo fin diversos aparatos que ofrecen mas ó menos ventaja.

Acontece muchas veces que algunas chimeneas se comunican, y una hace humear á la otra. Cuando el aire de una sala sirve para alimentar la chimenea de otra vecina, se establece la aspiracion en dos direcciones diferentes que se contrarían y perjudican á la estraccion. El remedio consiste en establecer ventiladores que tomen el aire del exterior y alimenten á cada chimenea uno. Tambien acontece cuando se comunican muchas chimeneas que la ascension del aire caliente se establece en la mas fuerte, y que una corriente de aspiracion de arriba abajo se verifica en las chimeneas próximas.



FENOMENOS MOLECULARES.

Resultan de la accion que las moléculas ó partículas de los cuerpos ejercen unas sobre otras para atraerse ó desecharse: la atraccion de las moléculas se llama cohesion, está demostrada por la adherencia que algunas superficies planas contraen con el solo efecto de su contacto, nada influye en ella el espesor de los cuerpos que se ponen en presencia; el efecto tiene lugar sobre una superficie infinitamente pequeña, y de esto es permitido deducir que el estado de solidez de un cuerpo no es debido á otra causa.

La fuerza repulsiva de las moléculas se manifiesta en una multitud de circunstancias; por ella algunos cuerpos comprimidos recobran su volúmen primitivo.

La fuerza atractiva de las moléculas varía con la distancia, la fuerza repulsiva con la distancia y el calor; la proporcion que respectivamente guardan estas dos fuerzas produce el estado de los cuerpos.

SOLIDOS.

En estos cuerpos las fuerzas repulsivas y atractivas se hacen equilibrio; sus moléculas adhieren de tal modo, que no se las puede hacer cambiar de posicion sino en corta cantidad. El carácter esencial de los sólidos es la orientacion de los ejes de las partículas; si se los separa de esta posicion vuelven á ella oscilando, y las diferencias en la misma posicion ó en la direccion de las moléculas inducen modificaciones en las propiedades.

Dureza. Esta propiedad es relativa; de dos cuerpos es mas duro aquel que raya al otro: el diamante es el mas duro de todos los conocidos; el rubí, el záfiro tienen mucha dureza, tambien los cristales de sílice, algunas veces su masa tiene poca consistencia, pero siempre las partículas manifiestan gran dureza; el polvo de carbon puede servir para pulir cristales, y la creta ó tiza para limpiar los metales.

Tenacidad. Es la resistencia de los cuerpos á romperse, sirve para medir la cohesion; la tenacidad de los cuerpos puede consistir en su resistencia á la presion ó á la traccion: la primera ha sido observada sobre todo en las piedras, todas no tienen la misma solidez; se ha notado que resisten mejor á la presion cuando están colocadas en la posicion que ocupaban en la cantera; que resisten mejor cuando tienen la forma de un cilindro circular que cuando constituyen un prisma de base cuadrada, y sobre todo un prisma paralelográfico.

Galileo observó que un cilindro hueco resiste mejor que un cilindro lleno; los huesos largos y huecos de los miembros deben á esta forma una gran solidez.

La resistencia á la traccion es menor que la resistencia á la presion; en un metal cambia con la latitud de la seccion en un mismo cuerpo segun su estado molecular; asi los metales forjados tienen mas tenacidad que fundidos, el hilo de hierro ó alambre mas que el hierro en barras. Este es el orden de tenacidad de los metales:

Hierro, idem laminado ó tola, fundicion, metal de cañones, cobre batido, cobre laminado, platino, plata, oro, estaño, zinc, plomo.

En las cuerdas la resistencia á la traccion es proporcional al cuadrado del diámetro. Si una cuerda de 1 centímetro de diámetro se rompe con el peso de 400 kilogramas, otra de 2 centímetros solos se quebrará por 1600, La torsion ó torcedura de las

cuerdas disminuye su fuerza, porque cambiando la longitud de los hilos ha e que no estén todos estirados con igualdad; los mas cortos lo están mas y se rompen los primeros, la cuerda se debilita otro tanto y se van rompiendo sucesivamente los demás.

Ductilidad Maleabilidad. Estas propiedades dependen de que las moléculas de los cuerpos pueden resvalar unas sobre otras, sin separarse. La ductilidad se entiende principalmente en los cuerpos que se estiran á la hilera, la maleabilidad ó martillado en los que se estienden por la accion de los cilindros ó el choque del martillo.

Orden de ductilidad de los metales en la hilera: platino, plata, hierro, cobre, oro, cinz estaño y plomo.

Id. en el laminador ó cilindros: oro, plata, cobre, estaño, plomo, zinc, platino, hierro.

Id. por el martillo: plomo, estaño, oro, zinc, plata, cobre, platino, hierro.

Templadura. Consiste en sumergir un cuerpo caliente en un líquido frio, su modo de obrar es desconocido, y en cuanto á sus efectos se reducen ya á endurecer los cuerpos y hacerlos mas consistentes, ya por el contrario á darles mas maleabilidad: el acero, el hierro se hacen mas duros por esta operacion; el tantan y los cymbalos llegan á ser dúctiles. Los efectos de la templadura son tanto mas pronunciados cuanto mas calentados y mas repentinamente enfriados han sido los cuerpos; como seria muy difícil apreciar exactamente las altas temperaturas se comienza (para el acero á lo menos) por darle una muy fuerte templadura, y despues se le vuelve á calentar hasta cierto punto para destruir una parte del efecto producido.

Cristalizacion. Los cuerpos sólidos que se forman en ciertas condiciones toman una forma simétrica; sus partículas se depositan siguiendo un orden regular, y dan origen á cuerpos de superficies planas, de ángulos bien determinados que toman el nombre de

cristales. La propiedad de cristalizar parece que pertenece esencialmente á todos los sólidos, bien que la cristalización no se muestra siempre con evidencia; acontece que los cristales aglomerados en masa uniforme solo son visibles en circunstancias particulares. Se reconoce su presencia en la estructura cristalina que presenta la fractura de ciertos cuerpos, otras veces aparece cuando se quita la superficie de materia exterior que ocultaba los cristales; así en el *moaré* metálico se manifiesta la cristalización del estaño bajo formas muy variadas, cuando despues de haber calentado la hoja de lata se le trata por una agua acidulada; los dibujos que se observan en el acero damasquinado son debidos tambien á una cristalización.

Un cristal está formado por la reunión simétrica de cristales pequeños, lo que se ve muy bien cuando se quiebra un trozo de espato de islandia, pues cada una de las pequeñas partes que se separan es un cristalito rhomboidal. Acontece muchas veces que estos cristalitos tienen diferente forma que el principal de que proceden. Puede dividirse un cristal en diversos sentidos por la separación de las láminas que á veces se desunen con gran facilidad; esta operación toma el nombre de *talladura*, (*clivage*). Tallando el cristal del modo que puede ejecutarse esta operación, llega á obtenerse otro de forma particular que los mineralogistas llaman forma primitiva; la miran como la de las últimas moléculas; estas asociándose de una manera variable dan origen á todas las formas secundarias que un cuerpo puede presentar, y que pueden referirse á la primitiva. Existen un gran número de cuerpos cuyas formas todas pertenecen á un mismo sistema cristalino; hay otros en bastante número que tienen un sistema comun de cristalización; en fin, otros afectan formas que pertenecen á dos sistemas diferentes de cristalización: tales son el azufre, la cal carbonatada. Los cuerpos que se hallan en este caso se llaman dimorfos, y dimorfismo la propiedad de tener dos sistemas de cristalización.

Se hace cristalizar á los cuerpos por fusion, volatilizacion, solucion. Para obtener una cristalizacion por fusion se funde el cuerpo al fuego, se le deja enfriar hasta que se forme en la superficie una costra sólida, se rompe esta costra, y se vierte la porcion de materia aun líquida: los cristales formados quedan asi desprendidos de estas porciones de materia que les hubieran recubierto tomando el estado sólido. Este procedimiento sale muy bien con el azufre y los metales muy fusibles. Cuando los vapores de un cuerpo se solidifican por enfriamiento, se reunen muchas veces de modo que forman cristales simétricos; el arsénico, el ácido arsenioso, el sulfuro, yoduro de mercurio y otros cuerpos suministran ejemplos de esto.

La solubilidad de los cuerpos en los líquidos da un medio fácil de obtenerlos cristalizados; si un cuerpo es mas soluble en caliente que en frio, sus cristales se depositan cuando la solucion llega á enfriarse: en todo caso se forman á medida que la evaporacion concentra el líquido. (*)

Isomorfismo. Es una propiedad singularmente notable de los cuerpos; consiste en que una molécula puede reemplazar á otra de diferente naturaleza, sin que por eso cambie la forma cristalina; á lo mas se observa alguna diferencia en la medida de sus ángulos. Las materias que se reemplazan asi se llaman isomorfas; tienen siempre una constitucion química semejante: la cal, la magnesia, los protóxidos de hierro, de cobalto, de níquel, de plomo &c. son isomorfos, tienen de comun el estar formados de un átomo de metal y otro de oxígeno. El peróxido de hierro, el óxido de cromo, la alumina contienen dos átomos de metal y tres de oxígeno, y son tambien isomorfos entre sí.

Cambio de forma. Uno de los fenómenos mas raros que nos presentan los sólidos es el cambio de forma que se ha notado en mu-

(*) Se consideran por lo comun necesarias las condiciones de *espacio, reposo y tiempo* dilatados para que la cristalizacion sea la mas regular posible.

chos de ellos, consiste en un movimiento molecular por el cual toman las partículas un nuevo orden simétrico, sin necesidad de haber pasado por el estado de liquidez: un gran número de transformaciones de este género han sido observadas por Mr. Mitscherlich. He aquí algunos ejemplos: si se calienta la cal sulfatada, cambia su estructura interior; los cristales prismáticos de sulfato de zinc, de níquel se convierten en una aglomeración de octaedros; el sulfato de magnesia espuesto al sol, y el de zinc calentado en alcohol hasta la ebullición pierden su transparencia, y son formados entonces de aglomeraciones cristalinas de formas diferentes de los cristales de que traen su origen.

LÍQUIDOS.

Contienen mas calor que los sólidos, y los efectos de la fuerza repulsiva son mas pronunciados en ellos. Si contienen orientacion de partículas, su efecto es muy débil, y estas ceden fácilmente al menor esfuerzo cambiando de posicion y de direccion.

La repulsion entre las partículas liquidas está demostrada por la propiedad que se reconoce en ellas de formar vapores, y más directamente por la de recobrar su volúmen al punto que se cesa de comprimirlas; la resistencia enorme que los liquidos oponen á la compresion indica bastante que esta repulsion es muy grande.

La atraccion entre las partículas liquidas se manifiesta débil; se las puede separar sin grande esfuerzo: sinembargo aquella atraccion se demuestra por la propiedad que tienen los liquidos de reunirse en gotas, por la accion recíproca de dos gotas vecinas que se reunen en una. Basta ver una gota de agua suspendida á la estremidad de un tubo de vidrio para deducir de esto con razon la

atracción mútua de las partículas líquidas ; porque si la afinidad del líquido y del vidrio explica su adherencia en el punto de contacto, las porciones de líquido mas lejanas, que apesar de la gravedad quedan suspendidas, solo pueden deber su resistencia a su mútua atracción. Una esperiencia muy curiosa acredita esta adherencia ; se suspende en equilibrio un disco de vidrio ó de otra materia al fiel de una balanza; se pone la superficie inferior de este disco en contacto con el agua, con lo que será preciso un peso considerable para levantarlo; la separacion tiene lugar no en el punto de contacto del metal con el líquido, porque aquel queda mojado, sino en cierta capa de agua inferior: aunque se cambie la naturaleza del disco, los efectos son los mismos con un mismo líquido: tambien prueba esta esperiencia la atracción de los líquidos para con los sólidos.

GASES.

En los cuerpos gaseosos ha aumentado la cantidad de calor así como el volúmen; la fuerza repulsiva es predominante, y no se pueden mantener sus moléculas en límites determinados no ejerciendo sobre ellas una presión. Las fuerzas atractivas son insensibles, desaparecen ante la fuerza repulsiva; la repulsion en los gases es segun Poisson la diferencia entre la atracción y la repulsion; esta predomina á la temperatura y en circunstancias ordinarias; pero hay alguna que otra circunstancia en que pudiera ser sobrepujada: segun Mr. Poisson, no domina en las regiones elevadas de la atmósfera, y el aire constituye allí un verdadero líquido, si bien la distancia entre sus moléculas debe ser infinitamente mayor que en la superficie del suelo.

Los gases tienen para los sólidos una atracción, en cuya virtud

adhieren á su superficie: se halla adherente sobre todos los sólidos una capa de aire que se muestra con evidencia: si despues de haber sumergido el cuerpo objeto de la esperiencia en un líquido se le coloca bajo el recipiente de la maquina neumática, las burbujas de aire crecen al punto y llegan á manifestarse mas á medida que disminuye la presion superficial: á la atraccion indicada es debida la absorcion de las sustancias gaseosas por los cuerpos porosos, es tremamente notable en algunos de ellos. Mr. de Saussure ha observado que una parte de carbon de leña absorve 90 de gas amoniac; 85 de gas hidrocórico, 55 de hidrógeno sulfurado; 35 de ácido carbónico, 9,25 de oxígeno; 7,5 de ázoe, 1,75 de hidrógeno en volumen &c.

La atraccion de los gases para los líquidos está probada por su disolucion; la solubilidad es diferente en cada uno de ellos, y presenta algunos fenómenos generales que se deben anunciar. El volumen de un gas disuelto en un líquido, conducido á la presion á que ha sido absorbido, representa siempre cierta fraccion del volumen del líquido; esta fraccion es la misma para cada líquido y cada gas en presiones diferentes, si existen muchos gases en la atmósfera que cubre á un líquido, cada uno de ellos se comporta como si estuviera solo.

Cuando la disolucion de un gas está en contacto con una atmósfera que contenga gases diferentes, cierta porcion de los gases disueltos pasa á la atmósfera, y otros gases de la atmósfera entran en disolucion; asi el hidrógeno y ácido carbónico conservados sobre agua se disolverán en corta cantidad, mientras que la parte restante quedará mezclada con oxígeno y ázoe.

ELASTICIDAD.

Si un cuerpo comprimido recobra su volúmen cuando la compresion cesa, tiene elasticidad, se dice que es elástico: si pasando la compresion de ciertos limites el cuerpo no vuelve á su volúmen, el punto en que cesa de volver sobre sí mismo forma el límite de su elasticidad.

Cuando un cuerpo es comprimido, cambia la posicion de equilibrio de sus particulas, su volumen disminuye; pero aumenta al mismo tiempo la fuerza repulsiva, que es la que reduce los cuerpos á su primer estado. Pero las moléculas solo vuelven á su posicion primera á consecuencia de numerosas oscilaciones; pasan su punto de equilibrio, vuelven hácia atras, le vuelven á pasar aun, hasta que en fin hayan usado de todo su movimiento. Este efecto se observa facilmente en un palo ó una cuerda estendida que se separe de su direccion normal.

Todos los cuerpos tienen una elasticidad perfecta, con tal que no se pase el límite de elasticidad que les es propio, muy diferente para cada uno de ellos, siendo tanto mas elásticos cuanto mas lejano esté este límite.

La elasticidad varía aun en un mismo cuerpo: así es que los metales son mas elásticos cuando han sido martillados, laminados, pasados por la hilera; el acero tiene tambien mas elasticidad despues de templado. Se manifiesta en los cuerpos esta propiedad cuando se les comprime, se les estira ó se les dobla.

La elasticidad por compresion es perfecta en los líquidos y en los gases, recobran exactamente su volumen cuando cesa la fuerza comprimente: los últimos son muy compresibles y siguen en la disminucion de volumen una ley regular.

Los líquidos son un poco compresibles, han sido estudiados bajo este aspecto por Oersted, Colladon y Sturm. Según estos últimos observadores la compresibilidad de algunos expresada en millonésimas del volumen primitivo y ejercida por la presión de una atmósfera es la siguiente: mercurio 3,38; agua 49,65; esencia de trementina 71,35; alcohol 94,95; éter 131,35.

La elasticidad de los sólidos por la presión es muy variable; puede asegurarse fácilmente que su volumen experimenta menor disminución por cada nueva presión que se añada: está lejos de tener la perfección que se observa en los líquidos y gases; sin esta diferencia una medalla recién sellada, se borraría al instante por la vuelta de las moléculas á su posición primera.

La elasticidad por tracción se mide por las prolongaciones que pueden experimentar los cuerpos sin llegar á el límite de su elasticidad. Un cuerpo sometido á la tracción aumenta de longitud y disminuye de grueso; si ha sido estirado fuertemente, no recobra su volumen primitivo; y si aun se le estira mas fuertemente, se rompe. La resistencia de los cuerpos á la rotura constituye su tenacidad: los hilos estirados mas allá del límite de su elasticidad toma un nuevo estado de equilibrio en el que son elasticos aun, y al que vuelven, si no se les estira mas de ciertos límites.

El límite de elasticidad en los cuerpos varia con la duración de la tracción; á veces una vara que ha sostenido cierto peso sin romperse cede al mismo siendo su acción continuada por largo tiempo; algunos cuerpos ensayados por una fuerza no pueden resistir despues á otra prueba mas débil; así se ve que un cañon ensayado con carga triple revienta con la ordinaria; de ahí es que solo se cuenta en la práctica á lo mas con la mitad de la resistencia dada por la experiencia.

Cuando se dobla un cuerpo elástico, una parte de los filetes de moléculas en la superficie convexa se prolongan, y otra parte

de ellos se acortan en la parte cóncava, mientras que los del centro guardan su longitud; la vara se endereza por dos efectos contrarios, la elasticidad de tension de los filetes prolongados, y la de compresion de los acortados; y despues de numerosas oscilaciones á derecha y á izquierda vuelve al estado de reposo: las oscilaciones son isochronas; es decir, que grandes ó pequeñas todas se verifican en igual espacio de tiempo. Nos ofrecen ejemplos de este género de elasticidad las cuerdas de arco ó de ballesta, los resortes rectos ó en espiral, y en ella está fundada la construccion del dinamómetro y de la romana.

El dinamómetro se compone de un resorte $a b c d$, fig. 125, que por el intermedio de una palanca l hace mover la aguja i que marca sobre un cuadrante la cantidad que el resorte ha sido estendido: se aplican á este dos fuerzas paralelas $f f$ que obran en sentido opuesto: se arregla el instrumento determinando el valor del efecto por medio de pesos conocidos.

La romana (Peson), fig. 126, se compone de un resorte doblado $a b c$ lleva la pieza p sobre la que están marcadas las divisiones, está fija en c y se la suspende por medio de un anillo f ; otra pieza arqueada e está fija en la parte superior de la palanca, y de ella se suspenden los pesos. Estas dos piezas e y p fijas cada una en un punto de palanca pueden resbalar facilmente sobre él. Se juzga del peso de los cuerpos por la cantidad que se ha doblado la palanca.

La elasticidad de torsion se mide por la cantidad que un hilo puede ser torcido sobre sí mismo sin que se pase el límite de elasticidad. Coulomb, que se ha ocupado mucho de este asunto, ha inventado un instrumento muy propio para medir la elasticidad de torsion de los hilos; la balanza de torsion, fig. 127, se compone de una caja de vidrio con un círculo graduado dividido en 360.º. Cualquier hilo metálico que se quiera estudiar lleva una aguja bastante poco pesada para no estropearle, y se mide la can-

tividad que ha sido torcido por medio de la pequeña pieza superior *p* que permite ver sobre un cuadrante el número de vueltas de la torsion del hilo.

Coulomb ha obtenido con dicho instrumento los resultados siguientes:

- 1.^o Las oscilaciones del hilo son isochronas.
- 2.^o Sus duraciones son como las raíces cuadradas de los pesos que estiran el hilo; así siendo los pesos 1,4,9,16,25, las duraciones de las oscilaciones son entre sí como 1,2,3,4,5.
- 3.^o Las duraciones de las oscilaciones son entre sí como las raíces cuadradas de las longitudes de los hilos.
- 4.^o Las duraciones de las oscilaciones están en razón inversa de los cuadrados de los diámetros de los hilos. Siendo los diámetros 1,2,3,4,5, aquellas duraciones están entre sí en razón inversa de los números 1,4,9,16,25.

CAPILARIDAD.

Es un resultado de la afinidad de los líquidos para los sólidos; se manifiesta por la elevación del líquido sobre su nivel ó por su descenso de este nivel mediante el contacto de un cuerpo sólido, *fig. 128*; como el fenómeno ha sido observado desde luego en tubos de diámetro muy fino, se le ha aplicado la expresión de capilaridad. Resulta realmente de la propiedad que tienen los líquidos de mojar ó no mojar á los sólidos; así el agua apenas moja á la loza, y menos si tiene mezclado alcohol; el mercurio puro tampoco moja al vidrio.

La ascension de los líquidos que resulta de la capilaridad es un fenómeno muy conocido; por ella un terron de azucar que toca por uno de sus puntos al agua se moja bien pronto todo entero; el

aceite sube á lo largo de la mecha en una lámpara para venir á quemarse en el extremo; la cera se eleva en la torcida de una bugía, y ciertas sales ascienden á lo largo de las paredes de los vasos que contienen sus disoluciones.

La longitud de la columna de líquido levantada ó deprimida por la capilaridad está para los tubos estrechos en razon inversa del diámetro de estos tubos; en nada influye su naturaleza con tal que sean mojados por el líquido; si este se eleva sobre su nivel ofrece la forma de un menisco cóncavo, si baja le ofrece convexo, *fig. 128*; el efecto no es exactamente producido si el tubo no está bien limpio.

Retirando un tubo de pequeño diámetro que ha sido sumergido en un líquido, la altura de este líquido que queda suspendido á él es mayor que la que resultaria del solo efecto de la capilaridad, *fig. 129*; la gota que queda en la parte inferior forma en ella un menisco mas ó menos convexo; cuanto mas gruesa sea la pared tanto mas se ensancha la gota, y en un tubo de paredes delgadas el menisco convexo es casi igual al de la cima.

En un tubo de sifon, *fig. 130*, la elevacion del líquido por efecto de la capilaridad es la misma en cada brazo; pero si llega alguna vez á la estremidad del mas corto, *fig. 131*, puede verse de nuevo líquido en el brazo largo sin que salga por los bordes ó se derrame; desde luego el menisco del brazo corto se aplana, despues la superficie llega á ser convexa en el exterior, y el nivel del brazo alto puede ser dos veces mas elevado que por el efecto de la simple capilaridad; en este momento el líquido vertido en el brazo mayor se derramaria por el pequeño. En un espacio anular como el que dejarian entre sí dos tubos concéntricos, la ascension ó la depression del líquido seria la misma que en un tubo cuyo diámetro fuera doble que el de el espacio anular.

La ley es igual entre láminas paralelas; en efecto, el espacio comprendido entre dos puntos de láminas puede asimilarse á una

porcion de espacio anular. Entre dos láminas inclinadas una hácia otra y verticales, *fig. 132*, el agua se eleva una cantidad diferente en cada punto segun la separacion respectiva de las láminas. La altura de la columna líquida forma una hipérbole equilatera, cuyas asímtotas son la comun interseccion de las láminas y el nivel del líquido.

Si las dos láminas inclinadas se cortan segun una línea horizontal, *fig. 133*, una gota de agua que les toque á una y otra se redondea en un círculo y se precipita hácia el extremo ó vértice del ángulo.

Los sólidos y los líquidos no pueden tocarse sin que la superficie de los últimos experimente una deformacion. En general hay ascension de líquido cuando moja la superficie sólida, y depresion cuando no la moja: es fácil asegurarse de esto, y basta meter una bola de madera *b* y otra de cera *c* en el agua, *fig. 134*, una bola de hierro y otra de estano sobre el mercurio. Dos bolas de la misma naturaleza colocadas sobre un líquido que las moja se atraen mutuamente cuando estan bastante próximas para que se crucen las dos curvaturas del líquido: al contrario, dos bolas de la misma naturaleza se separan cuando colocadas en un líquido que no las moja se hallan á una distancia capilar. La atraccion ejercida en estas circunstancias por los cuerpos flotantes se muestra en los cilindros que colocados sobre el agua se atraen, se colocan paralelamente y vuelven por sí solos á esta posicion si se les ha separado de ella.

Los fenómenos de la capilaridad nos dan la esplicacion de muchos hechos conocidos. Asi el agua que pasa al traves de un filtro penetra en él por un efecto capilar, y se precipita en seguida del lado opuesto obedeciendo á la accion de la gravedad. Si un líquido tiene en disolucion un cuerpo, cuyas propiedades capilares sean diferentes de las suyas, podrá producirse una separacion; los gases disueltos en un líquido se desprenden en parte en el momento

de la filtracion, y el agua despues de filtrada contiene menos aire que antes. La ascension de los líquidos por la capilaridad juega ciertamente mucho en la marcha de la savia vegetal y en la de diversos humores de los vasos animales.

Endósmose. Es un fenómeno observado por Mr. Dutrochet, y que consiste en el trasporte de los líquidos al traves de ciertos cuerpos porosos: para observarle se usa un instrumento que ha recibido el nombre de endosmómetro; se compone de un tubo *t* fijo á un reservatorio *r*, *fig.* 135; este reservatorio está cerrado por una membrana de begiga *v v*. Se coloca el tubo en un vaso de vidrio, despues se vierte agua en el vaso, y otro líquido (alcol) en el tubo, al cuarto de hora se ve que el nivel *n* se ha elevado muchos milímetros, y continúa elevándose mas y mas hasta *n'* por ejemplo: el efecto va mas allá de lo que pudiera producir la capilaridad; y si se examina lo que ha pasado, se verá que el agua del vaso *v* se ha infiltrado al tubo á traves de la vegiga, á pesar de la presion del líquido que tendia á precipitarla. Si la esperiencia se hubiera hecho de una manera inversa, es decir, colocando agua en el tubo y alcol en el vaso, en este se hubiera verificado la ascension. No se da explicacion satisfactoria de este fenómeno, pero de dos líquidos dados fácil es preveer cual de ellos atravesará el diafragma, pues siempre será el que mas bien le moje. Asi es que el agua pasará de preferencia al alcol á traves de una vegiga, y tambien con respecto al agua salada; se puede por lo demas variar mucho en estas esperiencias la naturaleza del líquido y la del diafragma.

Se dice que hay endósmose de un líquido á otro: le hay de agua al agua gomosa, á los ácidos acético, nítrico, hidroclórico, y no al sulfúrico, pero nunca hay endósmose de un líquido á sí mismo. Entre las materias animales la albumina tiene la propiedad de endósmose en el mas alto grado; entre las vejetales el azucar lo cede á la albumina pero muy poco; despues á gran distancia viene la goma, despues la gelatina &c.

En las funciones vitales de los animales y de las plantas el endósmose desempeña ciertamente un papel importante, y poco estudiado hasta el día; en los animales del orden mas inferior parece que la nutricion solo se verifica por endósmose.

ROZAMIENTO.

Es la resistencia que los cuerpos oponen para moverse si estando en contacto se les hace resvalar uno sobre otro: esta resistencia es debida en parte á la accion molecular, porque se la observa aun en los cuerpos mejor pulimentados.

Es costumbre comparar el rozamiento con la presion para valorarle; por ejemplo, una piedra de 100 kilógramas colocada sobre un plano horizontal exige para ser puesta en movimiento un peso de 70 kilògramas, y se dice que el rozamiento en este caso equivale á $7/10$ de la presion. Se puede juzgar con facilidad de la resistencia debida al rozamiento: si se remueve poco á poco un plano sobre el que esté colocada cierta masa, se pondrá esta en movimiento cuando la resistencia debida al rozamiento sea equilibrada por la fuerza que tiende á hacer resvalar la masa. Las consecuencias á que ha conducido la esperiencia son las siguientes: 1.^a El rozamiento aumenta en cantidad igual á la presion; si esta es doble, lo es tambien aquel, lo que se demuestra facilmente. Se coloca sobre un plano cualquier poliedro de caras ó lados desiguales, y la presion será igual por cualquier lado que se halle colocado, pero el rozamiento será mayor á medida que el lado puesto en contacto con el plano tenga mas superficie, pues la esperiencia prueba que debe haber siempre la misma inclinacion de plano para que la masa se ponga en movimiento. Es preciso admitir segun estos resultados,

que un cuerpo de la misma naturaleza y de peso diferente tendrá siempre el mismo rozamiento que este, porque aumentando la presión con el peso, el rozamiento á su turno aumentará en igual cantidad.

2.^a En un cuerpo en movimiento el rozamiento es aun proporcional á la presión.

3.^a El rozamiento no es mayor ni menor con un movimiento lento ó rápido.

4.^a Para la madera, no para los metales, el rozamiento es mayor cuando el contacto ha durado algunos instantes; un ligero choque basta sin embargo para separar las dos superficies.

5.^a El rozamiento es mayor entre superficies de igual naturaleza; así para los movimientos delicados se prefiere poner en contacto metales diferentes.

6.^a El pulimento de las superficies disminuye el rozamiento: cuando se unta con grasa las superficies frotantes, se aumenta el pulimento cubriendo las asperezas, y los movimientos son mas fáciles.

Quando el rozamiento tiene lugar entre dos superficies animadas de un movimiento de rotación, es infinitamente menor; una piedra que se arrastre por el suelo, ó se la haga resvalar sobre rodillos, necesitará cuarenta veces mas fuerza en el primer caso que en el segundo. En un camino compacto é igual, la resistencia ocasionada por el rozamiento de las ruedas se reduce á una 30.^a; sobre un camino de hierro solo es de $\frac{2}{100}$. Sobre el hielo el rozamiento es muy pequeño, y los trineos sin ruedas marchan por él con tanta facilidad como los coches de ruedas por los caminos ordinarios.

El rozamiento en ciertos casos es perjudicial, porque gasta una parte de la fuerza que se puede disponer, y aun á los cuerpos frotantes. Es útil en otros casos, por ejemplo, cuando se quiere destruir una parte del movimiento: tal es el efecto que producen las galgas ó planchas que en un carruaje se aplican contra las ruedas. Se utiliza tambien la propiedad que tiene el rozamiento de gastar

los cuerpos para reducirlos á polvo, ó pulimentar su superficie; y asimismo el rozamiento es causa de que podamos coger los objetos con la mano sin que se nos escapen.

CHOQUE DE LOS CUERPOS.

Es bueno recordar para estudiarle que se llama movimiento ó cantidad de movimiento la fuerza de que un cuerpo está animado y en cuya virtud se mueve; que se llama velocidad el espacio que un cuerpo corre en cierto tiempo dado; que se mide la cantidad de movimiento de un cuerpo multiplicando su masa por su velocidad; y que en fin conocidos el movimiento y la masa, se obtiene la velocidad dividiendo el primero por la segunda.

Como la elasticidad de los cuerpos tiene grande influencia sobre los efectos del choque, es necesario distinguir el de los cuerpos elásticos del de los no elásticos.

CUERPOS NO ELASTICOS.

Las esperiencias relativas al choque de los cuerpos no elásticos se practican por medio del aparato, *fig. 136*: unas volas de arcilla blanda suspendidas libremente de hilos caen á lo largo de un arco de círculo *c c* dividido en grados: se mide la velocidad por la longitud de los arcos de círculo que han sido corridos.

1.ª Si una bola está en reposo y otra en movimiento, la cantidad de movimiento se divide entre las masas, y la velocidad restante despues del choque es menor que la primitiva.

Bola fija.	Masa.	1.	Velocidad.	0	} Velocidad restante. . 3.
— móvil.	—	1.	—	6	
Bola fija.	—	1.	—	0	} Velocidad restante. . 4.
— móvil.	—	2.	—	6	
Bola fija.	—	2.	—	0	} Velocidad restante. . 2.
— móvil.	—	1.	—	6	

2.º *Las dos bolas estan en movimiento en sentido opuesto.*

Si tienen la misma masa y el mismo movimiento, este todo es destruido despues del choque, y se paran. En otro caso las bolas continúan moviéndose en un mismo sentido partiendo proporcionalmente á sus masas el escedente de movimiento que no ha sido destruido.

Bola A.	Masa 2.	Velocidad 6	=	Movimiento 12	} Esceso de mov. en el sentido de B-12. Velocid. restante-3.
— B.	— 2.	— 12	=	— 24	

Bola A.	— 2.	— 6	=	— 12	} Esceso de mov. en el sentido de B-12. Velocid. restante-2.
— B.	— 4.	— 6	=	— 24	

3.º *Dos bolas marchan en un mismo sentido.* Para que se choquen es preciso que una tenga mas velocidad que la otra: despues del choque continuarán moviéndose reunidas en la misma direccion, y la velocidad será menor que la de la bola chocante, mayor que la de la bola chocada.

Las cantidades de movimiento se han reunido y se han dividido segun las masas.

Bola A.	Masa 1.	Velocidad 3	} Movimiento total . . . 3+6=9.
— B.	— 1.	— 6	
Bola A.	— 4.	— 3	} Movimiento total 12+2=14.
— B.	— 2.	— 6	
Bola A.	— 2.	— 3	} Movimiento total . 6+24=30.
— B.	— 4.	— 6	

4º. *Un cuerpo no elastico viene á dar sobre un obstáculo fijo.* Si la masa del obstáculo es grande, se parte á proporcion de esta masa el movimiento del móvil, y el que queda á este es casi nulo; por esto se ve caer una bala de cañon cerca de la muralla en que ha dado.

La velocidad del cuerpo chocante tiene una influencia grande sobre los efectos del choque: un cuerpo animado de gran velocidad quita muchas veces las partes vecinas del punto chocado sin tocar á las demas: asi una bala atraviesa una puerta entre abierta sin hacerla girar sobre los goznes: una bala de cañon corta el fusil de un soldado sin que este experimente sacudimiento.

Con la misma cantidad de movimiento es muchas veces ventajoso obrar con mas velocidad y menores masas: en otro tiempo cuando se queria batir una muralla se la golpeaba con una pieza gruesa de madera movida por algunos hombres, y terminada por una cabeza de carnero de bronce que le habia hecho recibir el nombre de ariete. El ariete tenia mucho movimiento pero poca velocidad; producía poco efecto, mientras que la bala gruesa que lo ha reemplazado con una masa mucho mas pequeña, y una velocidad incomparablemente mayor, tiene mucha mas poderosa accion.

CUERPOS ELÁSTICOS.

Despues del choque de dos cuerpos elásticos, la velocidad no es ya comun; todos los efectos pueden reducirse á un principio muy sencillo: hay cambio de velocidad despues del choque. Para analizar este efecto es preciso examinar desde luego lo que sucederia á las bolas que se chocan si los cuerpos no tubieran elasticidad, y añadir á este primer efecto el que resulta de la reaccion elástica.

Debe recordarse que el cuerpo elástico si cae sobre algun obstáculo se desfigura, y á medida su velocidad disminuye, y es despues destruida; que un instante despues recobra su forma, y al mismo tiempo nace cierta velocidad en sentido contrario, la que arrastra á este cuerpo en direccion opuesta. El efecto de esta reaccion es igual al de la compresion.

Despues del choque de los cuerpos elásticos, el cuerpo chocado ha recibido cierta cantidad de movimiento que se ha duplicado por la reaccion elastica; el cuerpo chocante ha perdido parte de su movimiento, y la reaccion elástica le ha hecho perder aun otro tanto; de modo que lo que gana el cuerpo chocado es una cantidad igual á lo que pierde el chocante. Las esperiencias se hacen con el aparato *fig. 136*, reemplazando las bolas de arcilla por otras de marfil.

1.^o *Estando una bola en reposo y otra en movimiento.*

Bola	A	Masa	1	Velocidad	0	{ = Veloc. comun 3 en el sentido de B.
-----	B	---	1	-----	6	

A ha ganado 3, la reaccion elástica le da 3; su velocidad es de 6 en el sentido de B.

B ha perdido 3, la reaccion elástica le quita otros 3 en el sentido contrario; la pérdida es 6, y el movimiento es anulado. Despues del choque ha habido pues un cambio entre ambas bolas.

2.^o *Las dos bolas moviendose en sentido contrario.*

Bola	A	Masa	1	Velocidad	6	{ = Velocidad comun 0,
-----	B	---	1	-----	6	

A ha perdido 6, la elasticidad le da 6 en sentido contrario, y vuelve á su lugar. B se halla en el mismo caso.

Bola	A	Masa	1	Velocidad	6	{ movimiento comun 6 en el sentido de B ó 3 de velocidad.
-----	B	---	1	-----	12	

A ha perdido 6, y ganado 3 en sentido contrario; la reaccion le da 9, á los que es preciso añadir 3 de velocidad comun = 12 velocidad de A.

B ha perdido 9, la reaccion le da 9 de velocidad en sentido

contrario; pero como ha conservado 3 en su primera direccion, retrocede 6.

3.^o *Las bolas elásticas se mueven en un mismo sentido.*

Bola A Masa 1 Velocidad 6 { = Movimiento comun 10 sobre 2
 B --- 1 --- 4 { masa = 5 velocidad comun.

A ha perdido 1, la reaccion le quita 1; su velocidad es 4.

B ha ganado 1, la reaccion le da 1; su velocidad es 6.

4.^o *Una série de bolas está suspendida á otros tantos hilos, fig. 137.* Se separa la colocada á un extremo, y viene á chocar con la siguiente; pero solo la última bola del lado opuesto se pone en movimiento. Si las dos últimas, una de cada lado, llegan á caer, cada una de ellas vuelve á su punto de partida; y lo que hay de notable en este experimento es la rapidez de comunicacion del choque. Admitiendo que haya un pequeño intervalo entre el momento en que una bola recibe el choque y le transmite, los efectos entre ellas se esplican como si no perteneciesen á la série estendida.

Si se interpusiera un anillo elástico entre las dos bolas que caen, los efectos llegarían á ser muy apreciables; el anillo sería desde luego comprimido; despues en el momento de la reaccion rechazaría á cada una de las bolas hácia su direccion primera. Tomando un anillo de acero elástico, y manteniéndole comprimido por medio de un hilo, fig. 138, si se corta ó se quema el hilo, el anillo salta en el aire; la mitad inferior de él por el efecto de la reaccion comprime el suelo, pero la resistencia de este neutraliza la presion mientras que la mitad superior del mismo anillo le arrastra recordando su forma ordinaria. Si la experiencia se hiciera sobre el platillo de una balanza, el choque hácia bajo se haría sensible, y el platillo que contendría el anillo descendería. Una esfera puede ser considerada como formada por una reunion de anillos, y entonces se comprende perfectamente que se comporte de la misma manera que él cuando experimente el choque.

Los efectos de este entre los cuerpos elásticos nos dan la es-

plicacion de algunos fenómenos importantes. Una arma de fuego experimenta cierto movimiento de retroceso en el momento en que es disparado el tiro: tal movimiento es el resultado del efecto que los gases elásticos ejercen sobre el fondo ó la culata del cañon; y si la velocidad en este sentido es menor que la adquirida por el proyectil, es porque la masa del arma que recibe el choque es mas considerable. El efecto de la pólvora se aumenta por la circunstancia de que no se inflama toda al mismo tiempo, y asi la impulsión dada por el primer gas se aumenta con toda la resultante del gas que se forma sucesivamente. Cuanta mayor longitud tenga el cañon, tanta mas velocidad llevan los proyectiles; sinembargo no debe aquella pasar de ciertos límites en que el rozamiento vendria á destruir gran parte del efecto. Un cohete se remonta en el aire á consecuencia del retroceso sobre el fondo de la caña; y porque el aire no cediendo al instante que es sacudido sirve como de punto de apoyo para los gases que salen, estos efectos se reproducen por todo el tiempo que el cohete tiene combustible. El salto es tambien efecto del choque y de la elasticidad. Cuando se quiere saltar se doblan las rodillas y se las endereza repentinamente: el efecto de la reaccion hácia bajo queda anulado por la resistencia del suelo, el cuerpo es empujado por la reaccion hácia arriba; y si se da el salto partiendo de un suelo móvil se dejan percibir los efectos de la reaccion hácia bajo, el suelo es aplastado.

Si para saltar se doblan aun las articulaciones de los pies y del bacinete, resulta de esto una sucesion de arcos en inversos sentidos, y el salto es mas directo y mayor. Cuanto mas alto sea el arco, si se da en igual tiempo el salto será mayor; asi observamos que los animales saltadores tienen los miembros posteriores muy prolongados: los peces saltan doblando súbitamente su cuerpo y algunos moluscos de concha abriendo con prontitud las valvas de sus conchas, de este modo se apoyan por una parte sobre el suelo, y por la otra se lanzan.

Cuando el choque tiene lugar entre cuerpos elásticos que no

se mueven segun la recta que pasa por su centro, se producen fenómenos de reflexion que se presentan á cada instante en el billar en donde son modificados por la rotacion de las bolas y el rozamiento sobre el paño. Cuando un cuerpo elástico choca contra cualquier obstáculo, es reflejado: el choque y la reflexion se verifican en un mismo plano, y el ángulo de reflexion es siempre igual al de incidencia. Debe notarse que si el cuerpo que choca tubiere un movimiento de rotacion sobre sí mismo, el rozamiento que se verificaria al contacto modificaria los efectos.

Cuando el choque de los cuerpos elásticos se verifica en una direccion que no pasa por su centro de gravedad, el cuerpo chocado toma en general al mismo tiempo un movimiento de traslacion y otro de rotacion sobre sí mismo: resultan de esto efectos curiosos que se muestran en los movimientos de las bolas de billar. Cuando las tablas ó barandas de una mesa de billar son sólidas y bien unidas, la bola que ha tomado un movimiento de rotacion sobre sí misma describe, despues de haber tocado la tabla, curvas que resultan de la combinacion de los efectos debidos al movimiento de rotacion de la bola sobre sí misma con la reaccion producida sobre la tabla. En los billares se los evita porque las tablas estan cubiertas del paño y tienen cierta blandura: la bola que choca contra una de ellas produce cierta cavidad en la que el rozamiento destruye el movimiento de rotacion.

La bola lanzada contra otra debiera quedar en el punto del choque; lo que no tiene lugar por que ha tomado rodando sobre el paño un movimiento de rotacion sobre sí misma, que se conserva despues del choque, y que combinado con el rozamiento produce otro movimiento de traslacion. Pero si las bolas están próximas y la impulsión ha sido fuerte, la chocante puede ser sustraída á la rotacion, entonces desaloja á la chocada, y ella se queda quieta. Se pueden modificar singularmente los efectos del choque por medio del taco, que tiene en el extremo un poco de suela frotada con

hieso; con él se puede dar á la bola en otra parte que en el centro sin temor de que resbale sobre su superficie, y entonces se imprimen á la misma bola movimientos variados de rotacion sobre si misma, que pueden modificar singularmente los efectos del choque: asi dando el golpe mas áriba de su centro de gravedad gira sobre si misma en igual sentido que se le ha imprimido movimiento por el rozamiento del paño, y puede despues del choque moverse mas largo tiempo; si se da mas bajo del mismo centro, el movimiento se verifica en sentido contrario, y puede llegar hasta hacerla retroceder despues del choque. En fin, dándola de lado toma movimientos de rotacion oblicuos, que modifican los efectos de reflexion sobre las otras bolas.

Cuando un cuerpo sólido cae en un líquido, su direccion puede cambiar dentro de este: una piedra cae en el agua perpendicularmente á la superficie del líquido, y continúa siguiendo la misma direccion; si cae oblicuamente, se aleja de la perpendicular: asi, *fig. 139*, en vez de seguir la direccion *a b c*, tomará la *a b d* separandose de la línea vertical *v v*.

Cuando un cuerpo ha caido en el agua tranquila, se le vuelve á hallar en el punto en que termina la vertical segun la cual ha caido; una agua corriente le desviaria cierta cantidad mayor ó menor en la direccion de la corriente. Si se quiere tirar á un pez en el agua se le debe apuntar muy bajo, porque la bala ó perdigones se desviarán de su ruta por la resistiencia del líquido; las causas de mal éxito son tanto mayores, cuanto que los efectos de la luz aumentan los errores en el mismo sentido.

La refraccion ó separacion producida por la resistiencia del líquido aumenta con la oblicuidad del ángulo. Si la incidencia es muy oblicua, hay reflexion, como sucede con las piedras chatas lanzadas muy oblicuamente sobre el agua para hacer lo que llaman los chicos rebote ó saltos. En los combates que se verifican sobre el mar se observa muchas veces que las balas de cañon se levantan en el aire despues de haber dado en las aguas por un efecto igual de reflexion.

ACUSTICA.

Es la ciencia del sonido, y el sonido es un movimiento vibratorio que el aire transmite y el oído percibe.

En un cuerpo sonoro que vibra, las moléculas conmovidas por el choque se alejan de la posición de reposo, vuelven a ella, la pasan y oscilan hasta que el efecto del choque se haya extinguido. El aire circundante recibe también el choque de las moléculas y le transmite así como la serie de bolas de marfil, *fig. 137*, en que el movimiento dado á la primera se propaga á las demás. La reunión de oscilaciones moleculares puede producir un cambio en la forma del cuerpo que vibra: el aire recibe un choque mas intenso de el que sería producido por una sola molécula, y de ahí resulta un sonido mas fuerte.

La molécula de aire que recibe un sacudimiento le transmite á la siguiente, y ella queda en reposo. La vibración se propaga de molécula en molécula, y el oído colocado á distancia recibe la sensación, despues ya nada oye porque el movimiento vibratorio ha pasado mas lejos.

Onda Sonora. Está formada por una fila de moléculas, á las que se ha comunicado el movimiento vibratorio. Sea una ola vibrante, *fig. 148*, $a b$ es el centro de las oscilaciones; $a' b'$, $a'' b''$ marcan el límite de la oscilación en estos dos puntos el movimiento es cero: supongamos que este movimiento parte de $a'' b''$, su velocidad aumentará hasta $a b$, donde estará en su máximo, y decrecerá hasta $a' b'$, en donde será nulo; y si parte del lado opuesto se producirán efectos semejantes, pero en sentido inverso. La velocidad en cada momento es representada, *fig. 140*, por las líneas perpendiculares que van de la fila sonora á las curvas. La vibración es el camino

de $a'' b''$ á $a' b'$, mas el camino de $a' b'$ á $a'' b''$. Estando la vibrante en $a'' b''$, *fig* 148, al primer momento la molécula de aire próxima recibe el choque, le transmite, entra en reposo; en el segundo momento recibe un choque mas vivo, le transmite aun, hasta que estando esta ola en $a b$, sea el choque lo mas fuerte posible. A partir desde este momento disminuye mas y mas hasta que la ola haya llegado á $a' b'$ donde el choque es cero. El efecto de todos estos choques se reduce á rechazar unas sobre otras las moléculas de aire, de que resulta una onda *condensada*. Cuando la ola vibrante vuelve de $a' b'$ á $a'' b''$, el aire viene á ocupar el vacío que deja aquella tras de sí, toma una velocidad en sentido inverso, y tiende á aproximarse al centro de oscilacion. Las moléculas se retrasan todo el tiempo que el sonido necesita para propagarse; resulta de esto una dilatacion del aire, y se forma una onda *dilatada*. Una ondulacion se compone de la onda condensada y de la dilatada: la longitud de la ondulacion es el espacio recorrido por el sonido mientras se verifica una vibracion completa del cuerpo sonoro: á cada vibracion corresponde una ondulacion aérea que se añade á las ya existentes; cada ondulacion es de la misma longitud y compuesta de una parte condensada y de otra dilatada.

Cuando un cuerpo sonoro vibra en medio de una masa de aire, el sonido se transmite en todos sentidos; su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia: en el momento de la partida, la onda que se forma no es siempre esférica, pero bien pronto llega á ser, pues que se oye igualmente el sonido en todo al rededor del punto en que se produce.

Muchos sonidos que se producen á la vez hacen nacer muchas ondas sonoras que se propagan sin confundirse: de estas ondulaciones unas se acuerdan, ó van acordes, y se refuerzan, otras se interponen y se destruyen mas ó menos; pero de la propiedad que posee el sonido de transmitirse lateralmente resulta muy pronto un movimiento vibratorio comun.

Velocidad del sonido. El sonido se propaga en el aire con una velocidad grande; las esperiencias hechas en 1822 por los comisarios de la empresa de las longitudes han establecido que corre 340,39 met. por segundo á la temperatura de $+16.^{\circ}$, y 331 á $0.^{\circ}$.

La humedad del aire, el viento, apenas tienen influencia sobre los resultados; tampoco la tienen la densidad del aire, ni la fuerza ó la agudeza del sonido.

Este no se propaga en el vacío, lo que se prueba por medio de una campanita suspendida en un balon de vidrio, *fig. 14*, pues sus vibraciones se oyen bien cuando este balon está lleno de aire, pero no despues de hecho el vacío; y á medida que va entrando en él nuevo aire se perciben mas y mas distintamente.

El sonido no se propaga con igual velocidad en todos los gases, camina mas de prisa en los mas ligeros: en el hidrógeno corre 1270 metros por $2.^{\circ}$, y solo 262 en el ácido carbónico.

Reflexion del sonido. El sonido que toca contra un obstáculo es en parte reflejado, y en parte transmitido por el obstáculo.

El sonido reflejado y el incidente estan situados sobre un mismo plano, y forman con la normal dos ángulos iguales: existen algunas superficies curvas que hacen concurrir á un mismo punto todos los rayos sonoros que reflejan: hay en el conservatorio de artes y oficios (París) una bóveda en donde las palabras pronunciadas con voz baja contra uno de sus ángulos se oyen distintamente en el ángulo opuesto.

Ordinariamente el sonido reflejado es poco distinto, pero si el obstáculo tiene una configuracion favorable, conserva aquel su sencillez hay eco. El eco no es perceptible sino cuando la ida y la vuelta del sonido se ejecutan en un décimo de segundo al menos. El sonido corre entonces 17 metros á la ida, y otros 17 á la vuelta. Si la distancia es menor, los sonidos quedan confundidos, se juzga de la distancia del eco por el tiempo que el sonido tarda en volver: si tarda un segundo, ha corrido 170 met. de ida, y

otros 170 de vuelta; hay ecos que pueden repetir muchas sílabas: uno existe cerca de Nancy que repite un verso alejandrino completo, y el de Wodstoch veinte sílabas. Al eco debe atribuirse el zumbido (*roulement*) que sigue á la explosión de un cañon y la del trueno; la reflexión del sonido se verifica sobre las nubes.

Timbre, intensidad del sonido, tono. Estas tres cualidades se distinguen en el sonido: la primera varía según el cuerpo que le ha producido; el oído la diferencia perfectamente: también juzgamos por el timbre de la naturaleza del cuerpo sonoro. El sonido que un tonel produce nos indica si está ó no vacío de líquido; por el timbre manifestado por la percusión juzga el médico del estado de las cavidades pectorales ó abdominales.

La intensidad del sonido consiste en su fuerza ó debilidad; disminuye con la distancia siguiendo la ley inversa del cuadrado de aquella; aumenta con la densidad del aire: así es que en los polos la voz se oye de muy lejos, mientras que sobre el *Monte-blanc* un pistoletazo no da más ruido que un petardo. La intensidad del sonido se conserva muy bien en tubos cerrados: Mr. Biot ha experimentado en una cañería de fundición de 951 metros que el aire de una flauta era transmitido sin que nada se perdiese; se podía hablar en voz baja desde ambas estremidades; los contornos de los tubos no impiden al sonido conservarse en ellos. Hay casas en donde diversos conductos llevan la voz de diferentes puntos á un cuarto.

El porta-voz es un tubo en el cual se conserva el sonido y aumenta mucho de intensidad: la teoría de este instrumento está aun mal conocida. Cuando un porta-voz tiene 4 pies de longitud lleva la voz á 500 pasos geométricos; si tiene 24 á 2500 pasos. La corneta acústica, que usan las personas cuyo oído es duro, admite un gran número de ondas sonoras y las transmite al oído.

El tono ó sonido músico está formado por una serie de sonidos que se suceden con rapidez bastante para que el oído solo perciba uno. Cuando los sonidos producidos están lejanos, el oído los

percibe separadamente; se producen mas de 20 por segundo, y no percibe mas que uno. El sonido *músico* es grave cuando el número de vibraciones es poco considerable, y llega á ser mas agudo á medida que aumenta este número. La formación de las notas de la música mas ó menos graves, mas ó menos agudas depende del número de vibraciones producidas en un tiempo dado, se las mide por medio de una rueda dentada, se le da un movimiento de rotación y se tiene delante una cartulina contra la que cada diente venga sucesivamente á dar y producir un sonido: la agudeza del sonido producido depende del número de choques en un tiempo dado. Si se quiere juzgar del número de vibraciones en un sonido músico, se hace girar á la rueda con mas ó menos velocidad para llegar al sonido que da en el unísono del que se quiere juzgar: se cuenta entonces el número de dientes que pasan en un segundo, pero el oído tiene un medio mas cómodo y tan seguro para juzgar el número de vibraciones que produce cada nota.

El *ut* ó *do* mas grave del violonzelo resulta de 64 vibraciones, el *re* de 72, el *mi* de 80, el *fa* de 86 &c. La octava de una nota es siempre producida por doble número de vibraciones, (v. *Teoría físico música*)

Las vibraciones de los cuerpos sonoros son transversales, longitudinales, verticilosas ó circulares (*tournantes*.) Las primeras se observan facilmente en una cuerda que ha sido separada de su posición de reposo, *fig.* 142. Las vibraciones longitudinales se verifican en el sentido de la longitud de los cuerpos vibrantes; consisten igualmente en un movimiento de va y ven de las moléculas; en fin, las circulares se propagan de manera que siguen un verdadero movimiento de rotación: todas estas oscilaciones pueden existir al mismo tiempo en un cuerpo.

En un cuerpo que vibra hay puntos que no participan del movimiento vibratorio: tales puntos reciben el nombre de *nodos*.

Vibraciones de las cuerdas. Es preciso distinguir las vibra-

ciones transversales y las longitudinales: las primeras se distinguen facilmente en una cuerda que se ha punteado, *fig. 142*: los puntos fijos *a b* son los nodos, el medio de la cuerda *c d* es el vientre, la amplitud es la distancia *c á* que se ha separado la cuerda; *el huso ó trochoide* es la curva formada en un instante por la cuerda vibrante.

La amplitud de las oscilaciones va disminuyendo hasta que se estinguen enteramente por la resistencia del aire y de los sostenes ó puntos de apoyo, y por la elasticidad imperfecta de la cuerda. Las oscilaciones son isochronas, es decir, duran el mismo tiempo; todas marcan la misma nota.

La intensidad del sonido depende de la velocidad de cada vibracion, es decir, del espacio que la cuerda corre durante una vibracion; su gravedad y su agudeza dependen no de la velocidad de cada vibracion, sino del número de vibraciones producidas en un tiempo dado. Las vibraciones estan en razon inversa de la longitud de la cuerda, por ejemplo: una cuerda de cierta longitud que hace 64 vibraciones y produce el *ut* hará el doble y producirá el *ut 2* de la octava si se reduce á la mitad, y las octavas siguientes *ut 3*, *ut 4* si se le reduce al tercio y cuarta parte.

El número de vibraciones es proporcional á la raíz cuadrada del peso que tiene estendida la cuerda. Un peso 1 da 50 vibraciones, otro peso 4 dará 100; $9=150$: he ahí como estirando mas ó menos una cuerda se consigue elevar ó bajar el tono.

El número de vibraciones está en razon inversa de la raíz cuadrada del peso de la cuerda: de esto resulta que en iguales condiciones las cuerdas mas ligeras vibran mas de prisa y producen sonidos mas agudos, lo que es mas aplicable á cuerdas de la misma materia y grueso diferente, y á las de diferente materia: una cuerda de plata da el sonido mas grave que otra de cobre, esta mas que otra de intestino ó tripa: los bordones ó cuerdas guarnecidas de hilo metálico que les da peso han adquirido por esto la propiedad de producir sonidos mas graves.

Una cuerda vibrante puede facilmente dividirse en muchas partes por medio de nodos. Un hilo de cobre ó de cualquier otra materia, *a c* fig. 143, está sujeto á dos puntos fijos, se coloca un puentecillo en *b* y se sostiene ligeramente la cuerda con el dedo para que le toque; si se pasa entonces el arco sobre *ab*, *bc* vibra como si *d* estuviera fijo: por consiguiente se han formado dos nodos que pueden distinguirse con la vista, y la cuerda vibra en tres partes. Los nodos llegan á ser mas sensibles si se ponen sobre la cuerda pedacitos de papel; los que ocupan los vientres son desechados por el movimiento vibratorio, quedando en reposo los que se hallan sobre los nodos. Puede aumentarse asi á voluntad el número de partes vibrantes de una cuerda cambiando el parage del puentecillo; el sonido es tanto mas agudo quanto mas corta es cada trochoide, como consecuencia de la ley que arregla el número de vibraciones sobre la longitud de las cuerdas vibrantes. Solo se oye un sonido por que todas las trochoides vibran a la vez; pero es fácil esplicar como con algunas cuerdas pueden obtenerse todos los tonos, pues que basta dividir la cuerda en trochoides de diversas longitudes apoyándola sobre puntos diferentes.

Las vibraciones longitudinales de las cuerdas se obtienen frotando á estas en el sentido de su longitud con un trapo de paño ó con los dedos cubiertos de resina: separadas asi las moléculas de su posicion se ponen en vibracion: las oscilaciones son isochronas, y todas las moléculas ejecutan un movimiento de igual duracion, perceptible á la vista si se ponen sobre la cuerda pedacitos de papel, pues se estira y se encoge alternativamente en sentidos opuestos. Consideremos una parte de moléculas *a* fig. 144: en las vibraciones longitudinales quando *a* vaya de *a* á *a'* rechazará á las otras moléculas de *a* á *a'* por causa de la desigualdad de velocidad en las partes; en el mismo momento las moléculas marcharán en sentido inverso de *b''* á *a* y experimentarán por el contrario una dilatacion; el movimiento en sentido inverso se verificará quando *a* vuelva

de a' hacia a'' , de modo que de cada lado de la porcion a habrá alternativamente dilatacion y condensacion; la parte a que no será dilatada ni condensada formará el vientre, los puntos fijos a' y a'' serán los nodos.

En las vibraciones longitudinales de las cuerdas se forman igualmente nodos; se puede hacerlos sensibles cargando á la cuerda vibrante de pedacitos de papel, los cuales quedan en reposo sobre los puntos en que se han formado los nodos.

Vibracion de las varas rígidas. Una vara, sujeta una de sus estremidades, separada que sea de su posicion de reposo produce un sonido si el movimiento es bastante rápido; se puede tambien determinar sus vibraciones por medio de un arco.

El número de estas vibraciones está en razon inversa del cuadrado de las longitudes, se le reconoce por el sonido mas agudo que da la vara vibrante: el crecimiento se verifica en proporcion mas rápida que en las cuerdas; la anchura ó latitud de las varas no tiene influencia. En efecto, si se hacen vibrar dos varas semejantes que solo difieran en la latitud dan exactamente el mismo sonido.

El número de vibraciones está en razon directa de los espesores, verificandose precisamente lo contrario que en las cuerdas.

Tambien se forman nodos en las varas que vibran; su posicion se reconoce con facilidad, porque la arena echada al intento queda en ellos en reposo mientras que es desechada en las partes ocupadas por las vientres: la disposicion de tales nodos puede variar al infinito; se observa siempre que las lineas nodales de las dos caras no se corresponden.

Las vibraciones transversales de las varas estan puestas en práctica en el cochleon ó violin de hierro, y en las cajas de música.

En una vara metálica fijada por los dos extremos, las vibraciones se verifican como en las cuerdas: tambien pueden producirse en ellas nodos á voluntad,

En las varas libres por ambos extremos, las vibraciones pueden ser escitadas como en las sujetas por un extremo, siguen las mismas leyes. Se construyen instrumentos de música suspendiendo de unos hilos láminas de longitud diferente: se los dispone de manera que las láminas descansen por sus nodos, y se golpea en el medio para determinar el movimiento vibratorio. El organillo (*glass-chord*), *fig. 145*, hecho con láminas de vidrio, es un instrumento de este género; el Xilocordeon está hecho con láminas de madera. El Diapason es una varita de acero encurvado en forma de pinzas y fija por el medio, *fig. 146*: para hacerle vibrar se pasa á la fuerza un cilindrito *b* por entre las pinzas, y el sonido es tanto mas elevado, cnanto mas cortos son los brazos.

El triángulo, *fig. 147*, es aun una vara libre por los dos extremos.

Las varas pueden ejecutar vibraciones longitudinales; se hace la esperienciá sobre las de madera ó metal asegurándolas por el medio, y frotándolas con los dedos en el sentido de su longitud, ó con un trape cubierto de resina, y para el vidrio se obtiene mejor resultado con un trape mojado.

Las vibraciones longitudinales de las varas se hallan sometidas á la ley siguiente: su número está en razon inversa de las longitudes cualquiera que sea el diámetro y la forma; se pueden producir por otra parte nodos á voluntad tocando la vara en algunos puntos.

Vibraciones de las placas. Las placas son verdaderas varas con mas latitud que estas; se las hace vibrar golpeándolas, ó por medio de un arco; en las de igual naturaleza y forma, el número de vibraciones está en razon directa de su grueso, *v. gr.*: de dos placas cuyo grueso es como 1 á 2, la segunda da la octava de la primera, ó produce el doble de vibraciones en igual tiempo.

El número de vibraciones de las placas está en razon inversa de las superficies; una placa cuya superficie es 1, da la octava de otra cuya superficie es 2.

El sonido dado por una placa puede variar en algun modo a infinito; cambian con el modo de sostenimiento de la misma placa, con la direccion y la rapidez del arco; pero, sobre todo, tocándola en diferentes puntos cuando se la hace vibrar, se la divide en partes vibrantes separadas unas de otras por nodos. Estas divisiones son percibidas por el sonido, y pueden serlo facilmente por la vista si se espolvorean las placas con arena colorada, se obtienen así las figuras mas variadas.

Si las placas estan formadas de una sustancia cuya elasticidad no sea igual en todas direcciones, resulta una nueva causa de division: se observa además que en las circunstancias de vibracion mas sencillas, la posicion de los nodos cambia aun si el arco es movido en una u otra direccion.

Las vibraciones circulares se muestran bien en las placas: se las determina por arquetazos interrumpidos, perceptibles á la vista, si se espolvorea la placa con licopodio que pronto da un movimiento de rotacion.

Vibraciones de las membranas. Las membranas estendidas vibran cuando se las golpea; el sonido es mas grave á medida que son mayores y estan mas estendidas; es intenso porque una superficie grande pone en vibracion mayor cantidad de aire.

Vibraciones de las campanas. Una campana que se pone en vibracion se aplasta en un sentido, y se prolonga en otro; adquiere de nuevo su primitiva figura, la repasa y no vuelve al estado de reposo hasta despues de numerosas oscilaciones; este cambio de forma llega á ser evidente si se aproxima á la campana con un tornillo terminado en punta, como se ve en la *fig. 149 y 150*. La campana viene sucesivamente á pegar contra el tornillo, se separa de él y hace oir una série de choques bien distintos.

Los nodos en las campanas se muestran distintamente si se las ha espolvoreado interiormente con licopodio; se puede aun hacerlos visibles con agua: Si en efecto se vierte agua en un vaso

con pie, y se le hace vibrar con un arco, se ve al agua en reposo frente de los nodos, y muy agitada en frente de los vientres.

Vibraciones de los líquidos. Estos son capaces de entrar en vibracion; ordinariamente se les comunica el movimiento vibratorio por la pared de los vasos, por ejemplo: si se hace vibrar con el arco una vara colocada bajo del vaso que contenga un líquido, *fig. 151*, las gotas de tal líquido son lanzadas á muchas pulgadas.

Mr. Lagnard-Lateur ha fundado sobre estas vibraciones de los líquidos la construccion de la sirena, *fig. 152*, instrumentito en el cual el agua se pone en vibracion: se compone de un tambor *t* á el que se hace llegar una corriente de agua, y sale por aberturas circulares practicadas en el fondo superior *ff*: sobre este fondo hay un disco metálico muy móvil *f*, *fig. 153*, cuyo eje vertical *a* puede venir á poner en movimiento á dos cuadrantes sobre los que se marca el número de vueltas que el disco ha dado: este disco móvil está lleno de agujeros colocados en frente de los del fondo *f*; pero estos agujeros tienen paredes oblicuas, de modo que saliendo el agua de ellos hace girar el disco.

Resulta de esta disposicion una intermitencia en la corriente y una série de choques producidos por el agua de que resultan sonidos. Los pequeños cuadrantes dan el medio de contar estos choques, y por consecuencia el número de vibraciones producidas en un tiempo dado.

La sirena es uno de los instrumentos que sirven para contar el número de vibraciones que producen un sonido dado; pero entonces se la hace vibrar por una corriente de aire; se arregla esta de manera que la sirena esté en unisono con el sonido que se quiere juzgar, y se determina el número de vibraciones que da por segundo.

Transmision del sonido. El sonido se transmite en los sólidos y en los líquidos mejor aun que en los gases. Cuando se da un golpe contra un muro se le oye al lado opuesto; si se golpea con

un alfiler al extremo de una viga, el oído colocado al otro extremo percibe distintamente el sonido. La tierra misma le transmite facilmente: es sabido con que sagacidad los salvages, aplicando el oído contra la tierra distinguen la naturaleza de los brutos que caminan á gran distancia. El sonido se transmite mas pronto en los sólidos que en los gases; haciendo tirar un pistoletazo al extremo de cierto conducto de fundicion de 951 metros, Mr. Biot oyó inmediatamente el sonido transmitido por el sólido, y despues otro nuevo conducido por el aire. Los líquidos le transmiten con mas prontitud que los sólidos. Los buzos, los pescados oyen muy bien lo que pasa al rededor de ellos. Los Sres. Colladon y Sturn han reconocido que en el agua la velocidad del sonido era de 1435 metros por segundo.

Las vibraciones de un cuerpo sonoro se comunican á todo cuerpo que es susceptible de vibrar: Mr. Savart ha reconocido que se conserva la direccion del movimiento primitivo. Esparciendo arena sobre papel estendido en un cuadro, la arena se dispone en líneas nodales cuando se ha producido en la inmediacion un sonido intenso. En un violin, como en otros muchos instrumentos, el sonido producido por las cuerdas es reforzado, porque todas las partes vibran al unisono. Se sabe que despues de haber puesto en vibracion los brazos ó varas del diapason, el sonido es mucho mas reforzado si se coloca el instrumento sobre un cuerpo que pueda vibrar tambien.

Instrumentos de viento. Las vibraciones de los cuerpos sonoros pueden transmitirse al aire y hacerle vibrar; entonces llega este á ser verdadero cuerpo sonoro; en esta propiedad se funda la construccion de los instrumentos de viento. Los sonidos que producen resultan de la vibracion del aire, y no de la del tubo: como se puede demostrar haciendo resonar flautas semejantes, pero de materias diferentes.

Hay dos modos de hacer entrar en vibracion el aire de un

tubo, á saber: la embocadura de flauta y la lengüeta: La embocadura de flauta se compone de una abertura de bordes fijos, contra los que viene á estrellarse la corriente de aire, si bien entra difícilmente y por sacudidas: se le dirige con los labios á la flauta y á la churumbela de Pan; viene á estrellarse muy naturalmente contra la abertura en el caramillo y el tubo de órgano simple.

La lengüeta es una laminita móvil que abre y cierra alternativamente el paso; es elástica, y el aire la separa al salir y la hace vibrar; á su turno pone en vibracion á la columna de aire del tubo.

Cuando la lengüeta da sobre una superficie metálica produce un sonido chillon, y toma el nombre de lengüeta batiente, si no hace mas que cerrar la abertura, hiere al aire solamente, y su sonido es mucho mas agradable; en este caso se llama libre.

En algunos instrumentos, como el bajon, el óboe, la lengüeta no cierra completamente la abertura; en otros, la trompeta, el trombon, la lengüeta está formada por la compresion de los labios del músico.

Es preciso para poner en vibracion el aire de un tubo excitar en una de sus estremidades cierta sucesion rápida de condensaciones y dilataciones que hacen oscilar á la columna de aire segun su longitud. Se determina por el tacto la buena direccion de la corriente de aire, y el instrumento no toca bien sino ha sido realizada. Es de notar que mientras una embocadura de flauta puede hacer vibrar cualquier volumen de aire, la lengüeta por el contrario debe ser apropiada especialmente á su tubo: sin esta conformidad el tubo suena mal ó no toca. Aun debe tenerse en cuenta la cantidad de aire que ha de ser conmovida: si el soplo de la boca basta para tubos pequeños, son necesarios fuelles mecánicos para tubos de gran dimension.

El modo de vibrar el aire en los tubos es igual al de las varas que vibran longitudinalmente; se divide en una parte conden-

sada y otra dilatada con un nodo cada una en su estremidad, y separadas por un vientre. Este es el punto en que las moléculas ejecutan los mayores movimientos; pero donde no son ni condensadas ni dilatadas, el número de vibraciones está tambien en razon inversa de la longitud de los tubos: pero cambiando la cantidad de viento se produce un cambio en el sonido obtenido; este cambio está unido á leyes muy sencillas que estudiaremos principiando por un tubo cerrado, porque todos los casos pueden reducirse á uno solo, el del tubo cerrado en un extremo y abierto en el otro que sirve de embocadura.

Tubos cerrados. Para que un tubo cerrado produzca sonido son necesarias dos condiciones: 1.^a que el fondo del tubo sea nodo de vibracion, donde las partículas del aire queden inmóviles: 2.^a que el orificio abierto sea un vientre en el que por consiguiente no haya cambio de densidad. Estas dos condiciones pueden cumplirse de muchas maneras; tambien el tubo puede dar diferentes sonidos, pero estos no son posibles sin la existencia del nodo en el fondo del tubo, y la del vientre en la embocadura. Representando por la unidad las vibraciones del primer sonido, las demas son representadas por la série 3, 5, 7, 9, 11, 13 &c.... Siendo *ut* el primer sonido ó sonido fundamental que resulta de 64 vibraciones por segundo, se tendrá por ejemplo la série siguiente:

1	.	.	.	.	<i>ut</i>	64 vibraciones.
3	.	.	.	.	<i>sol</i> ²	192
5	.	.	.	.	<i>mi</i> ³	320
7	.	.	.	.	<i>la</i> ^{#3}	438
9	.	.	.	.	<i>re</i> ⁴	576
11	.	.	.	.	<i>fa</i> ^{#4}	704
13	.	.	.	.	<i>sol</i> ⁴	832
15	.	.	.	.	<i>si</i> ⁴	960

En el tubo cerrado que produce el sonido fundamental, la longitud de la onda es doble que la del tubo, porque de *n* á *v*,

fig. 154, no hay mas que la distancia de un nodo n á un vientre v que solo forma media ondulacion. Dada la longitud del tubo, el número de vibraciones para este sonido fundamental se halla dividiendo la velocidad del sonido, á saber: 333 metros por el doble de la longitud del tubo.

Cuando el tubo da el segundo sonido, fig. 155, el aire se divide en él en tres columnas nv , vn , nv que vibran al unisono cada una como un tubo del tercio de la longitud del primitivo, y que produjera por consiguiente tres veces mas vibraciones.

Para el tercer sonido el aire se divide en cinco columnas vibrantes, fig. 156, y en 7, 9, 11 &c... en las séries siguientes.

Tubos abiertos. El tubo destapado da el doble de vibraciones o que el cerrado de la misma longitud: el sonido fundamental es la octava del sonido del tubo cerrado. La condicion para que el tubo abierto produzca un sonido limpio, es que haya un vientre en cada estremidad. La série de los sonidos obtenidos forzando al viento es: 1, 2, 3, 4, 5 &c. : vease un ejemplo partiendo del *ut*.

1	.	.	.	.	<i>ut</i>	.	64
2	.	.	.	.	<i>ut</i> ²	.	128
3	.	.	.	.	<i>sol</i> ²	.	192
4	.	.	.	.	<i>ut</i> ³	.	256
5	.	.	.	.	<i>mi</i> ³	.	320
6	.	.	.	.	<i>sol</i> ⁴	.	384
7	.	.	.	.	<i>la</i> # ³	.	441
8	.	.	.	.	<i>ut</i> ⁴	.	512

En el tubo que produce el sonido fundamental, fig. 157, hay un nodo en medio, y un vientre á cada estremidad. El sonido es suministrado por una ondulacion entera, por que la distancia de dos vientres mide la longitud de una ondulacion. Si semejante tubo da la octava de otro cerrado de igual longitud, consiste en que el nodo central le divide en dos tubos cerrados, cada uno de los cuales tiene la longitud média y vibran al unisono.

El sonido segundo es producido cuando la columna de aire se divide, como se ve en la fig. 158. Hay dos ondulaciones completas en la longitud del tubo.

El sonido tercero se produce cuando el aire forma tres ondulaciones, fig. 159 &c.

En los tubos abiertos se halla fácilmente la posición de los nodos introduciendo en su interior una membrana estendida sobre un cuadrito y espolvoreada con arena: la membrana vibra, y la arena se agita en los vientres; todo viene al reposo cuando llega á los nodos.

La mayor parte de los instrumentos de viento son tubos abiertos por ambos extremos; se cambia en ellos la longitud de la columna vibrante destapando cada una de las aberturas laterales: en el trombon se prolonga y acorta realmente el tubo. Para un gran número de notas basta aumentar el viento y producirá octavas la columna vibrante.

Hay algunas influencias que deben conocerse:

- 1.º El tono baja cuando el tubo se ensancha.
- 2.º El tono baja cuando se disminuye el orificio.
- 3.º Se puede disminuir indefinidamente el anchor de un tubo sin modificar el sonido, con tal que disminuya la boca proporcionalmente.
- 4.º Las paredes no ejercen influencia notable sobre la naturaleza del sonido si son suficientemente resistentes; si son flexibles, baja á medida que su resistencia disminuye.
- 5.º La naturaleza de las paredes tiene influencia sobre el timbre.
- 6.º Para las columnas de aire de gran longitud con respecto á la latitud, el sonido es independiente de la forma del tubo.
- 7.º En los tubos cortos, su forma tiene grande influencia sobre el sonido; algunas masas de aire de forma cúbica, esférica, tetraédrica dan sonidos diferentes.
- 8.º Para tubos cortos de una misma forma, el número de vi-

braciones está en razon inversa de las vibraciones homólogas.

9.º Los tubos rectangulares producen igual sonido cualquiera que sea por otra parte su longitud, cuando el producto de la latitud por la profundidad es el mismo.

10.º Los contornos del tubo no tienen influencia, porque el aire es igualmente elástico en todos sentidos.

TEORÍA FÍSICO-MÚSICA.

Cada tono ó sonido músico es producido por cierto número de vibraciones que se verifican en un tiempo dado. La gama ó escala es una sucesion de sonidos músicos producidos cada uno por diferente número de vibraciones.

<i>ut</i> ———	64 vibraciones	<i>ut</i> -128 vibraciones.
<i>re</i> ———	72	<i>re</i> -144
<i>mi</i> ———	80	
<i>fa</i> ———	86	<i>ut</i> -256
<i>sol</i> ———	96	
<i>la</i> ———	106	<i>ut</i> -512
<i>si</i> ———	120	

El primer *ut* es el mas grave del violoncelo. La octava de una nota corresponde siempre á doble número de vibraciones.

La relacion de vibraciones para la gama es:

<i>ut</i> ———	24	<i>sol</i> -36
<i>re</i> ———	27	<i>la</i> --40
<i>mi</i> ———	30	<i>si</i> --45
<i>fa</i> ———	32	<i>ut</i> --48

Los intervalos comprendidos entre el *ut* y los demas sonidos de la gama son:

<i>ut</i> ———	1		
<i>re</i> ———	1,125	ó 9/8	<i>sol</i> ——— 1,5 ó 3/2
<i>mi</i> ———	1,25	5/4	<i>la</i> ——— 1,66 5/3
<i>fa</i> ———	1,33	4/3	<i>si</i> ——— 1,875 15/8
			<i>ut</i> ——— 2,000

Las longitudes de las cuerdas que los suministran son:

<i>ut</i> longitud	1	<i>sol</i> ———	2/3
<i>re</i> ———	8/9	<i>la</i> ———	3/5
<i>mi</i> ———	4/5	<i>si</i> ———	8/15
<i>fa</i> ———	3/4	<i>ut</i> ———	1/2

Esta série de la gama parece que corresponde á nuestra organizacion; está formada por tres acordes perfectos trastrocados que son los sonidos mas agradables al oido, á saber: *fa la ut, ut mi sol, sol si re*.

Las necesidades de la música han obligado á intercalar algunos sonidos entre las notas de la gama : no todos los posibles, sino los que presentan un intervalo bastante considerable para que no pueda ser despreciado en la práctica. Estos sonidos intermedios se obtienen por medio de diesis ó sostenidos y bemoles. El sostenido \sharp eleva el valor de la nota, el bemol \flat la baja; se reduce á su sostenido una nota multiplicando el valor primitivo de la misma por 25/24; se la bemoliza ó se espresa su bemol multiplicándola por 24/25: vease á continuacion el valor de sostenidos y bemoles

<i>ut</i> 1— <i>ut</i> \sharp	25/24	ó	1,0416	
— <i>re</i> \flat	27/25		1,0800	
— <i>re</i> \sharp	75/64	1,1718	<i>sol</i> 25/16	ó 1,5625

—mi <i>b</i>	6/5	1,2000	la <i>b</i>	8/5	1,6000
—mi \sharp	125/95	1,3020	la \sharp	125/72	1,7361
—fa <i>b</i>	32/25	1,2800	si <i>b</i>	91/5	1,8000
—fa \sharp	25/18	1,3888	si \sharp	125/64	1,9531
—sol <i>b</i>	36/25	1,4400	ut <i>b</i>	48/25	1,9200
—sol \sharp	25/16	1,5625	ut \sharp	2—	2,000

La utilidad de estas notas, sostenidos y bemoles se hace sentir aun cuando se quiere transportar un párrafo de música de una gama á otra; porque cambiando la tónica, es decir, la nota con que comienza la gama, no son las mismas las relaciones entre las notas que se suceden; así que tomando á sol por tónica y 1 por unidad de vibracion, las vibraciones de la séptima nota estan representadas por $1/76$, en vez de serlo por $1/87$.

Cuando se escucha el sonido dado por una cuerda á mas del principal que domina, se perciben otros diferentes que son mas agudos, y se les llama sonidos armoniosos ó armonónicos; provienen de que á mas del movimiento general de vibracion ejecuta la cuerda otras parciales que producen sonidos mas agudos.

Los acordes ó las disonancias resultan de la sensacion producida por los intervalos que existen entre dos ó mas sonidos simultaneos ó sucesivos: el carácter general de los acordes es afectar lo mismo el oido por sonidos simultaneos que conservan entre sí igual intervalo músico, apesar de la diferencia de los números absolutos de vibraciones que los han producido; es pues la relacion de los números la que produce la sensacion de los acordes; así *ut mi* afectan el oido como $ut^2 mi^2$ ó como $ut^3 mi^3$.

Los sonidos que mas agradan al oido resultan de los que provienen de vibraciones en relacion sencilla: ejemplo *ut* á *ut*, 1: 2; *ut* á *sol*, 2: 3; *ut* á *mi* 4: 5. En los acordes perfectos que son los mas agradables al oido, se vuelven á hallar esas sencillas relaciones; *ut-mi-sol-ut*=4: 5: 6: 8; *ut-fa-la-ut*=3: 4: 5: 6.

Dos notas estan en unisono cuando con un timbre diferente tienen igual altura.

El *intervalo músico* es la distancia que hay entre un tono y otro tono. De *ut* á *re* hay una segunda; de *ut* á *mi* una tercera; de *ut* á *fa* una cuarta; de *ut* á *sol* una quinta; de *ut* á *la* una sexta; de *ut* á *si* una séptima; de *ut* á *ut* una octava. Estas indicaciones designan el rango que ocupa una nota en la gama natural. Hay el intervalo de un tono entre *ut* y *re*, entre *la* y *si*; la relacion de vibraciones es de 24 á 27, de 40 á 45, y en general de 8 á 9. Hay el intervalo de un semitono entre *mi* y *fa*, entre *si* y *ut*; las relaciones de las vibraciones son 80 á 86, 120 á 128; y para los dos de 15 á 16.

La diferencia de *re* á *ut* $9/8$ se llama tono mayor.

——— *mi* á *re* $10/9$ ——— tono menor.

——— *fa* á *mi* $16/15$ ——— semitono mayor.

——— *sol* á *fa* $9/8$ ——— tono mayor.

——— *la* á *sol* $10/9$ ——— tono menor.

——— *si* á *la* $9/8$ ——— tono mayor.

——— *ut* á *si* $16/15$ ——— semitono mayor.

La diferencia entre $9/8$ y $10/9$ es muy pequeña; se llama *coma* y puede ser despreciada.

La diferencia entre el tono mayor y el semi mayor es por el contrario muy apreciable, y es forzoso intercalar una nota con sostenido ó bemol entre ellos, y algunas veces las dos.

En la gama de *sol* el *la* no corresponde al verdadero *la*: sacrificando un poco de la exactitud en favor de la sencillez se toma un *la* médio que sirve para todas las gamas, y es lo que se llama *temperamento*. Se usa muchas veces del temperamento igual, que consiste en componer la octava de trece notas, comprendiendo á los sostenidos y bemoles, y establecer exactamente entre cada nota un intervalo de medio tono de $1/12$ de octava. Con una gama así

atemperada se puede comenzarla por cualquiera nota, y los intervalos quedan siempre iguales.

Para construir una gama atemperada debe tomarse una cuerda, cuya longitud para cada nota sea una fraccion siempre igual de la nota precedente; esta fraccion es 0,943874.

<i>Notas.</i>	<i>Longit. de cuerda.</i>	<i>Notas</i>	<i>Longit. de cuerda.</i>
<i>ut</i>	1000	<i>re</i> # . .	841
<i>ut</i> #	944	<i>mi</i> . . .	794
<i>re</i>	891	<i>fa</i> . . .	749
<i>fa</i> #	707	<i>la</i> # . .	561
<i>sol</i>	630	<i>si</i> . . .	530
<i>la</i>	595	<i>ut</i> . . .	500

Se usa la gama atemperada para los instrumentos de sonidos fijos, el piano, el arpa, el órgano, se usa aun para la guitarra, en la que las divisiones de las cuerdas estan marcadas de un modo fijo sobre el mango. En el violin y el violoncelo el artista obtiene sonidos mucho mas agradables; pero cuando acompaña al piano ó el arpa tiene que servirse de la gama atemperada para que haya acorde.

ORGANO DE LA VOZ.



La laringe es el órgano esencial de la voz, pero á mas de su disposicion física propia para este uso necesita cierta contraccion de músculos, pues que la voz no se restablece haciendo pasar aire al traves de la laringe de un cadáver.

Las membranas de la laringe, *fig. 160*, se aproximan para formar una hendidura de 8 á 10 líneas: en la parte superior se hallan dos cavidades *c c* llamadas ventrículos; la laringe se estrecha de nuevo y forma otra hendidura de 6 líneas sobre la primera: todo el aparato lleva el nombre de glotis, y los bordes de las hendiduras son los labios de la glotis: hácia la garganta ó tragadero termina la laringe por la epiglótis, membrana cartilaginosa, fija por uno de sus extremos; es como una puerta que se abre para dar paso al aire, y se cierra para darle á los alimentos.

La laringe es un verdadero instrumento de viento; el pecho es el medio soplador, la misma laringe el conducto, la glotis la lengüeta y la boca, así como las fosas nasales son el tubo de desprendimiento. El sonido se modifica con la velocidad del aire y con los cambios de dimension de la glotis: su intensidad depende de la fuerza de la corriente, siempre es aumentada por la resonancia del aire de la boca y de las fosas nasales.

Los cazadores llaman reclamo, *fig. 161*, á un instrumentito formado por dos embocaduras de flauta *ff* entre las cuales se halla encerrada cierta masa de aire: esta masa vibrando puede dar los sonidos mas variados, y comunicar las vibraciones á otra masa de aire mucho mayor, *fig. 162*; pues, como lo ha hecho notar muy bien Mr. Savart, es imposible no comprender la analogía del reclamo con la glotis.

En las aves la laringe está situada en el pecho, y el tubo bucal es mas largo; los dos bronquios conducen directamente á la laringe, y constituyen dos embocaduras, lo que produce siempre una entonacion mas segura. En las aves cantadoras hay sobre la laringe un pequeño tabique incompleto (membrana semi-lunar) cuya funcion es dar al canto mas variedad y estension.

ORGANO DEL OIDO.



El oído, *figura 163*, se compone del pabellón exterior, del conducto auditivo *c*, del tímpano, membrana delgada y transparente; de la caja del tímpano *t*, de dos ventanas redonda y oval *m n* y del laberinto *v l*: la caja del tímpano lleva dos prolongaciones, la una es cierta especie de callejón sin salida ahondado en la cavidad del hueso apófisis mastoidea; la otra *p* es un conducto que va á la garganta y se llama trompa de Eustaquio: el laberinto se compone del vestíbulo *v*, de los canales semicirculares *c c c* y del caracol *l*: las ventanas redonda y oval que establecen la comunicación entre la caja del tímpano y el vestíbulo están cerradas por membranas: en la caja del tímpano hay una cadena de huesecitos, *fig. 164*, que va de la membrana del mismo tímpano á la ventana oval; *m* es el martillo cuyo mango adhiere á dicha membrana; *e* es el yunque ó el hueso lenticular, y *t* el estribo que está encajado en la membrana de la ventana oval: algunos músculos sirven para abrir y cerrar los ángulos que forman entre sí los huesecitos, de modo que se estienda mas ó menos la membrana del tímpano.

El pabellón exterior llena las funciones de corneta acústica: las vibraciones del aire que penetra hasta la membrana del tímpano la hacen vibrar al unísono; las vibraciones se transmiten al laberinto por el aire de la caja y por la cadena de los huesecitos. La forma complicada de la caja del tímpano y sobre todo del laberinto da al oído la propiedad de percibir gran variedad de sonidos: las vibraciones llegadas á la masa líquida que llena el laberinto son percibidas por el nervio auditivo que desaparece en ella.

Parece que el laberinto es la parte esencial del oído: cuando el pabellón ha sido cortado, el tímpano destrozado, y los huesecitos rotos, se oye todavía con tal que las ventanas hayan quedado in-

táctas y el laberinto conserve su líquido. En los crustaceos el oido no se compone mas que de esta parte, es una cavidad huesosa cerrada por una membrana, y que contiene un líquido en el cual flota la estremidad del nervio auditivo. Las partes externas del oido en los animales superiores les permiten comprender todas las variedades del sonido.

La trompa de Eustaquio sirve para renovar el aire en la caja del tímpano; si se obstruye, el oido llega á ser mas duro: sucede á veces que la membrana del tímpano se espesa, y de ahí resulta la sordera que se remedia perforándola.



CALOR.

Los físicos esplican los fenómenos del calor por dos teorías; ambas tienen cierto número de partidarios: en la llamada de las ondulaciones se admite que un fluido imponderable está esparcido en el espacio así como en el vacío que dejan entre sí las partículas de los cuerpos: este fluido llamado eter es tan poco denso que es enteramente imponderable, y que después de los numerosos siglos el obstáculo que opone á los movimientos de los astros no ha podido retardar la velocidad de estos en cantidad apreciable. En la teoría de las ondulaciones le atribuyen los fenómenos del calor á las vibraciones que el eter y las moléculas de los cuerpos llegan á experimentar; la temperatura de un cuerpo depende de la velocidad de estas vibraciones, y el calor se comunica á distancia, porque el movimiento vibratorio se propaga al eter circundante y va á conmover los cuerpos vecinos.

En la segunda teoría del calor que se llama de la emisión, es debido el calor á un fluido particular llamado *calórico*, imponderable, es decir, que no tiene peso valuable por medio de las balanzas mas finas, incohercible, y que acumulándose en los cuerpos eleva la temperatura de ellos.

Las partículas del calórico se desechan con una fuerza que disminuye rápidamente á medida que aumenta la distancia: cada molécula de los cuerpos está formada de materia ponderable y de calor: dos moléculas próximas se atraen por la materia pesada y se repelen por el calórico, y se dice que hay equilibrio de temperatura cuando las distancias de las moléculas son tales que ambas acciones se destruyen. Pero no existe ahí el estado de reposo absoluto; una molécula colocada en la esfera de actividad de las que están próximas, pierde á cada instante por el hecho de su fuerza repulsiva

cierta porcion de calórico, lanzada en todos sentidos y absorbida bien pronto por las moléculas pesadas que encuentra; de ahí una emision continua de calor; á medida que aumenta la cantidad de este, la repulsion calorífica aumenta tambien y dicha emision. Sucede lo contrario cuando un cuerpo se enfria. Para elevar á igual cantidad la temperatura de dos cuerpos, se necesitan distintas porciones de calórico, lo que depende de la mayor ó menor separacion de las partículas, ó de que la afinidad propia de cada una de ellas para el calor es mayor.

Preferimos emplear esta teoria de la emision, como mas cómoda para la esplicacion de los fenómenos.

DEL THERMOMETRO.

Cuando tocamos á cualquier cuerpo, decimos que está caliente ó frio, segun la sensacion experimentada; nuestros sentidos llegan á ser de este modo para nosotros un medio de medir el calor; pero están muy sujetos á errores, porque el efecto que experimentamos es relativo. En efecto, si teniendo una mano fria y otra caliente, sumergimos las dos en agua, la hallaremos caliente con respecto á la mano fria, y fria con respecto á la caliente: el aire de una cueva algo profunda tiene igual temperatura en estío que en invierno; cuando descendemos á ella en la última estacion, la hallamos caliente porque salimos de un aire mas frio, en estío nos parecerá fria por la razon contraria. Nuestros sentidos son pues malos medios para medir el calor.

El thermómetro es el instrumento mas comunmente usado para medir el calor de los cuerpos; está basado en la propiedad que tienen los líquidos de aumentar su volúmen por el calor, y

disminuirle por el frio. El thermómetro, *fig.* 165, se compone de un tubo de muy pequeño diámetro, provisto en su estremidad de un ensanchamiento en forma de bola ó de cilindro, que sirve de reservatorio al líquido. Cuando se calienta el instrumento, aumenta el volumen del líquido, no puede ser contenido en su reservatorio y se eleva en el tubo, cuya capacidad siendo muy pequeña con relacion á la masa del líquido mismo, hace facilmente perceptible cualquier pequeña dilatacion.

Despues de construido el tubo de vidrio, se calienta el reservatorio para dilatar el aire, *fig.* 166, y hacer salir una parte de él, se sumerge entonces la estremidad abierta del tubo en mercurio muy puro, *fig.* 167; el metal asciende segun se va enfriando el tubo, y llena en parte el reservatorio; se coloca luego el instrumento sobre una regilla inclinada, y se hace hervir al líquido: el vapor de este desaloja al aire; y si se vuelve á introducir la estremidad del tubo en el mercurio, queda completamente lleno todo él, y si no, se repite la operacion hasta conseguirlo. Despues debe calentarse para hacer salir una parte del mercurio, y cerrada la estremidad del instrumento á la lampara solo le falta ser graduado.

La graduacion de un termómetro consiste en establecer en él dos puntos fijos, y dividir el espacio comprendido entre ellos en partes de iguales longitudes llamadas grados. Para que estos sean comparables entre sí, es preciso que el tubo empleado esté igualmente calibrado; lo que se conoce facilmente resvalando una columnita de mercurio por toda la longitud del mismo tubo, que será dividida en porciones exactamente iguales, puesto que la cantidad de metal siempre será igual.

Sumergido el thermómetro en el hielo medio derretido ó recién fundido, la columna de mercurio queda fija en cierto punto del tubo, y allí se marca cero; y si luego se le sumerge en agua hirviendo, se señalan 100 grados en el punto á que haya llegado el metal; pero no es tan fácil obtener este punto como el cero. Debe

usarse agua pura, porque la cargada de materias estrañas necesita mayor temperatura para hervir; la vasiija debe ser de metal, porque el agua en vasos de vidrio ó de tierra tarda mas en llegar á la ebulicion: el tubo del thermómetro debe ser calentado en toda su longitud, y sinembargo ha de ser poco profunda la capa del líquido, de otro modo el calor no seria igual en todas sus partes; en fin, la ebulicion debe tener lugar al descubierto bajo de una presion de 76° sin lo que es retardada, y el líquido exige mas calor para hervir. Todas estas condiciones estan satisfechas con el aparato, *fig. 168*: se pone en él agua suficiente para cubrir la bola del instrumento; cuando está en ebulicion, su vapor tiene la misma temperatura, calienta pues igualmente el tubo y sale por los lados. Haciendo resvalar el thermómetro por el tapon que le sostiene, fácilmente puede reconocerse la altura del mercurio, y se marca en el punto á que llegue 100 grados, dividiendo el espacio comprendido entre 100 y cero en 100 partes iguales: se continuan bajo de cero divisiones de la misma magnitud, é indican los grados de frio; iguales dimensiones se ejecutan tambien sobre el grado 100.^o para las temperaturas elevadas. Con el thermómetro de mercurio puede llegarse á 360° ; los grados sobre cero van comunmente acompañados del signo + que les precede, y del signo — los inferiores. El thermómetro que acabamos de describir se llama centígrado; el de Réaumur solo marca 80 grados en el punto señalado por el agua hirviendo. Los ingleses usan el de Fahrenheit, cuyo cero está formado con una mezcla de hielo y sal; marca 212° en el agua hirviendo, y 32° en el hielo recien fundido.

THERMOMETRO.

	Centígrado.	Réaumur.	Fahrenheit.
Hielo y sal.	17,7	14	0
Al derretirse el hielo.	0	0	32
Agua hirviendo	100	80	212

1.º centígrado	= {	.	.	.	.	.	0,8 Réaumur.
		.	.	.	.	.	1,8 Fahr. + 32
1.º Réaumur.	= {	.	.	.	.	.	1,25 cent.
		.	.	.	.	.	2,25 Fahr. + 32
1.º Fahr = 32.	... {	.	.	.	.	.	0,555 cent.
		.	.	.	.	.	0,444 Réaumur

Se transforman los grados de un thermómetro en los de otro multiplicandolos por el número que establece su relacion: asi 10.º centígrados son iguales á 10 multiplicados por 0,8 ú 8.º de Réaumur: valen 10 multiplicados por 1,8 + 32 = 50 Fahr.

El cero del thermómetro esta sujeto á variar ; sumergido el instrumento en el hielo que se funde, no se detiene el mercurio exactamente en la misma altura que cuando ha sido construido. Este efecto resulta sobre todo de que el vidrio alternativamente dilatado y contraído por el calor nunca vuelve á su primitivo volumen con exactitud: en las esperiencias de precision es importante probar la verdadera posicion del cero.

En gran número de circunstancias, al paso que el thermómetro recibe calor del cuerpo á que se le espone, está bajo la influencia de los circunvecinos que pueden llegar á modificar los resultados. Para obviar este inconveniente se usan á veces thermómetros de una construccion particular, que llevan el nombre de sus inventores, el thermómetro diferencial de Leslie, y el thermóscopo de Rumfort, por ejemplo. El diferencial tiene la forma indicada por la *fig.* 169, es un tubo recorvado en dos ángulos rectos que lleva una bola en cada una de sus estremidades: el instrumento contiene aire y cierta columna de ácido sulfúrico coloreado con carmin. La bola A se llama focal; si se espone al calor, se dilata el aire que contiene, toma mayor fuerza elástica, y rechaza la capa líquida hácia la bola opuesta; una baja de temperatura produce contrario efecto.

La diferencia de temperatura de las dos bolas determina la marcha del líquido en el instrumento; importa muy poco que reciban calor del medio circundante, pues que siendo igual el calor para ambas bolas, el efecto se halla compensado.

El thermóscopo de Rumfort difiere sobre todo de los precedentes en que las bolas estan mas separadas, y esto permite obrar fácil y separadamente sobre cada una de ellas. La columna es reemplazada en él por un índice *i* de alcol colorado.

CALORICO RADIANTE.

El calórico sale de los cuerpos calentados, bajo la forma de rayos que tienen muchas propiedades comunes con los de la luz; como estos caminan en línea recta con estraordinaria velocidad, pueden ser reflejados por las superficies de los cuerpos; son refractados, descompuestos, polarizados como la luz.

El calórico radiante tiene tres propiedades principales que le distinguen del calórico de los cuerpos; camina en línea recta, se propaga con gran velocidad, y no es separado de su marcha por el movimiento de las moléculas materiales.

Los rayos caloríficos que parten de un punto calentado divergen en todos sentidos y se separan mas y mas, de modo que cualquier cuerpo espuesto á ellos recibe menor número á medida que está mas lejano. Aqui se observa la ley ordinaria de las emanaciones; el número de rayos está en razon inversa del cuadrado de las distancias; á doble distancia se perciben cuatro veces menos rayos, y nueve menos á distancia triple, &c.

Se prueba que el calórico camina como la luz en línea recta, y que es reflejado como ella por medio de la esperiencia siguiente, *fig. 171.*

En el foco f de un espejo cóncavo de cobre pulimentado se pone una bujía encendida, y en el otro foco f' un cristal ó espejo sin pulimento; y la imagen de la bujía viene á reproducirse en este último, los rayos de luz han seguido la ruta indicada en la figura por medio de líneas. Si se reemplaza la bujía por un cuerpo caliente, y el cristal por un termómetro, no se verán caminar los rayos de calor, pero la temperatura del termómetro al instante se elevará: se concluye de esto que los rayos caloríficos así como los de la luz han llegado á tropezar con el primer espejo, han sido reflejados y han venido sobre el segundo que los ha reflejado á su turno, reuniéndolos en el foco ocupado por el termómetro. Si el cuerpo caliente es una bala de hierro enrojecida al fuego, se puede fácilmente inflamar culaquier trocito de yesca en el foco del segundo espejo. La agitacion del aire no tiene influencia sobre los resultados, en nada impide la marcha de los rayos de calor; una prueba de esto se deduce colocándose en frente de la puerta de una estufa que aspire bien, pues se recibirán así los rayos de calor que salgan de ella, apesar de la fuerte corriente de aire que en sentido inverso se precipita por la abertura de la estufa.

La emision de calor está en razon inversa de la inclinacion de los rayos; por esta razon la superficie hemisférica del sol vuelta hácia nosotros no nos envia mas calor que si estuviese reducida á un disco plano de mucha menor estension superficial.

Los rayos de calor que caen sobre una pantalla la atraviesan ó se estinguen en ella. Mr. Melloni, á quien son debidas las mas bellas observaciones bajo este aspecto, llama diathermanos á los cuerpos que dejan pasar el calor como los diáfanos la luz; y athermanos á los que estinguen los rayos caloríficos.

Los cuerpos diathermanos no lo son todos en igual grado: el aire es excelente diathermano, el calórico radiante le atraviesa sin calentarle, y los demas gases se hallan sin duda en el mismo caso: la sal marina cristalizada natural es aun muy buen diathermano,

el aceite lo es mas que el agua, el alumbre menos que el vidrio colorado.

No existen tal vez cuerpos perfectamente athermanos ; pero reuniendo muchos de ellos pueden detenerse todos los rayos caloríficos. Mr. Melloni ha llegado á privar enteramente de calor á los rayos solares, haciéndolos pasar al traves de una capa de agua y otra especie de lámina ó pantalla de vidrio verde.

Todos los rayos que parten de un punto calentado no son iguales; si se les opone una pantalla unos serán detenidos, otros no; si á estos últimos se opone otra semejante, todavía habrá algunos que sean detenidos aunque en muy corto número. El mismo fenómeno se reproduciría si se forzase á estos rayos á pasar al traves de nuevas pantallas, de modo que sobre los rayos que parten de un punto algunos tienen mas que los demás la propiedad de atravesarlas, y en cada una de las interpuestas se establece cierta especie de tamizacion que solo permite pasar á los rayos mas fuertes; los que han pasado han adquirido por esto mismo la propiedad de pasar nuevamente sin extinguirse en tan grande cantidad.

La naturaleza de los rayos varía con la del punto que los emite, cuanto mas caliente está este, son aquellos tanto mas intensos: he ahí porque los rayos del sol atraviesan el vidrio sin ser de ningun modo extinguidos. Además, la naturaleza de los rayos no es la misma cuando salen de puntos diferentes aun cuando tengan igual temperatura; así, por ej., los que salen del alumbre son absorbidos casi enteramente por una pantalla opaca, y lo son poco por otra diáfana é incolora; los que salen del vidrio negro ó verde tienen propiedades en sentido inverso.

En resumen, los rayos caloríficos difieren segun los cuerpos de que proceden; se halla tambien diferente la propiedad que tienen de atravesar pantallas; solo la sal gema deja paso siempre á igual cantidad de rayos, cualquiera que sea la procedencia de ellos; sobre 100 rayos incidentes absorberá 8,

Todo cuerpo tiene á un mismo tiempo la propiedad de emitir, de absorber y de reflejar calórico.

El poder emisor ó radiante no es igual en todos los cuerpos: esto se demuestra facilmente por medio de la esperiencia siguiente. Un cubo de hoja de lata, *fig.* 172, tiene una de sus caras en estado natural, las demás estan cubiertas de diferentes materias como negro de humo, papel, película de tripa ó vegiga, &c. Despues de haber llenado el cubo de agua caliente, si se le introduce en un cuarto cerrado á cierta distancia fija de un thermómetro diferencial, colocado de antemano para que su temperatura sea igual á la de la cámara, se observa que la accion sobre el thermómetro no es la misma segun mira hácia él una u otra de las superficies del cubo, de donde debe concluirse que no todas han enviado iguales cantidades de calor: estas cantidades se espresan por el efecto producido sobre la bola focal.

Se han formado tablas del poder emisor de algunos cuerpos.

Negro de humo	.	.	.	.	.	100
Agua	.	.	.	.	.	100
Papel de escribir	.	.	.	.	.	98
Crown-Glass(ingles.	.	.	.	.	.	90
Tinta de china	.	.	.	.	.	88
Agua elada	.	.	.	.	.	90
Mercurio	.	.	.	.	.	20
Plomo brillante	.	.	.	.	.	19
Hierro pulimentado	.	.	.	.	.	15
Estaño, plata, cobre, oro	.	.	.	.	.	12

Sola la superficie determina la cantidad de calórico emitido; si se cubre la superficie pulimentada de un espejo con una delgada capa de cola, su poder emisor se halla luego aumentado; crece aun por nuevas capas, pero bien pronto llega á su límite; de modo que el efecto se reduce á una capa bastante delgada: es suficiente,

en efecto, dar á cualquier cuerpo un ligero barniz de negro de humo para que su poder radiante sea igual á 100.

El poder absorbente está en razon directa del emisor ; las mismas tablas sirven para darle á conocer. La propiedad de absorber el calórico radiante pertenece á todos los cuerpos; se la prueba por una experiencia muy sencilla que consiste en cubrir la bola focal del thermómetro con sustancias de distinta naturaleza; el instrumento siempre indica una absorcion de calórico.

Del calor que cae á la superficie de un cuerpo cierta parte solamente es absorvida, otra reflejada; el calor absorbido es el único que calienta el cuerpo. El poder reflectante esta siempre en razon inversa de los poderes absorbente y radiante ; y esto debe suceder pues que rayos que caen sobre una superficie serán en mayor número reflejados, cuanto menor sea el de los absorbidos. Los rayos reflejados en nada contribuyen á calentar los cuerpos; así que, en la experiencia de los espejos, provistos estos en alto grado del poder de reflejar, apenas se calientan.

Mr. Melloni ha probado que la cantidad de rayos reflejados por una superficie varía con la oblicuidad de estos mismos rayos, siendo la reflexion la mas débil posible cuando caen perpendicularmente á la superficie reflectante, y mayor el número de los rayos reflejados, á medida que caen mas inclinados; la diferencia sin embargo es poco sensible en tanto que el ángulo de incidencia contado de la normal no pasa de 25 á 30 grados.

Los poderes absorbente y emisor obran pues siempre reunidos, y el reflectante en sentido inverso. Cuando cuerpos de igual temperatura se hallan en presencia unos de otros, cada cual envia calor á los circunvecinos y le recibe de ellos ; el calor emitido se halla compensado á cada instante por el recibido: si el cuerpo emite mucho, absorve tambien mucho y refleja pocos de los rayos que le son enviados; si emite poco, refleja mucho, y la absorcion es débil. De la relacion de estos cambios resulta una igualdad de

temperatura que se ha llamado equilibrio móvil de calor.

Los poderes absorbente, emisivo y reflectante de los cuerpos nos esplican algunos fenómenos interesantes, de los cuales podemos á cada instante hacer aplicaciones: he aquí algunos ejemplos.

Dos cafeteras, de metal pulimentado la una, y la otra de tierra han sido colocadas en un hogar ardiente; la primera por muy reflectante se calentará con lentitud, y la segunda que absorberá mucho se calentará bien pronto; pero una vez entrado en ebulicion el líquido que contienen, aquella debe enfriarse poco á poco, porque emite poco, y esta se enfriará prontamente porque emite mucho. Si una persona se espone al sol con trage negro, absorberá mucho, y en invierno se hallará bien; en estio preferirá por el contrario trage de color blanco que refleja gran número de rayos. (Debe tenerse presente á mas de lo que dice el autor que en invierno son útiles y debieran adoptarse los vestidos blancos, porque siendo muy pocos los dias en que el sol está claro y la temperatura de nuestro cuerpo muy superior á la del ambiente, los mismos trages nos la preservarán por la razon dada); cuando los aldeanos suizos quieren apresurar la fundicion de la nieve en la primavera para poder cultivar sus campos, la cubren de tierra negra que absorve muchos rayos caloríficos y la liquida.

LEY DEL ENFRIAMIENTO Y DEL CALENTAMIENTO.

La esperiencia diaria nos enseña que un cuerpo fuertemente calentado, abandonado á sí mismo pierde su esceso de calor, y en un tiempo dado pierde menos calor á medida que está menos caliente.

La variacion en muy corto instante es proporcional al esceso

de temperatura del cuerpo caliente mas el del medio circundante: tal es la esposicion de la ley de Nevvton solo exacta hasta 30 ó 40 grados. Resulta como consecuencia de esto: 1.º Que al paso que un cuerpo se enfria debe perder menos calor por cada instante transcurrido: 2.º Que á medida que un cuerpo es calentado por cualquier foco de calor aumenta por cada instante la pérdida que experimenta por la radiacion, de modo que debe llegar necesariamente un momento en que lo que pierde es igual á lo que gana, y en este momento la temperatura queda estacionaria.

Dulong y Petit han demostrado la inexactitud de la ley de Nevvton, que debe espresarse asi:

Hallándose á una temperatura constante el recinto en que se enfria un cuerpo, y estando los escesos de temperatura del cuerpo caliente en progresion aritmética, las velocidades del enfriamiento decrecen como los términos de otra progresion geométrica disminuida en un número constante. La relacion de esta progresion igual para todos los cuerpos es de 1, 0077

Si el recinto vacío no tiene una temperatura constante, sino que sus temperaturas crecen en proporcion aritmética, las velocidades de enfriamiento del cuerpo caliente por igual esceso de temperatura crecen en progresion geométrica.

Si el cuerpo se enfria en un gas, el enfriamiento debido á este varía en progresion geométrica, cuando los escesos de temperatura del cuerpo caliente varían siguiendo otra progresion semejante.

La ley es igual para todos los cuerpos, las variaciones de forma y de volúmen no tienen influencia, y las relaciones de los cuerpos entre sí quedan tambien constantes; dos cuerpos á igual temperatura pierden en el primer minuto cantidades de calor que estan como 1 es á 3, y esta relacion de 1 á 3 se conservará en todos los minutos siguientes:

Un caso muy notable del enfriamiento es el de un cuerpo espuesto por la noche fuera de la radiacion de otros cuerpos, pues

emitirá rayos fuertemente hácia el cielo, y se enfriará con prontitud; porque el espacio celeste tiene una temperatura estremamente baja (de $-60.^{\circ}$ — $-70.^{\circ}$) Habrá radiacion de una y otra parte, pero la desventaja en el cambio estará de parte del cuerpo terrestre que se enfria mas y mas.

El Doctor Wells ha demostrado que en eso consiste la causa del rocío depositado por la noche, y la de la escarcha que se manifiesta en la primavera y en el otoño: cuando el sol se ha puesto, la radiacion de la tierra hácia los espacios celestes está en desventaja de ella, y baja su temperatura á cada instante; el aire que la toca cargado de vapor deposita al enfriarse este vapor en forma de agua y con mas abundancia sobre los cuerpos mas frios, pues son siempre los que mas radian; así se ve el rocío depositado preferentemente sobre tierra vegetal, despues sobre las plantas, despues sobre las piedras, y en último lugar sobre los metales; si hay poco, se halla contenido en la tierra y las plantas.

Si el fenómeno se verifica en la época del año de menos calor, en la que las noches son mas largas y mayor el enfriamiento de la tierra, podrá suceder que la baja de temperatura llegue hasta la congelacion del agua depositada; en este caso será producida la *escarcha*.

Los efectos son tanto mas señalados cuanto mas puro y despejado está el cielo: he ahí porque las hermosas noches de primavera son tantas veces funestas á la vejetacion: la *luna* á la cual se atribuye el mal, está muy inocente de él; pero cuando brilla con todo su esplendor, el cielo está sin nubes y la radiacion se efectua sin obstáculo. Si el cielo está cubierto, el cambio con los espacios celestes no tiene lugar sino con las nubes, y se aminora el enfriamiento ó cesa: una cubierta ligera, un simple velo basta para producir igual efecto; así las plantas cubiertas por la noche se hallan defendidas de los funestos efectos de la escarcha.

El aire contribuye mucho al enfriamiento; en igualdad de su-

perficie radía mucho menos que la tierra, pero á causa de su transparencia radía de todos los puntos; y como deja pasar los rayos caloríficos sin absorverlos, su enfriamiento se verifica con velocidad. En estío, poco despues de ponerse el sol, observamos alaire suficientemente enfriado para que se condense una parte del vapor de agua que contiene, y entonces se produce el fenómeno conocido bajo el nombre de *sereno*.

En Bengala se utiliza el enfriamiento producido por la noche para fabricar yelo, para lo cual se coloca el agua en barreños sin barniz, anchos y poco profundos, que se esponen en un llano, lejos de todo objeto que pudiera calentarlos; se les separa del suelo por una capa de paja de arroz ó de cañas de azucar. Como el poder emisor del agua es considerable y presenta el líquido gran superficie, el enfriamiento marcha con velocidad, y queda conjelada dicha agua, aunque la temperatura del aire y la de la tierra nunca llega á bajar á cero.

Durante el dia la tierra es calentada por el sol, y el calor recibido en cada lugar depende en gran parte de la distancia de este al sol: en estío el hemisferio boreal recibe mas calor, lo contrario tiene lugar en invierno.

La direccion de los rayos que vienen á la tierra tiene una influencia muy marcada sobre su calentamiento: los rayos que caen perpendicularmente sobre la region ecuatorial producen en ella la temperatura muy caliente; las demás regiones reciben los rayos mas oblicuos; en invierno, sobre todo, los que llegan á nuestro hemisferio boreal son muy inclinados y producen menos efecto, porque son menos calientes, porque son menos abundantes, y porque el mayor número de ellos retroceden ó reflejan sin haber sido absorbidos.

La duracion del dia tiene tambien señalada influencia: en el norte el sol queda mas largo tiempo sobre el horizonte durante la estacion del estío; el tiempo para calentar es, pues, mas largo, mas

corto para enfriar; así se ve á la vejetacion marchar con rapidez; y el retraso producido por un largo invierno se halla compensado en parte.

DE LA DILATACION POR EL CALOR.

Todos los cuerpos se dilatan por el calor, y disminuyen de volumen por un descenso de temperatura. La dilatacion de los sólidos se manifiesta por el pirómetro de Brongniart que muestra al mismo tiempo que todos no se dilatan igual cantidad: el instrumento, *fig. 173*, se compone de una vara metálica fija en una de sus estremidades por medio de un tornillo *a*; apoya por el otro extremo *b* contra el brazo corto de una palanca encorvada, cuyo brazo largo está constituido por una aguja que sigue en su marcha las divisiones de cierto cuadrante: se pone alcohol con un poco de algodón en una lámpara prolongada que debe tenerse encendida bajo la varita metálica; esta se dilata por la elevacion de temperatura, empuja al brazo corto de la palanca y pone la aguja en movimiento. Haciendo la esperiencia con varas de diferentes metales, se ve que su dilatacion es desigual: para cada uno de ellos la dilatacion es proporcional á la temperatura desde $-40.^{\circ}$ hasta $100.^{\circ}$; en pasando de los 100 ya no hay igualdad. Se ha tratado aquí de la dilatacion longitudinal ó lineal, pero los cuerpos se dilatan en todos sentidos, y esta dilatacion llamada cúbica es siempre triple de la lineal.

Aumentando los cuerpos de volumen, no cambian de forma; si son vasijas huecas aumenta su capacidad,

DILATACION DE ALGUNOS SÓLIDOS DE 0.^o A 100.

Vidrio en tubos	0,00086133
Platino	0,00088420
Fundicion	0,00112500
Hierro	0,00118210
Acero templado y recocido	0,00123956
Oro de apartado	0,00146606
Cobre rojo	0,00171820
Plata	0,00190868
Estaño de Malaca	0,00193765
Plomo	0,00284856
Zinc	0,00294167

Es muy importante conocer esta dilatacion de los sólidos, y en una multitud de casos debe tenérsela en cuenta: asi las barras que componen la rejilla de un horno, es conveniente que puedan moverse con facilidad para soportar las variaciones de volúmen que acompañan á los cambios de temperatura. Las placas de zinc en el techado superior de un edificio han de estar dispuestas de modo que puedan libremente dilatarse y contraerse. Los tubos de conduccion estan soldados unos con otros de tal manera que sin desunirse pueden obedecer á los efectos de la dilatacion.

El péndulo que sirve para arreglar los relojes solo oscila regularmente cuando su longitud es invariable: si el frio le contrae, su movimiento es acelerado y el reloj se adelanta; si aumenta el calor, se prolonga el péndulo, cada oscilacion dura mas tiempo y el reloj se atrasa. Para construir uno cuya longitud no varíe se utiliza la desigual dilatacion del hierro y del cobre: la barrita *t* del péndulo, *fig.* 174, sostiene un bastidor de hierro *ff*, dentro de él

se halla otro de cobre *c c*; y cuando por efecto de la dilatacion el hierro se prolonga, el cobre tambien lo verifica á su vez en sentido inverso, y la varita central que sostiene la lenteja queda inalterable. No se puede sinembargo llegar á una compensacion exacta empleando solo un bastidor de hierro y otro de cobre, es preciso aumentar el número de ellos y hacer las observaciones de tanteo convenientes. En los relojes de faltriquera el movimiento se arregla, *fig. 175*, por un resorte en espiral; la duracion de sus oscilaciones está en razon de la longitud de los hilos: puesto que el frío acorta y el calor alarga el resorte; esto seria una causa de perturbacion en el movimiento, si el instrumento no estubiese provisto de dos láminas compensadoras de cobre y de hierro *l l* terminadas por las pequeñas masas *b b*: el cobre mas dilatible ocupa el exterior, y si el resorte se alarga, el efecto de las láminas se reduce á aproximar las pequeñas masas al centro, este tiende á hacer mas rápidas las oscilaciones, produciéndose el efecto contrario con la baja de temperatura.

Breguet ha fundado en la dilatacion de los metales la construccion de un thermómetro que lleva su nombre; está formado de una lámina compuesta de oro, plata y platino; los tres metales han sido comprimidos á una alta temperatura, y laminados con un espesor de una 50.^a de milímetro: el oro ocupa el centro para asegurar la adherencia de los dos metales superficiales y para evitar con su dilatacion intermédia las aberturas de la lámina metálica; esta lámina está arrollada en espiral y fija por su parte superior, en la inferior lleva una aguja que señala sobre un cuadrante los cambios de temperatura á medida que el espiral se tuerce ó se destuerce por la desigual dilatacion de los dos metales. Se arregla el instrumento comparando su marcha con la de un thermómetro de mercurio, al que es igual en las divisiones. El thermómetro de Breguet formado de sustancias conductoras de poca masa y gran superficie se pone en equilibrio de temperatura con prontitud, no

es mas sensible que el de mercurio, y tampoco sus indicaciones se hacen tanto esperar.

Los líquidos se dilatan por el calor; su dilatacion es débil, pero mayor que la de los sólidos; diferente en cada uno de ellos, y desigual para cada grado del thermómetro, es mayor á medida que se aproximan á su punto de ebulicion.

Se mide la dilatacion de los líquidos por dos procedimientos diferentes:

1.º Se determina el volúmen de un líquido contenido en una basija á temperatura determinada; se calienta entonces el vaso y el líquido, y se averigua la cantidad de este vertida á consecuencia de la dilatacion; pero esta cantidad no espresa la dilatacion completa, porque la vasija ha aumentado de volúmen y de capacidad, y una porcion del líquido ha quedado en ella que hubiera salido si hubiera sido inestensible. Cuando se conoce la dilatacion de la basija se puede apreciar su influencia, sin que sea un obstáculo para la observacion.

2.º Este procedimiento consiste en medir la diferencia de altura de un mismo líquido en los dos brazos de un sifon, *fig. 177*, mientras una de las columnas está fria y la otra calentada: apesade la diferencia de temperatura, el peso de ambas será igual, continuarán haciéndose equilibrio, pero una de ellas será mas lijera y por consiguiente mas alta. Este esceso de altura hará conocer la dilatacion para la temperatura á que se opere; todo se reduce á conocer las temperaturas y medir las alturas de las dos columnas líquidas. Debe operarse en sifon de brazos anchos para ponerse al abrigo de los errores á que pudiera inducir la accion capilar del vidrio sobre el líquido; los dos brazos deben estar reunidos por un tubo capilar *c c* para que solo la gravedad establezca comunicacion entre ellos. Cada uno de los brazos del sifon debe estar rodeado de su cubierta de vidrio *m m'* en la que se pone yelo machacado ó un líquido caliente: un tabique ó pantalla *e e* preserva al

brazo *m* de el calor; por este procedimiento han averiguado Dulong y Petit la dilatacion del mercurio; y siendo 55 la altura de la columna á cero, han observado que á 110.º era de 56, de donde el mercurio debe dilatarse al pasar de 0.º á 100 $1/15$. Su dilatacion exacta es

de	0.º á 100.º	.	.	.	0,000-18018	..	$1/55$, 5
—	100 á 200	.	.	.	0,000-18433	..	$1/54$, 25
—	200 á 300	.	.	.	0,000-18858	..	$1/53$.

Encerrado en vidrio se dilata de 0 á 100, 0,00015434.

Conocida esta dilatacion del mercurio, es fácil averiguar la del vidrio, para lo cual basta llenar de mercurio á 0.º un tubo de vidrio y fig. 176, lleno de aire seco, cuya capacidad sea conocida, calentarle á un grado fijo y medir el mercurio que ha salido de él. La cantidad es muy pequeña, pero como se sabe cual debiera ser si el tubo no hubiese aumentado de capacidad, la diferencia da precisamente la dilatacion cúbica del vidrio, pues la esperiencia ha hecho ver que todos los vidrios se dilatan igualmente y en una cantidad uniforme de 0 á 100.º

La dilatacion cúbica del vidrio es $1/38700$ para cada grado del thermómetro, ó 0,0000258, y de 0,00258 de 0.º á 100.º

La dilatacion linear del vidrio es

de	cero á 100	.	.	.	.	0,00086133
—	100 á 200	.	.	.	.	0,00098379
—	200 á 300	.	.	.	.	0,00118750

DILATACION DE ALGUNOS LIQUIDOS EN EL VIDRIO DE CERO A 100 GRADOS.

Mercurio	.	.	.	.	0,0154321
Agua	.	.	.	.	0,0433
Agua saturada de sal marina,	.	.	.	.	.005

DILATACION DE ALGUNOS LÍQ. EN EL VIDRIO DE CERO Á 100 GR.

Acido sulfúrico (de 1,85)	. . . . .	0,06
Eter sulfúrico	. . . . .	0,07
Esencia de trementina	. . . . .	0,07
Alcol	. . . . .	0,11
Aceite de olivas	. . . . .	0,08
— de lino	. . . . .	0,08
— de ballena	. . . . .	0,10
— de colza	. . . . .	0,09
— de nueces	. . . . .	0,09
— blanco	. . . . .	0,08

Los líquidos que se dilatan tan poco en las circunstancias ordinarias adquieren grande volúmen cuando su temperatura es tal que solo conservan el estado por la fuerte compresion á que se hallan sometidos; asi dos volúmenes de ácido carbónico líquido llegan á ser tres de 0.º á 30 grados, de 10 á 100.º tres volúmenes de ácido sulfuroso llegan á ser cuatro; el éter y probablemente todos los demás líquidos se hallan en el mismo caso.

El agua nos presenta en su dilatacion un fenómeno muy notable, tiene su máximum de densidad y su menor volúmen á 4.º sobre cero. A partir desde este punto, si se la calienta ó se la enfria aumenta de volúmen, siendo igual ó casi igual á cero y + 8.º Hallstrom ha investigado estas variaciones de volúmen por medio de la balanza hidrostática, determinando la pérdida de peso experimentada por un cuerpo en el agua á diferentes temperaturas.

La singular propiedad asignada al agua nos explica como es que se halla en los lagos profundos á una temperatura casi invariable de + 4 grados; la de las capas superiores ya se enfrie ya se caliente tiene menor densidad y no puede desalojarla.

DILATACION DEL AGUA, SEGUN HALLSTROM

<i>Temperatura</i>					<i>Volúmenes.</i>
0	.	.	.	.	1,0001082
1	.	.	.	.	1,0000617
2	.	.	.	.	1,0000281
3	.	.	.	.	1,0000078
4	.	.	.	.	1,0000002
4,1	.	.	.	.	1,0
5	.	.	.	.	1,0000050
6	.	.	.	.	1,0000225
7	.	.	.	.	1,0000527
8	.	.	.	.	1,0000954
9	.	.	.	.	1,0001501
10	.	.	.	.	1,0002200

La ley que siguen los gases en su dilatacion es de las mas sencillas, se dilatan todos igualmente y su dilatacion es por cada grado del thermómetro $1/366,6$ ó $0,00375$ de su volumen á cero. (*)

(*) Segun dos memorias publicadas en 1842 por Mr. Regnault en los Anales de química y física resulta, que sus esperiencias no confirman las leyes fundamentales de la teoría de los gases, admitidas y formuladas en los términos siguientes:

1.º Todos los gases se dilatan igual cantidad entre los mismos límites de temperatura.

2.º La dilatacion de un gas entre los mismos límites de temperatura es independiente de su densidad primitiva.

La dilatacion es exactamente proporcional á la elevacion de temperatura; esta ley ha sido descubierta por Gay-Lussac, y probada por Dulong y Petit por medio del siguiente procedimiento. Se toma un tubo de vidrio adelgazado ó estrechado en su estremidad, *fig.* 178, se le coloca horizontalmente en una caja metálica teniendo cuidado de no dejar pasar por la tubulura mas que la parte adelgazada del tubo: un thermómetro *t* colocado tambien horizontalmente y á igual altura que el tubo sirve para apreciar su temperatura exacta; los otros dos thermómetros *t'* y *t''* indican la aproximativa; se llena la caja de un líquido, agua ó aceite, y el agitador *g* sirve para mantener la igualdad de temperatura. Siendo cero la del tubo, se eleva poco á poco hasta el punto señalado, entonces se cierra á la lámpara la estremidad abierta *o* y se le separa del aparato: vuelto á cero, se sumerge la estremidad adelgazada en mercurio tambien á cero, se la rompe y se determina el peso ó el volúmen del metal que ha entrado. Asi se tiene salva la dilatacion del vidrio, el volúmen de aire desprendido á consecuencia de la dilatacion; llenando ahora el tubo de mercurio, y midiendo este se tendrá la capacidad total de aquel. Se conoce pues el volúmen que el aire ocupaba á cero y la cantidad de lo que ha salido por la elevacion de temperatura, y con esto se poseen los elementos de la dilatacion, teniendo en cuenta, sinembargo, los efectos de la dilatacion del vidrio.

No es necesario repetir con todos los demás gases la misma experiencia, basta encerrarlos en vasos semejantes, y se los verá marchar siempre reunidos, lo que prueba su contraccion y dilatacion bajo la misma ley.

La ley de dilatacion de los gases se utiliza en los laboratorios de química para deducir, conocido el volúmen de un gas á cierta temperatura, cual seria á otra diferente; dado un gas por ejemplo á cero, qué volúmen tendria á cualquier temperatura mas elevada: este problema se resolveria multiplicando el volúmen á cero por el

coeficiente de dilatacion de los gases, (0,00375,) multiplicado el mismo por el número de grados. (14)

Otro problema: averiguar lo que seria á cero un volúmen conocido á mayor temperatura. Es de notar que entonces el volúmen conocido se compone siempre de el que tendria el gas á cero, mas la dilatacion desde cero; si el volúmen á cero es 1, el conocido es $1 + 0,00375$ multiplicado por el número de grados. Para resolverle, pues, basta establecer una proporcion. (15)

El conocimiento de la ley de dilatacion de los gases ha dado á los físicos el instrumento mas perfecto para reconocer las temperaturas elevadas: el thermómetro de aire no es otra cosa que un tubo vacío afilado como en la esperiencia de Dulong y Petit; se le pone en el hogar cuya temperatura quiere conocerse, y se le cierra á la lámpara cuando se ha puesto en equilibrio de temperatura con dicho hogar. Basta quebrar la punta del tubo en el mercurio, reconocer la porcion de metal introducida y averiguar la capacidad total del mismo tubo para poder concluir de aquí la temperatura á que ha sido cerrado. (16)

Comparacion de los thermómetros. El espíritu de vino coloreado reemplaza algunas veces al mercurio en los thermómetros; cuando se comparan los dos instrumentos se observa que no van acordes, y esto depende de la diferente dilatacion de los dos líquidos. El de mercurio hecho con un cuerpo conductor y de poca capacidad para el calor da indicaciones rápidas, y puede servir para apreciar las temperaturas desde -30 hasta 350 y aun mas. El thermómetro de alcol es menos sensible, no puede servir para mas de 80.º, pero tiene ventaja cuando se trata de conocer los grados de frio, porque el alcol conserva su liquidez á las temperaturas mas bajas que hemos podido producir. Cualquier otro thermómetro construido con un líquido diferente daria tambien indicaciones que no estarian en relacion con las del mercurio.

Este y el de aire marchan de acuerdo desde -36.º hasta 100

grados, despues el thermómetro de mercurio adelanta mas. He aquí las observaciones de Petit y Dulong, (*)

<u>Thermómetro de mercurio.</u>					<u>id. de aire.</u>
-36	.	.	.	.	-36
-0	.	.	.	.	-0
100	.	.	.	.	100
150	.	.	.	.	148,70
200	.	.	.	.	197,05
250	.	.	.	.	245,05
300	.	.	.	.	292,70
360	.	.	.	.	350

Se han inventado thermómetros que manifiestan el máximo ó minimum de calor á que han estado espuestos, el de Bellani se halla en este caso: vease *fig. 179*, en A y en B se halla alcol, de *i* á *z'* mercurio, sobre el mercurio dos pequeños índices de hierro envueltos en vidrio, y cada uno aplastado en la parte inferior, por la cual descansa sobre el mercurio, y con un cabello ensortijado. Si se quiere usar el instrumento, se hace descender á los índices por medio de un iman hasta que posen en la superficie

(*) Las curiosas observaciones de Mr. Regnault contradícen estas observaciones, resulta de ellas lo siguiente:

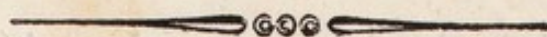
<u>Thermómetro de mercurio.</u>					<u>id. de aire.</u>
0	.	.	.	.	0
50,2	.	.	.	.	50
100,0	.	.	.	.	100
150,0	.	.	.	.	150
200,0	.	.	.	.	200
250,3	.	.	.	.	250
301,2	.	.	.	.	300
326,9	.	.	.	.	325
353,3	.	.	.	.	350

del mercurio; llevado así el termómetro á un parage frío, se contraen los líquidos, y el metálico asciende cierta cantidad hácia A, el índice *i* conducido por el mercurio asciende tambien: en un sitio caliente la columna de mercurio se eleva en sentido contrario y se aproxima al índice *i'*, á la estremidad B, pero en ambos casos queda sostenido el índice en el tubo por la elasticidad del rizo de cabello á la altura á que ha sido llevado por el mercurio, y de su posicion se infiere la temperatura á que ha sido espuesto el termómetro.

La fuerza elástica de los gases aumenta con la temperatura
Calentando un gas sin permitirle estenderse, su volumen no puede variar, pero su fuerza elástica aumenta: se puede facilmente calcular por el coeficiente de dilatacion de los gases, y segun la ley de Mariotte, cual será la presion.

1 vol. . . P. 76	temp. 0	=	1 litr.	P. 76
1 ———	—calentado á 10	=	1 —	— 78,85
1 ———	— . . . 100	=	1 —	— 94,50
1 ———	— . . . 200	=	1 —	— 133
1 ———	— . . . 300	=	1 —	— 153,9
1 ———	— . . . 500	=	1 —	— 218,5
1 ———	— . . . 1000	=	1 —	— 356

CONDUCTIBILIDAD.



Es la propiedad que poseen los cuerpos de permitir al calor propagarse con mas ó menos velocidad en su interior. Aplicando calor á un punto de cualquier cuerpo va penetrando poco á poco en las partes mas lejanas de este, pero no todos los cuerpos se ase-

mejor bajo el aspecto de su conductibilidad para el calor. Si se calientan hasta el rojo por alguno de sus extremos una barra de hierro y un trozo de carbon, se podrá coger impunemente con la mano á este muy cerca del punto candente, al paso que la barra de hierro de tal modo se calentará en la otra estremidad que será imposible tenerla en la mano; esto prueba que los dos cuerpos permiten al calor propagarse en su interior de un modo muy diferente. Se llaman cuerpos conductores los que dejan pasar facilmente el calor, y no conductores los que no le permiten el paso; sin embargo, nada tiene de absoluto este carácter, y así los metales reputados los mejores conductores estan lejos de serlo perfectos. Segun Mr. Biot para calentar un grado el extremo de una barra de laton de 9 metros de longitud seria preciso elevar la otra estremidad á la temperatura de 25,000 grados. La transmision del calor al traves de los cuerpos proviene de una radiacion que se hace de partícula á partícula, propagándose por capas, y de esto resulta que la temperatura decrece con gran rapidez: la observacion conduce á la siguiente ley:

El calor se propaga al traves de los cuerpos conductores con temperaturas que siguen una progresion geométrica decreciente, cuando las distancias, á partir del punto calentado, siguen una progresion aritmética: el decrecimiento es muy rápido. Se hace la esperiencia calentando la estremidad de una barra de hierro de un modo igual y constante: en esta barra de trecho en trecho se han practicado agujeros en los que se pone mercurio y un thermómetro en cada uno; la esperiencia consiste en consultar estos thermómetros para conocer la temperatura de los diversos puntos de la barra.

Ingenhouz y Franklin se han servido para reconocer la conductibilidad de los sólidos del aparatito, *fig.* 185, que solo da resultados aproximativos: *c c* es una caja de cobre en la que se vierte un líquido caliente, *tttttt* son varas hechas con diferentes cuerpos y que penetran en la caja *c*, estan barnizadas de cera que se

derretirá á mayor ó menor distancia segun la propiedad conductriz de la sustancia de cada vara.

La tabla siguiente espresa las relaciones aproximativas de la conductibilidad de algunos sólidos.

Oro	.	.	.	.	.	.	.	1000
Plata	.	.	.	.	.	.	.	973
Platino	.	.	.	.	.	.	.	981
Cobre	.	.	.	.	.	.	.	898
Hierro	.	.	.	.	.	.	.	374
Zinc	.	.	.	.	.	.	.	363
Estaño	.	.	.	.	.	.	.	304
Plomo	.	.	.	.	.	.	.	180
Mármol	.	.	.	.	.	.	.	24
Porcelana	.	.	.	.	.	.	.	12
Tierra de hornillos.	.	.	.	.	.	.	.	11
Carbon	.	.	.	.	.	.	.	2,7

Los líquidos son malos conductores del calórico, pero no precisamente por su estado de liquidez, pues el mercurio á la temperatura ordinaria y los demás metales fundidos le conducen muy bien. Se prueba que los líquidos son malos conductores de la manera siguiente: Se hace penetrar horizontalmente un thermómetro en una vasiya que contenga agua, se vierte alcol sobre esta agua y se inflama, luego podrá observarse la pequeña alteracion de aquel instrumento, que seria mucho mayor necesariamente si el calor se propagase con facilidad al traves de la capa líquida. Mr. Despretz ha probado que los líquidos siguen las mismas leyes que los sólidos; á este efecto ha puesto agua en su maximum de densidad (4.º sobre cero) en un cilindro de madera que llevaba de distancia en distancia thermómetros que penetraban horizontalmente la caja líquida al traves de la pared del cilindro; la columna líquida era ca-

lentada por la parte superior con una vasija de cobre, en la que se entretenia agua hirviendo.

Cuando se calienta un líquido, sus partículas calientes llegan á ser muy ligeras y vienen á ocupar la superficie, atravesando á veces una masa considerable del mismo líquido: si este no fuese conductor muy imperfecto, es claro que su parte caliente abandonaria á las demas partículas el calor de que estuviera impregnada, y no pasaria á ocupar la parte superior. La ascension del agua caliente se manifiesta de un modo muy señalado en los refrigerantes alimentados con agua y usados con frecuencia en los laboratorios de farmacia y de química.

En un líquido caliente se establecen dos corrientes, una que conduce á la parte superior las moléculas calientes, y otra que hace bajar á las mas frias: pueden observarse estas corrientes con facilidad poniendo en suspension en el líquido algunos cuerpos ligeros que son arrastrados por ellas.

Que se ponga en la vasija *fig. 187* agua y rasuras de madera, y se caliente por su parte inferior; se verá distintamente á la corriente que asciende subir á lo largo de las paredes del matraz, y á la otra bajar por el centro, como lo indican las flechitas; si se emplea para el experimento la vasija *fig. 188*, y se la enfria por bajo, la corriente tendrá lugar pero en sentido inverso, es decir, la ascendente se establecerá en el centro, y la descendente muy próxima á las paredes.

Los gases conducen muy mal el calor; no es siempre fácil observarlo, porque sus moléculas son tan movibles que se desalojan y se reemplazan con estremada rapidez; pero toda vez que se pueda impedir la formacion de las corrientes, se muestra á descubierto la propiedad no conductriz de los fluidos elásticos.

Las diferencias en la conductibilidad de los cuerpos nos suministran multitud de aplicaciones útiles y de observaciones llenas de interes: ejemplos:

La tierra es calentada todos los dias por los rayos del sol; pe-

ro como la materia que la forma es poco conductriz, el calor llega solo á una corta profundidad; por la inversa el centro de la tierra, cuya temperatura parece debe ser escesiva, no se enfria de un modo notable, porque el calor no se propaga al exterior sino con extrema dificultad.

Cuando queremos construir un buen horno, elegimos para concentrar el calor los materiales menos conductores porque todo calor absorbido por el mazizo del horno ó conducido por él al exterior es pura pérdida en cuanto á los efectos deseados.

Si deseamos construir una estufa, y de consiguiente aprovechar en beneficio del exterior el calor del hogar, debemos servirnos de algun metal, porque el calor le atravesará con rapidez, y se esparcirá en la habitacion: por lo tanto las estufas de materias poco conductoras tienen tambien su ventaja, es verdad que tardan mas en calentarse, pero una vez calientes conservan muy largo tiempo el calor.

El agua en estado de hielo es muy mal conductor; tambien los años de nieve son favorables á la vejetacion, porque la nieve forma como una capa protectora que mantiene las plantas á una temperatura media, é impide que el frio exterior, por escesivo que sea, penetre hasta ellas. La propiedad no conductriz del hielo es útil para transportarle á lo lejos; se le reduce á pedazos que se amontonan unos sobre otros en la cala de los buques, y se ha reconocido que en un viage de seis meses desde los Estados Unidos de América á la India por las regiones mas cálidas de la tierra se preservaban asi los dos tercios del hielo de la liquidacion.

Los cuerpos no conductores nos sirven para concentrar el calor en un lugar ó paraje cualquiera, asi las habitaciones guarnecidas de tabla se enfrian con lentitud; nuestros trajes formados de sustancias no conductoras se oponen á la pérdida del calor natural del cuerpo al mismo tiempo que retienen prisionero al aire atmosférico, que es uno de los peores conductores: esta propiedad del

aire se pone en contribucion para la construccion de neveras; á la posicion al norte , á la eleccion de los materiales peores conductores se añade el auxilio de una galeria exterior que el aire llena y en donde se opone poderosamente á la propagacion del calor.

DEL CAMBIO DE ESTADO DE LOS CUERPOS.

Todos los cuerpos pueden cambiar de estado por la accion del calor; á medida que se acumula el calórico en ellos , su fuerza repulsiva aumenta, la distancia y por consecuencia la atraccion mutua de las moléculas disminuyen, y el cuerpo pasa sucesivamente del estado sólido al líquido, de este al de fluido aeriforme.

Todos los cuerpos son susceptibles de pasar del estado sólido al líquido, pero presentan entre sí las mayores diferencias en cuanto á la temperatura á que se opera la fusion; unos se funden á temperatura muy inferior á cero; otros como el platino , la sílice exigen el calor del espejo ustorio ó del soplete de oxígeno é hidrógeno; y algunos no pueden ser liquidados por los medios conocidos, lo que se atribuye á que no hemos podido producir un calor bastante fuerte.

La temperatura á que tiene lugar la licuefaccion de los cuerpos es constante para cada uno de ellos.

PUNTO DE FUSION DE ALGUNOS CUERPOS.

Hielo	0.º
Aceite de olivas	4
Manteca	32
Sebo	33

Esperma de ballena.	45
Cera blanca	68
Fósforo	43
Manteca de cacao	40
Potásio	55
Sódio	90
Aleacion de 1 de plomo, 1 de estaño, 2 de bismuto	94
Yodo	107
Azufre	109
Alcanfor	175
Estaño	228
Bismuto	246
Plomo	260
Zinc	360
Antimonio	425
Plata pura	540
Cobre	788
Oro	705

Todos los líquidos llegan á solidificarse por una baja de temperatura, y aunque con algunos no se haya podido conseguir la solidificacion, debe admitirse teóricamente como regla general. El punto en que se hacen sólidos, el en que se liquidan, son ordinariamente uno mismo; los cuerpos grasos presentan bajo este aspecto una escepcion notable; el agua que se congela por lo comun á cero puede sufrir si está tranquila un frio de 10 ó 12 grados. Vemos que los depósitos de agua tranquila se hielan con mas prontitud cuando tienen poca estension, y resisten mas largo tiempo al frio cuando las aguas son profundas; esto consiste en que solo podrá verificarse la congelacion cuando toda la masa haya llegado á cero. Las aguas corrientes necesitan mas frio porque la agitacion mezcla incesantemente las capas, En las rápidas corrientes

de los ríos se forma gran parte de hielo hácia el fondo del agua, y no se ve aparecer hasta despues de muchos días de frio intenso; entonces los pequeños hielos que flotan en la superficie, y cuya temperatura es muy inferior á cero, son arrastrados por las corrientes en que se hallan; pero si encuentran algun obstáculo en donde se detengan un instante, su baja temperatura determina en el punto de contacto la formacion de una pequeña capa de hielo, que los retiene como prisioneros, sucesivamente se acumulan otros, y la masa aumenta hasta que llega un momento en el cual en razon da su ligereza se desprende, y viene á nadar en la superficie bajo le forma de masa esponjosa.

Un líquido pierde ordinariamente parte de su volumen al pasar al estado sólido; pero hay muchas escepciones: varias ligas metálicas, la fundicion de hierro, el agua aumentan por el contrario de volumen; por esto el hielo muy ligero nada en la superficie del agua. La dilatacion producida en el momento de la conjelacion es una fuerza poderosa que rompe muchas veces las vasijas en que se verifica, y contra la cual es necesario precaverse.

En general para los líquidos que se calientan, llega un momento en que son transformados en fluidos aeriformes; con todo hay algunos cuerpos que no han podido ser evaporados á falta sin duda de calor suficiente. Los fluidos elásticos obtenidos por una elevacion de temperatura reciben el nombre de vapores, y tienen las mismas propiedades que los gases.

PUNTO DE VOLATILIZACION DE ALGUNOS METALES.

Mercurio	.	.	.	.	350°
Arsénico	.	.	.	.	180°

Cadmio	} á unos 36°.
Terulo	.	.	.	.
Potasio	} al calor rojo.
Sodio	.	.	.	.
Zinc	al calor blanco.
Plomo	} id. pero mas difícil- mente que el zinc.
Estaño	.	.	.	.
Bismuto	.	.	.	.
Antimonio	.	.	.	.
Plata	} al foco de un espejo ustorio.
Oro	.	.	.	.
Platino	.	.	.	.

Todo fluido elástico se vuelve líquido por una baja de temperatura; si consultamos bajo este aspecto á la esperiencia, nos muestra que algunos de estos fluidos elásticos no han podido ser liquidados, tales como el oxígeno, el hidrógeno, el ázoe; otros exigen temperaturas muy diferentes para ser convertidos al estado líquido: aquellos fáciles de condensar llevan el nombre de vapores; los mas resistentes se llaman gases, sin que sea posible establecer entre unos y otros límite marcado. Se liquidan los gases por el frio, por la compresion, por ambos medios reunidos. Mr. Bussy ha obtenido el ácido sulfuroso líquido haciendo llegar una corriente de este gas seco á un vaso estrecho rodeado de sal y de hielo: ha liquidado el cloro, el amoniaco, el cianógeno haciendoles atravesar lentamente una esfera pequeña de vidrio cubierta de algodón en rama y rociado este con ácido sulfuroso líquido. Mr. Thilorier ha liquidado el ácido carbónico sometiéndole á una fuerte presion: Mr. Freraday ha reducido á líquidos gran número de gases sirviendose de la presion y del frio al mismo tiempo. Cerraba la estremidad de un tubo grueso de vidrio, le doblaba sobre sí mismo ó enroscaba, é introducía en él materias capaces de producir un gas; estiraba en

seguida la otra estremidad á la lámpara sin cerrarla completamente, producía cierta cantidad de gas para desechar el aire, cerraba después perfectamente el tubo y producía nuevo gas al mismo tiempo que enfriaba la parte extrema de este tubo. Si se emplea en esta operación cianuro de mercurio, en el momento que se cierra el tubo se llena de cianógeno; calentando luego el cianuro se forma nueva cantidad, y como el espacio es limitado, la presión que aumenta á cada instante basta muy pronto para liquidar parte del cianógeno que se deposita en la parte fría del tubo. Veanse á continuación algunos de los resultados obtenidos por Faraday.

	<u>Temp.</u>	<u>Presion en admósferas.</u>
Acido sulfuroso . . .	+7 . . .	2
Cianógeno . . .	7 . . .	3,6
Cloro . . .	15,5 . . .	4
Amoniaco . . .	0 . . .	5
Acido sulfhídrico . . .	16 . . .	14
	10 . . .	17
Acido clorhídrico . . .	-16 . . .	20
	-4 . . .	25
Acido carbónico . . .	-11 . . .	20
	0 . . .	36
Oxido nitroso . . .	0 . . .	44
	+7 . . .	51

CALOR LATENTE.

Si se pone hielo en una caldera al fuego y se sumerge en el hielo un termómetro, este permanecerá á cero á pesar del calor

que suministre constantemente el hogar, hasta que sea derretido el último trozo conjelado, desde este momento asciende la temperatura sucesivamente hasta que el líquido entre en ebullicion; entonces queda de nuevo estacionaria, y la actividad que puede darse al fuego solo produce el efecto de hacer mas tumultuosa la ebullicion, pero el thermómetro no varía. Asi, pues, mientras la licuefaccion del agua, y su transformacion en vapor, todo el calórico que no es acusado por el thermómetro, es absorvido, y entra en combinacion con las partículas materiales; se le llama calórico latente, *calor latente*.

Si el vapor del agua llega á liquidarse, si el agua líquida pasa al estado de hielo, el calor latente queda libre, y se manifiesta al exterior por sus efectos ordinarios; á este calor libre en el momento de la licuefaccion es debida la utilidad del vapor para calentar; á la desaparicion del calórico que se produce cuando el agua se evapora debe atribuirse la frescura ocasionada por los riegos. Si una masa de agua á cero solo se congela en parte, es porque la solidificacion pone en libertad el calórico latente que calienta el resto líquido.

Se ha medido el calor latente del hielo y el del vapor de agua: en un barreño hueco de hielo, cerrado exactamente por una tapadera tambien de hielo, se vierte agua á 75.º, un kilógramo por ejemplo, y se hallan dos kilógramos de agua líquida á cero; de modo que 75 grados de calor han servido para hacer fundir el hielo sin elevar su temperatura; 1 parte de hielo contiene bastante calor latente para elevar un peso de agua igual al suyo de 0 á 75, llamando calórico la cantidad de calor necesaria para elevar al agua un grado, el hielo contiene 75 calóricos en estado latente: Despues veremos que el vapor de agua contiene 550.

Lo que hemos dicho del agua es aplicable á todos los cuerpos que cambian de estado.

En el calor que se aplica á un cuerpo, y que determina el fe-

nómeno de la dilatacion, una parte es aplicada especialmente á esta dilatacion, esta es el calor latente; otra queda libre, y es el calor thermométrico. El fenómeno es señalado sobre todo en los gases: comprimiendo un gas disminuye su volúmen, el calórico de dilatacion llega á ser libre y el gas se calienta; por el contrario, dando á un gas el mayor espacio en que pueda dilatarse, su volúmen aumenta, pero se enfria porque es obligado á tomar de su calor thermométrico el necesario para la dilatacion. He aqui porque á medida que el aire se eleva mas, se enfria mas y mas; se ha calculado que si no se calentase á espensas de las capas que atraviesa, el aire que parte de la superficie de la tierra á $+20.^{\circ}$ tendria una temperatura de $44.^{\circ}$ cuando ascendiese á 6000 metros, su volúmen seria doble. A esta altura la temperatura atmosférica no es realmente menos de $-8.^{\circ}$ en virtud del calor prestado al aire por las capas atravesadas.

Habiendo salir ácido carbónico de una vasiija en la que estaba fuertemente comprimido, y poniendo algun obstáculo á su dissemination en el aire, Mr. Thilorier á llegado á obtener dicho ácido bajo forma sólida: sobre tres partes de gas una se solidifica, y las dos restantes conservan el estado gaseoso. La solidificacion es aqui aun el resultado del frio intenso que se produce cuando el gas carbónico experimentando un aumento considerable de volúmen quita á su calor thermométrico el necesario para su dilatacion.

El eslabon de aire está basado en una accion contraria. Es un tubo de vidrio ó de otra materia en el que entra rápidamente un piston con un trocito de yesca en su estremidad; el calor que resulta de la compresion es bastante fuerte para determinar la inflamacion de la yesca.

Las mezclas frigoríficas ó refrigerantes que se usan para enfriar los cuerpos estan fundadas en la propiedad que poseen los sólidos de absorber calor al tiempo de liquidarse. Se distinguen en tales mezclas las que resultan de la solucion de una sal en un líquido, y aquellas en que se hace entrar hielo. He aqui algunos ejemplos:

Nitrato de amoniaco cristalizado	1	} de + 10.º á — 15.º
Agua.	1	
Acido sulfúrico á 41.º.	3	} de + 10.º á — 8.º
Sulfato de sosa cristalizado,	4	
Agua.	1	} de + 10.º á — 16.º
Acido nítrico diluido.	2	
Sulfato de sosa cristalizado.	3	

Se emplea muchas veces el hielo y la nieve en las mezclas refrigerantes, se les mezcla con sustancias que tienen bastante afinidad para el agua y determinan la licuefaccion del hielo; el frio es entonces el resultado de este que ha pasado á líquido y de la materia salina liquidada tambien entrando en disolucion. Ejemplos:

Nieve.	1.	} de 0.º á 17,77.º
Sal marina.	1.	
Nieve.	3.	} de 0.º á — 20.º
Sal marina.	1.	
Cloruro de cálcio seco en masa porosa	3.	} de — 20.º á — 55,5
Nieve.	2.	
Nieve.	8.	} de — 55.º á 63,3
Acido sulfúrico. } 4		
Agua. } 2.		
Alcol. } 4		

Cuando se hace una mezcla refrigerante, se debe: 1.º tomar las materias lo mas frias posible; 2.º emplearlas muy divididas las sales en polvo y la nieve de preferencia al hielo; 3.º hacer una mezcla exacta de las sustancias; 4.º operar en vasijas no conductoras, de madera por ejemplo; 5.º servirse de masas bastante considerables para que las causas exteriores de calor tengan poca influencia; 6.º enfriar por primeras mezclas las materias que deben emplearse cuando haya que producir un frio muy considerable.

CALOR ESPECÍFICO.

Todos los cuerpos no toman igual cantidad de calor para llegar á una dilatacion y á una temperatura dadas. Se llama calor específico la cantidad propia de calor tomada por cada cuerpo, y capacidad para el calórico la propiedad que cada cuerpo posee de tener un calor específico particular. El calor específico no es la cantidad absoluta de calor que contienen los cuerpos, sino el calor relativo necesario para producir un mismo efecto sobre cuerpos diferentes.

En la investigacion del calor específico se toma por unidad el agua llamando calorío ó therma la cantidad de calor necesaria para elevar su temperatura un grado (de cero á 100 es preciso otro tanto por cada grado del termómetro); se investiga el efecto que esta cantidad de calor produciria sobre un peso semejante de otro cuerpo.

Los medios por los cuales se llega á reconocer el calor específico son los siguientes: 1.º se determina la cantidad de hielo fundido por un mismo peso de diferentes cuerpos; 2.º se toma la temperatura media que resulta de la mezcla de cuerpos desigualmente calientes; 3.º se observa el tiempo que emplean diferentes cuerpos en enfriarse.

Fundicion del hielo. Este procedimiento reposa sobre el hecho de que el hielo se liquida á temperatura fija, y todo el calor que se le da se emplea en fundirle sin calentarle; se concluye de la cantidad de hielo fundido la de calor suministrado.

1.k	agua	$\frac{1}{2}$ á 75	funde	.	.	.	1.º hielo.
1.k	A	$\frac{1}{2}$ á 75	—	.	.	.	1.º —
1.k	B	$\frac{1}{2}$ á 75	—	.	.	.	1/2 k—

De los cuales A contiene tanto calor como el agua ó tiene un calor específico semejante, B le tiene la mitad menor.

Se toma un trozo de hielo G, *fig.* 189, de superficie unida; en él se practica una cavidad V; se le cubre con otro C C; llevado el todo á una sala ó cuarto á proposito se halla muy pronto á la temperatura de 0.^o El calor de los cuerpos circundantes funde la superficie del trozo de hielo, pero no puede penetrar en la cavidad interior; enjugada pues esta con una muselina se pone en ella el cuerpo caliente α , se añade la cubierta, y cuando se juzga que el efecto ha determinado se pesa la cantidad de agua que ha sido fundida, ejemplo:

1.k	hierro á	+	100	ha fundido	.	.	0,k 146	de hielo
1	—	+	1	fundiria	.	.	0,00146	
1	—	+	75	—	.	.	0,11	
1	agua á	+	75	—	.	.	1,	

El calor específico del agua es pues al del hierro como 1 es á 0, 11.

Si el cuerpo tubiera alguna accion química sobre el agua, se le colocaria en un vaso intermedio despues de haber determinado por la esperiencia la cantidad de hielo que el vaso puede fundir:

Se ha reemplazado el trozo de hielo por un aparato que lleva el nombre de Calorímetro de Lavoisier y Laplace, *fig.* 186: es un pocito de hielo menos perfecto que el precedente, en A B B' hai una cavidad mas exterior que se llena de hielo en estado fundente. Cuando la cobertera A' B' se halla colocada y cubierta de hielo, ninguna parte del calor radiante enviada por los cuerpos circunvecinos puede penetrar en el calorímetro. En la cavidad A'' C'' D'' se pone aun hielo, se le llena completamente como á la cobertera interior c c: la cavidad mas interior A está vacía, en ella se coloca el cuerpo cuyo calor específico quiere conocerse, y se recoge el agua que se ha fundido por la llave r.

El colorímetro tiene un defecto: el hielo machacado conserva su superficie humedecida por el agua que escurre al mismo tiempo que la resultante de la acción del cuerpo caliente, y aumenta la cantidad de esta.

Método de las mezclas Está basado en el principio de que el calor de un cuerpo es igual para cada grado del termómetro en los límites de temperatura comprendidos entre 0 y 100.

Admitido esto, de la temperatura media resultante de la mezcla de cuerpos desigualmente calientes se puede deducir el calor específico relativo de estos cuerpos.

1 k	vidrio á	+ 86°	} temperatura media 1,47
10	agua á	cero	

El vidrio ha perdido, pues, 84,53°

84,53° han elevado 10 k. de agua á . . . 1,47

elevantán 1 ——— á . . . 14,7

elevan 1 de vidrio á . . . 84,53

Por lo que siendo 1 el calor específico del agua, el de el vidrio será 0,17.

En este género de esperiencias hay dos causas de error que deben evitarse: 1.º Una parte del calor es absorbida por el vaso en que se opera; para remediarlo debe usarse uno de poca masa, y mejor contarle en la esperiencia por una cantidad de agua cuyo calor específico sea igual al suyo: 2.º Se pierde una parte de calor por la radiacion, pero el efecto es nulo si se opera con celeridad y en parage en donde la temperatura difiera poco de la de la mezcla.

Si los cuerpos tienen acción química entre sí se puede usar una vasija intermedia que permita la comunicacion del calor sin el contacto de ellos; tambien puede conseguirse el resultado por un medio indirecto, por ejemplo: no pueden mezclarse agua y ácido sulfúrico que producirian gran calor, pero si se conoce el calor específico del mercurio con relacion al agua, y el del ácido sulfúrico con re-

lacion al mercurio que es fácil de averiguar por el método de las mezclas, se deducen fácilmente de esto las relaciones de calor específico del agua y del ácido. Habiendo hallado, v. gr., que el calor específico del ácido es al del mercurio como 11, 1 se tendrá el del ácido con relacion al agua multiplicando por 11,033 que representa el del mercurio.

En investigaciones de este género debe asegurarse el físico con particular precision de la temperatura de los cuerpos sobre que hace la mezcla y de la resultante de la mezcla misma. El aparato empleado por Mr. Regnault suministra un medio, V, *fig* 190, es una estufa que se compone de tres cavidades; la interior *v* es la estufa propiamente dicha, está cerrada en el extremo por un registro *i* perforado en el centro para permitir el paso á un thermómetro; por la cavidad *v'* pasa una corriente continua de vapores, entra en *c* y sale en *s*; la cavidad *v''* forma una manga de aire que preserva al instrumento del enfriamiento interior; *b b* es la pared de una caja de hoja de lata en la que se tiene agua fria. Está atravesada por un agujero cilíndrico que corresponde á la cavidad *v*; el registro *i'* cierra al mismo tiempo *v* y *b*. Se coloca la materia sobre que quiere operarse en una pequeña cesta metálica *c*, que en su eje lleva un cilindrito de tola destinado a recibir el thermómetro, este aparato es suspendido por un hilo de seda en el interior de la estufa *v*; *t* es una especie de pantalla que se levanta ó se baja á voluntad.

Se pone el agua que ha de servir para la mezcla en el vaso *z* formado de una hoja delgada de laton, sostenido por dos hilos de seda del pequeño carrete *r* que se mueve sobre una ranura; esta disposicion permite conducirlo bajo la estufa y sacarle facilmente de ella; la vasija de laton contiene un thermómetro muy sensible *a* á un centimetro de la pared, y su bola es bastante larga para ocupar toda la altura del liquido; otro thermómetro *a'* indica la temperatura ambiente.

La cestita está suspendida en la estufa hasta que sea constante la temperatura, lo que tiene lugar despues de un tiempo muy largo, cuando la sustancia se ha calentado hasta el centro; se pone agua en el vaso de laton, se anota su temperatura que debe ser de 1 á 2 grados menos que el ambiente, y ascenderá igual cantidad en el acto de la operacion; se conduce el carrete bajo de v , se abren los registros, se hace caer la cestita en el agua, se separa con prontitud el carrete, se baja la pantalla t , y mientras que un ayudante agita continuamente á cierta distancia la cestita en el agua, el observador sigue al thermómetro para apreciar el momento en que haya adquirido la mayor temperatura: bastan ordinariamente uno ú dos minutos. En una experiencia se han empleado 314,77 gramas de cobre á $98,^{\circ}26$ y 462,28 de agua á $12,^{\circ}5$, la temperatura media se ha hallado ser de $17,^{\circ}42$; el cobre ha perdido por consiguiente 80,84, el agua ha ganado 4,92. Si se investiga qué peso de agua hubiera sido elevado a 80,84, se hallan 28,13 gramas; y asi el calor suficiente para elevar 314,77 gramas de cobre á $80,^{\circ}84$ no hubiera calentado hasta el mismo grado mas que 28,13 gramas de agua; de donde siendo 1 el calor específico del agua, el del cobre es 0,09. (17)

Debe hacerse entrar en el cálculo el calor tomado en el momento de la mezcla por los vasos de laton y por el thermómetro; conociendo el peso del laton, el del mercurio y el del vidrio del thermómetro, y su calor específico, se estima por el cálculo cuanta agua seria menester para producir el mismo efecto, y al calcular para el definitivo resultado se añade esta cantidad de agua á la obtenida por el peso. Mr. Regnault ha dado el medio de tener en cuenta las pérdidas de calor producidas mientras la operacion, la correccion no asciende á mas de $1/30$ de grado. Se la puede despreciar en las experiencias en que nunca se llega á una extrema precision; es de notar por otra parte que la correccion queda verdaderamente ejecutada si ha habido cuidado de servirse de agua

cuya temperatura era tan inferior á la del ambiente antes de la experiencia, como superior ha sido despues.

Cuando se opera con líquidos ó sustancias que tienen accion sobre el agua se los encierra en pequenos tubos de vidrio delgado tapados por ambos extremos, teniendo en cuenta para el cálculo el calor específico del vidrio.

En fin, para las sustancias de que solo se tiene una pequeña cantidad se reemplaza el agua con la esencia de trementina, cuyo calor específico siendo mas débil (0,4259) da para una misma cantidad de materia una elevacion de temperatura mas considerable.

Método de enfriamiento. Una superficie siempre igual pierde en un mismo tiempo por la radiacion la misma cantidad de calor siendo la temperatura constante, de modo que cualquiera que sea el cuerpo encerrado en una envoltura, el calor emanando de la superficie en un tiempo dado será enteramente dependiente de esta superficie, y no de la naturaleza del cuerpo encerrado. Dos cuerpos de diferente capacidad para el calor, ó en otros términos, que contengan en pesos iguales cantidades diferentes de calor, hallándose encerrados en una cubierta semejante, tardarán en enfriarse un tiempo precisamente en relacion con la cantidad de calor que contenga cada uno de ellos. El calor específico de tales cuerpos podrá pues deducirse de la duracion del enfriamiento.

Deben satisfacerse algunas condiciones esenciales: 1.º La superficie radiante debe ser siempre la misma: 2.º No ha de recibir por cambio mas calor en un momento que en otro; lo que se conseguirá operando en un recinto de paredes delgadas mantenidas á cero, y ennegrecidas para aumentar su poder absorbente; 3.º el enfriamiento debe verificarse solo por radiacion; y para que así sea se opera en el vacío, á fin de que el aire no pueda por su contacto quitar calor á una superficie y darle á otra; 4.º el calor debe propagarse con bastante facilidad en el cuerpo que se enfria; á este efecto se le toma en polvo, y se opera sobre pequeñas cantidades:

5.º El enfriamiento debe ser bastante lento para poder ser bien observado. No se comienza la observacion hasta que la temperatura del cuerpo solo escēda algunos grados á la del ambiente; y solamente se ejecuta sobre una baja de 5 grados.

El aparato *fig. 81* se compone de un frasquito de platino *ss* delgado y pulimentado que siempre radiará igualmente, de un termómetro *t* colocado en el centro que marcará exactamente la temperatura en el principio y fin de la observacion; se pone el objeto de la esperiencia en la vasija de platina, y se suspende esta del recipiente *V* enegrecido en su interior que se llena de hielo; se calienta el vasito, se le coloca en el aparato, y hecho el vacío, se observa el termómetro; se señala con cuidado el tiempo transcurrido mientras la observacion, y para mayor exactitud se miran los grados del termómetro con un lente de aumento. Por este procedimiento han averiguado Dulong y Petit el calor específico de gran número de cuerpos.

Sea agua 10 gramas, tiempo de enfriamiento 20^I ó 1200^{II} , y plata 60 gramas; tiempo de enfriamiento $6^I 50^{II}$ ó 410^{II} ; 10 gramas de plata hubieran empleado seis veces menos tiempo, esto es, $68 \frac{1}{3}$; y así el calor específico de la plata será al del agua como 68,3 es á 1200, ó como 0,057 es á 1. (18) El método de enfriamiento solo es aplicable con ventaja á las sustancias que no presentan muchas dificultades á la propagacion del calor; las demas no dejan pasar regularmente el calor desde el interior á la superficie ó á la cubierta.

CALOR ESPECIFICO DE ALGUNOS SOLIDOS Y LIQUIDOS ENTRE 0.º Y 100.º

Agua.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
Acido nítrico d: 1,3.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,66
Acido clorhídrico d: 1,53.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,6

Alcol.	0,632
Eter sulfúrico d: 0,7,15.	0,52
Materia poco mas á menos.	0,5
Esencia de trementina.	0,4259
Fósforo.	0,385
Acido sulfúrico d: 1,85.	0,349
Aceite comun,	0,31
— de napta.	0,493
Nitrato de potasa.	0,269
Cal anhidra.	0,179
Sílice (cuarzo).	0,179
Vidrio.	0,177

Cuando se quiere averiguar el calor específico de los gases, los resultados se complican con los fenómenos de dilatacion y contraccion que hacen la operacion casi imposible por la via directa; Mr. Dulong, partiendo de una ley de relacion calculada por Laplace entre los calores específicos de los gases y la velocidad del sonido en los diversos fluidos elásticos, ha conseguido, haciendo sonar á un tubo de embocadura de flauta por medio de gases diferentes, esta ley notable: los volúmenes iguales de todos los fluidos elásticos simples tomados á igual temperatura y bajo la misma presion, si son súbitamente dilatados ó comprimidos en una fraccion de volumen desprenden ó absorven igual cantidad de calor, y tienen por consiguiente un calor específico semejante. Berard y Laroche habian hallado para el calor específico de los gases en volúmenes iguales los resultados siguientes:

.....CALOR ESPECIFICO.....			
<i>Gases.</i>	<i>En volúmenes iguales.</i>	<i>En pesos iguales.</i>	<i>Comparado con el agua.</i>
Aire á cero.	1	1	0,2669
Acido carbónico	1,258	0,828	0,2210

Hidrógeno.	0,903 . . . . .	.12,340. . . . .	.3,2936
Oxígeno. . . . .	.0967 . . . . .	.08848. . . . .	.0,2361
Azoe.	1 . . . . .	.1,0318. . . . .	.0,2754
Vapor de agua.	1,980 . . . . .	.3,136 . . . . .	.0,8470

El calor específico de los gases aumenta con la temperatura.

La tabla del calor específico de los cuerpos espresa las relaciones del calor que es necesario para elevar un peso semejante de estos cuerpos el mismo número de grados, por ejemplo, siendo 100 el calor específico del agua, y el del hierro 11, es preciso para calentar igualmente los dos cuerpos emplear cantidades de calor representadas para el primero por 100, y con respecto al segundo por 11.¹ Un kilógr. de hierro enrojado apenas contiene los dos tercios del calor que se halla en un kilograma de agua hirviendo.

Los cuerpos que tienen un calor específico débil se calientan y se enfrian con facilidad, y sucede lo contrario con los de calor específico fuerte; el agua, por ej. se calienta lentamente, y lo mismo se enfria; así vemos las masas de agua considerables que no toman la temperatura del aire en los buenos dias hasta despues de haber pasado algunos iguales; y si llega á bajar la temperatura de la atmósfera, solo se enfria el agua despues de varios dias frios. En el enfriamiento producido por la radiacion de la tierra al transcurrir la noche se observa que la temperatura de las masas de agua ha bajado menos que la de los cuerpos circunvecinos aunque radie mucho, porque tiene mucho calor que perder. A esta gran capacidad del agua para el calórico deben atribuirse sus buenos efectos como materia refrigerante, ya para condensar los vapores, ya para templar el calor de una inflamación, ó para templar los metales.

Cuando un cuerpo no cambia de estado, su calor específico tampoco varía en cierto número de grados. Esta ley no es enteramente exacta, porque Dulong y Petit han observado que el calor específico crece con la temperatura; es un poco mas pequeño

bajo de cero que entre cero y ciento, y un poco mayor sobre 100 grados.

Los calores específicos determinados por la esperiencia son inexactos por esta circunstancia, y solo pueden representar una aproximacion; se componen en efecto de una cantidad fija que es el calor específico perteneciente á la materia, y de otra cantidad variable que cambia con el volúmen del cuerpo, y que produce los fenómenos de dilatacion y de temperatura. El calor específico de un mismo cuerpo puede variar tambien con su estado molecular; no solo no es el mismo para un cuerpo en el estado sólido, en el de líquido ó en el de gas, sino que se muestra diferente en los diversos estados de agregacion del cuerpo sólido. El carbon en particular presenta diferencias casi tan marcadas como lo doble contra lo sencillo.

Antes de Dulong y Petit no se habia procurado establecer ninguna relacion entre el calor específico de los cuerpos y su estado molecular, pero estos físicos hábiles, á consecuencia de un trabajo en el que habian determinado el calor específico de un gran número de cuerpos simples, calcularon cual seria el de estos mismos cuerpos si en vez de referirle á 100 partes en peso de cada uno de ellos, se le estableciera para el número que representa el peso del átomo químico mas probable; y llegaron á la consecuencia de que los átomos simples todos tienen un calor específico semejante; esta ley general ha sido despues confirmada por las esperiencias de Mr. Regnault.

	<i>Calor específico.</i>		<i>Peso atómico.</i>		<i>Calor especif. del átomo.</i>
Hierro.	11379	.	339,21	.	38,597
Zinc.	0,09555	.	403,23	.	38,526
Cobre.	0,09515	.	395,70	.	37,849
Cadmio.	0,6669	.	699,77	.	39,502
Plata.	0,05701	.	1351,61	.	38,527

Plomo.	0,03140	.	1294,50	.	.	.	40,647
Bismuto.	0,03084	.	1330,37	.	.	.	45,034
Antimonio.	0,05077	.	806,45	.	.	.	40,944
Estaño.	0,05623	.	735,29	.	.	.	41,435
Niquel.	0,10863	.	369,68	.	.	.	40,160
Cobalto.	0,10696	.	368,99	.	.	.	39,468
Platino.	0,03243	.	1233,50	.	.	.	39,993
Paladio.	0,05927	.	665,90	.	.	.	39,468
Oro.	0,03244	.	1243,01	.	.	.	40,328
Azufre.	0,20259	.	201,17	.	.	.	40,754
Selenio.	0,0837	.	494,58	.	.	.	40,403
Téluro.	0,05155	.	801,76	.	.	.	41,594
Yodo.	0,05412	.	789,75	.	.	.	42,703
Mercurio.	0,03332	.	1265,22	.	.	.	42,149
Arsénico.	0,08140	.	470,04	.	.	.	38,261

Se han hecho investigaciones numerosas para determinar las relaciones que podian existir entre el calor específico de los compuestos y el de sus elementos. Todo lo que se sabe bajo este aspecto es vago é indeciso: parece que Mr. Dulong creia que el calor específico de los gases compuestos es igual al de los simples que los forman cuando estos últimos no experimentan contraccion de volúmen en el momento de la combinacion; y que por el contrario es diferente cuando ha habido contraccion de volúmen, siendo el mismo el nuevo calor específico en los grupos que resultan de la combinacion de igual número de volúmenes con una contraccion semejante. Mr. Regnault ha establecido las dos proposiciones siguientes: 1.^a En todos los cuerpos de igual composicion atómica y de constituciones químicas semejantes los calores específicos estan en razon inversa de los pesos atómicos, por ejemplo: el peso atómico del óxido de plomo es 1394, su calor específico 0,0511; el peso atómico del óxido de cobre es 469, su calor específico 0,1623.

2.^a En una misma serie química el calor atómico es igual: debe entenderse por calor atómico el calor específico multiplicado por el peso del átomo; así los óxidos de plomo, de mercurio, de cobre han dado por experiencia, como que representan su calor atómico, los números 71, 34, 70, 94, 70, 39; por lo demás el calor atómico de los compuestos parece susceptible de variar con su estado molecular, como el de los cuerpos simples.

DE LOS VAPORES.

FUERZA ELÁSTICA DE LOS VAPORES.

Los vapores son fluidos aeriformes que pueden pasar fácilmente al estado líquido; mientras conservan la forma gaseosa comprimen como los gases las paredes de los vasos que los contienen. Las palabras *presión*, *fuerza elástica*, *tensión elástica* tienen en este caso igual acepción que cuando se refieren á los gases.

En un espacio y á temperatura determinada solo puede existir cierta cantidad limitada de vapor; si se disminuye el espacio se deposita una porción de vapor en relación con esta disminución. Para cada temperatura hay un máximo de tensión que no puede pasar adelante, ó estenderse á mas, he ahí un carácter distintivo é importante de los vapores. Tomando un tubo barométrico, *fig* 184, lleno de mercurio y que contenga un poco de éter, y trastornándole ó invirtiéndole en otro mas ancho que contenga tambien mercurio, se ve á la columna metálica del primer tubo detenerse á cierta altura *ns*; desde *s* á *t* existe una atmósfera de vapor de éter que tiene su máximo de tensión para la temperatura á que se hace la experiencia. A medida que se sumerge el tubo, y por consiguiente se comprime el vapor, este no toma una fuerza elástica

mayor, como lo haría un gas, sino que se deposita en parte, y la porcion restante conserva la misma tension ; tambien la columna de mercurio *ns* conserva siempre igual longitud.

La cantidad de vapor que se forma, y la tension de este vapor para una temperatura dada es diferente en cada especie ; esto se prueba haciendo pasar diversos líquidos en tubos barométricos llenos de mercurio, *fig. 183*; la depresion de la columna *merc*ual es diferente con cada uno de ellos.

La cantidad de vapor que se forma y la tension de este vapor aumentan por el calor y disminuyen por el frio. Es fácil asegurarse de esto aproximando un cuerpo caliente á tubos barométricos en la esperiencia precedente.

Para medir la tension de un vapor en los límites de la temperatura ordinaria se llena un tubo de mercurio con las mismas precauciones que si se quisiera construir un barómetro; se le invierte tambien sobre mercurio, y se introduce en él cierta cantidad del líquido sobre que se quiere hacer la esperiencia. Se averigua la temperatura, se mide la altura de la columna de mercurio, y se consulta el barómetro para conocer la presion atmosférica actual ; la diferencia de altura de la columna en el barómetro y en el tubo hace conocer la fuerza elástica del vapor. Ejemplo:

La temperatura es de 20 grados ; la presion atmosférica de 760 mils.; la altura del mercurio en el tubo de 743 mils.; por consiguiente la presion que en el tubo hace equilibrio á la atmosférica se compone de los 743 mas 17 m m. presion ejercida por el vapor y representada en mercurio á la temperatura de 20.º

Transportando este aparato á un medio mas ó menos caliente se puede facilmente determinar la fuerza elástica de un vapor en límites bastante estensos.

Para las temperaturas mas altas, *fig. 182*, se rodean los tubos barométricos por una especie de manguito de vidrio en el que se vierte agua ó aceite caliente, cuya temperatura pueda elvarse

por medio de un hornillo. Este método no es aplicable cuando se trata de valuar tensiones mas fuertes que las de la atmósfera; el vapor rechazaria entonces bastante al mercurio en el tubo para abrirse paso al exterior. En este caso Dalton se ha servido de la disposición *fig. 200*. Un tubo encorvado *a b* está cerrado en su estremidad *a*, se introduce en él mercurio y se hace pasar un poco del otro líquido á di ha estremidad: el mercurio debe estar nivelado en ambos brazos como se ve en *a b*, y se marca exactamente el nivel sobre el brazo mas largo, cero por ejemplo. El brazo corto del tubo debe meterse en un manguito ó saco de metal en el que se vierte en líquido caliente: el vapor se forma, deprime al mercurio, y le hace ascender en el brazo largo del tubo una cantidad igual, como se ve en *a' b'* para saber á cuanto asciende la depresion se mide la distancia de cero á la altura de la columna en *b'* y se duplica el número, porque el nivel en el brazo *a'* es entonces inferior á cero *d'*, cantidad igual á la que el mercurio se ha elevado en *b'*. El vapor sostiene á mas de la presion atmosférica la de la columna de mercurio *a'' b''*.

Sea la elevacion del mercurio sobre cero 19 centim., el descenso en el otro brazo será necesariamente otros 19 cent. El vapor sostendra entonces una columna de mercurio de 38 cent. de altura, mas la presion de la atmósfera que equivale á 76 cent.; la fuerza elástica del vapor es pues en la esperiencia precitada igual á 184 centim. de mercurio.

Mr. Gay-Lussac ha determinado la fuerza elástica de los vapores en bajas temperaturas por medio del aparato *fig. 191*, que consiste en un tubo barométrico recorvado *a b* lleno de mercurio de la manera ordinaria, se introduce en él un poco de líquido, se envuelve la parte curva del tubo en una mezcla refrigerante *m* cuya temperatura indica un thermómetro *t*. Todo el líquido viene á condensarse en este punto, y la tension en el tubo es muy pronto la que pertenece á esta baja temperatura. Un tubo barométrico

ordinario puesto al lado permite probar facilmente la depresion producida por el vapor, y por consiguiente la fuerza elástica de este. La esperiencia enunciada establece ademas un resultado importante, reducido á que, cuando diferentes puntos de un mismo espacio no tienen igual temperatura, la fuerza elástica del vapor es por todas partes la misma y la que conviene ó corresponde a la temperatura mas baja.

FUERZA ELÁSTICA DEL VAPOR DE AGUA

ENTRE 0.º Y 100.º

<i>Temp.</i>	<i>Tension</i>	<i>Temp.</i>	<i>Tens.</i>	<i>Temp.</i>	<i>Tens</i>	<i>Temp</i>	<i>Tens</i>
—10	2,631	2	5,748	14	12,087	26	24,452
—9	3,812	3	6,123	15	12,807	27	25,881
—8	3,005	4	6,523	16	13,630	28	27,90
—7	3,210	5	6,747	17	14,468	29	29,045
—6	3,428	6	7,396	18	15,353	30	30,643
—5	3,660	7	7,871	19	16,288	40	52,998
—4	6,907	8	8,375	20	17,314	50	88,742
—3	4,170	9	8,909	21	18,317	60	44,66
—2	4,448	10	9,475	22	19,417	70	229,07
—1	4,745	11	10,074	23	20,577	80	352,08
—0	5,059	12	10,707	24	21,805	90	525,28
—1	5,393	13	11,378	25	23,090	100	760,00

FUERZA ELASTICA DEL VAPOR DE AGUA ENTRE 100° Y 266°.

<i>Elasticidad del vapor to- mando la pre- sion atmosfé- rica por uni- dad.</i>	<i>Columna de mercurio á 0°. que mide la elasticidad.</i>	<i>Temperaturas correspondien- tes, dadas por el thermóme- tro centígrado.</i>	<i>Presion sobre un centímetro cuadrado.</i>
	METROS.	GRADOS.	KIL.
1	0,7600	100	1,033
1 ¹ / ₂	1,1400	112,2	1,549
2	1,5200	121,4	2,066
2 ¹ / ₂	1,9000	128,8	2,582
3	2,2800	135,1	3,099
3 ¹ / ₂	2,66	140,6	3,615
4	3,04	145,4	4,132
4 ¹ / ₂	3,42	149,06	4,648
5	3,80	153,08	5,165
5 ¹ / ₂	4,18	153,8	5,681
6	4,56	160,2	6,198
7	5,32	166,5	7,231
8	6,08	172,1	8,264
9	6,84	177,1	9,297
10	7,60	181,6	10,33
15	11,40	200,48	15,495
20	15,20	214,7	20,660
24	18,24	224,2	24,792
25	19,00	226,3	25,825
30	22,80	236,2	30,990
35	26,60	244,85	36,155
40	30,40	252,55	41,320
45	34,20	259,52	56,485
50	38,00	265,89	51,950

La variacion de la fuerza elástica del vapor para un mismo número de grados del thermómetro es igual en todos los líquidos, contando desde el punto de ebulicion de cada uno de ellos, en el que dicha fuerza es igual para todos.

El alcol hierve á78,4

El éter———á35,6

El agua———á100,0

La fuerza elástica del vapor en el momento de la ebulicion es para todos 76.c; á 10 grados inferiores, es decir á 68,4 para el alcol, á 25,6 para el eter y á 90 para el agua, la fuerza elástica es aun igual: 52,5^c para todos. Dada por consiguiente la fuerza elástica del vapor de agua por la tabla, se puede apoyándose en la ley precedente determinar la misma fuerza de cualquier otro vapor á una temperatura marcada, conociendo al efecto el punto de ebulicion del liquido que le ha suministrado. Se puede aun sacar esta otra consecuencia: que el vapor de los cuerpos poco volátiles posee una tension tan débil á la temperatura ordinaria, que se la puede despreciar. El mercurio, por ejemplo, hierve á 350 grados; á 250 la fuerza elástica de su vapor será igual á la del agua á cero, á saber: 5m. m; á la temperatura ordinaria será infinitamente pequeña.

En lo que acabamos de decir hemos razonado como si el espacio estuviera siempre saturado de vapor, y como si el liquido en esceso pudiera suministrarlo en caso de necesidad. Cuando se forma un vapor sin dejar residuo liquido, este vapor se comporta exactamente como un gas si la temperatura se eleva, ó disminuye la presion. El calor le dilata 0,00375 de su volumen á 0.^o por cada grado de calor, la disminucion de presion le permite dilatarse, y lo hace como los gases siguiendo la ley de Mariotte. (Vease la nota puesta al tratar de la dilatacion de los gases)

Un descenso de temperatura produce la saturacion del espacio, si no estaba primitivamente saturado, y el depósito de cierta porcion de vapor al momento que ha pasado el máximo de tension

Un aumento de presión no puede comprimir al vapor producida que sea la saturación del espacio; porque si el vapor pudiera ser comprimido, su fuerza elástica pasaría el máximo de tensión, lo que ni se verifica ni puede ser.

Se produce tanto vapor en un espacio lleno de gas como en otro vacío, la fuerza elástica del vapor aumenta la del gas, y la cantidad de aquel es proporcional al espacio y á la temperatura. Se acredita esta verdad por medio de un aparato debido á Gay-Lussac, *fig. 192*; la canilla *r* sirve para la introducción del agua, su llave tiene una escotadura como se ve en *e*; cuando la cavidad ó escotadura *c* ocupa la parte superior, se la llena de líquido, y cuando da vuelta la llave, el líquido cae en el tubo sin que pueda entrar con él al mismo tiempo ninguna porción de aire.

Estando bien seco el aparato se le llena de mercurio, después ajustando en lugar de la canilla *r* un tubo lleno de cloruro de calcio y abriendo la llave *r'* se introduce aire seco en el tubo *t*; el mercurio se halla nivelado en los dos brazos *t t'*; se anota exactamente este nivel y el espacio ocupado por el aire en el tubo *t*. Se introduce entonces un líquido cualquiera por la canilla *r*, y se suspende la introducción cuando la nueva porción de líquido introducida no aumenta la tensión interior: hay dos modos de consultar el instrumento:

1.^o Vertiendo mercurio en el tubo estrecho *t'* para conducir el aire de *t* á su primitivo volumen, su fuerza elástica reducida á lo que era en el principio de la experiencia vuelve á ser igual á la de la atmósfera. La fuerza elástica propia del vapor está indicada por la altura de la columna de mercurio sobre el nivel primitivo en el brazo *t'*, y se halla esta fuerza elástica precisamente igual que en el vacío.

2.^o Cuando el vapor está formado, se abre *r'* y se deja correr mercurio hasta que el metal tenga igual nivel en los dos brazos del instrumento; en este momento el espacio ocupado por el aire y

el vapor es mucho mayor, y sus fuerzas elásticas reunidas son iguales á la fuerza elástica del aire exterior. El aire que ocupa un volumen muy grande, ha perdido parte de su tension, pero se le ha añadido la del vapor. Se calcula lo que ha llegado á ser la fuerza elástica del aire por su aumento de volumen, fundándose en la ley de Mariotte. La diferencia entre esta fuerza elástica y la de la atmósfera exterior da la del vapor.

Sea la temperatura $20.^{\circ}$ y la presion. . . 76 cen.

El volumen del aire seco. 50 vol.

———el del vapor de éter. $109,8$ vol.

50 vol. de aire han llegado á ser $109,8$,

su presion calculada es $34^{\circ}, 6$.

La fuerza elástica del vapor de éter es pues $41,4/76^{\circ}$

La misma fuerza del vapor de éter en el vacío y á $+20^{\circ}$ es tambien $41,4$. Pudiera hacerse la esperiencia con cualquier otro gas, y los resultados serian los mismos que con el aire. Puesto que el vapor se forma en igual cantidad en el vacío, en el aire y en todos los gases, debe concluirse de aqui que la afinidad del vapor para los gases nada influye en el fenómeno.

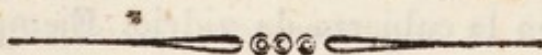
Cuando se quiere medir gases húmedos debe tenerse cuenta de la presion experimentada por el vapor de agua, se la aprecia consultando la tabla, pero ante todas cosas deben dejarse los gases en contacto del agua para que se saturen. Se mide un gas húmedo bajo la presion de 76° y á $+20$, por ejemplo; la presion que sufre el gas es 76° menos la fuerza elástica del vapor de agua á $+20$, á saber $1,73$; la presion á que el gas se halla sometido será pues $=76-1,73=74^{\circ}, 27$.

CALOR LATENTE DE LOS VAPORES.

El vapor de agua abandona cuando pasa al estado de líquido una porcion considerable de calor que no era indicada por el termómetro, este es el calor latente del vapor de agua. Los demas vapores tambien contienen mucho, pero en proporciones diferentes. Para determinar el calor latente del vapor de agua (igual procedimiento seria aplicable á otros vapores) se hace hervir agua en una retorta á la que se ha adaptado un tubo de vidrio recurvado; cubierta la bóveda de la retorta y una porcion del tubo con plumazon ó lana para que no se escape calor, se lleva el líquido á la ebulicion; cuando el vapor sale por el tubo sin condensarse, se sumerge la estremidad de este tubo en un frasco que contenga agua fria á temperatura conocida: el agua debe haber sido pesada, se la pesa nuevamente despues de calentada por el vapor, y se nota con cuidado su última temperatura. Ejemplo: el frasco contenia 300 gramas de agua á 10° ; 5 gramas de vapor se han condensado en ella, y la temperatura ha llegado á $20,5^{\circ}$; 365 gramas de agua á $20,5$ representan 6252,5 unidades de calor; pues el calor empleado en la esperiencia se compone de 300 gramas de agua \times por 10° ó de 3000 unidades de calor y de 5 gramas de vapor á $+ 100^{\circ}$ ó 500 unidades de calor; en todo 3500 unidades. La esperiencia ha dado 2752,5 unidades de calor en esceso procedentes del calor latente de 5 gramas de vapor. Una grama de vapor contiene, pues, 550,5 unidades de calor, ó $5\frac{1}{2}$ veces tanto como seria necesario para elevar igual peso de agua de cero á 100° , aquel numero es aun pequeño y puede llegar hasta 593. El calor latente del vapor de alcol es 255, el de la esencia de trementina 149, el de el vapor de éter 109 (Despretz) La enorme cantidad de calor latente que

el vapor de agua contiene esplica las ventajas de su uso para calentar. En las fábricas y en particular en los obradores de tintoreros con un solo horno y una caldera sola se conduce el vapor en todas direcciones, y va á calentar el agua contenida en cubetas ó cubos de madera. En los laboratorios de farmacia y de química, circulando el vapor por el hueco que dejan entre sí vasijas de fondo doble, sirve para la evaporacion de los líquidos que no deben sufrir un calor muy elevado: en las fábricas de azucar, mantenido á una presion de $1\frac{1}{2}$ á 2 atmósferas, satisface igual objeto: sirve circulando por tubos delgados para calentar el interior de nuestras habitaciones y los invernáculos de las plantas, &c. Su temperatura es siempre suave y uniforme, y no debe temerse como aquellas bocanadas de calor que producen los rayos directos del hogar.

DENSIDAD DE LOS VAPORES.



Los vapores, así como los gases llenan exactamente las cavidades de las vasijas que los contienen; los métodos para determinar su densidad serian tambien los mismos usados para los gases, si la licuefaccion de los primeros no obligase á introducir en ellos algunas modificaciones.

Dos procedimientos diferentes estan en uso para determinar la densidad de los vapores: 1.º Se pesa el líquido, se le vaporiza y se le mide en estado de vapor; 2.º se pesa un volúmen conocido de vapor.

Primer procedimiento. Ha sido empleado por Gay-Lussac por medio del aparato compuesto de una caldera *c*, *fig.* 193, que contiene mercurio, de una campana graduada *g* que se llena exactamente tambien de mercurio y se tiene boca abajo en la caldera; de una cubierta de vidrio *m m* que envuelve á la campana gra-

duada, y en la cual se pone agua. Para pesar exactamente el líquido se le introduce en una ampollita de vidrio cuyo peso se sabe, se cierra en seguida la abertura de la ampolla á la lámpara de esmaltar. Se introduce esta ampolla en la campana y sube á ocupar la superficie del mercurio, despues cuando se calienta el aparato se la rompe, y el liquido que contenia es derramado en la campana sin que pueda perderse la menor porcion. Estando suficientemente caliente el agua de la cubierta de vidrio exterior, se averigua la temperatura por medio de dos thermómetros *tt*, se mide el volúmen que ocupa el vapor. Se determina al mismo tiempo la altura del mercurio en la campana graduada; se usa al efecto de la regla *r*, dispuesta de modo que el extremo inferior toque apenas la superficie del mercurio en la caldera, y que el índice *i* marque precisamente el nivel del metal en la campana graduada. Consultado el barómetro para saber la presión atmosférica, se averigua la altura de la columna de agua en la cubierta de vidrio. Ejemplo: se han introducido en la ampolla dos gramas de líquido, que reducido á vapor en la campana, y hechas las debidas correcciones ha suministrado 1 litro de vapor á cero P, 76. Pues el litro de vapor pesa dos gramas; y como un litro de aire pesa 1,299 gram., resulta que la densidad del vapor observado es á la del aire como 1,54 es á 1 (19.)

Segundo procedimiento. Ha sido empleado por Mr Dumas, es menos exacto que el precedente, pero solo exige el uso de utensilios que se hallan en todos los laboratorios, es mas cómodo tambien cuando se ha de operar a temperaturas muy elevadas.

Se estira un matraz *m* á la lámpara á fin de darle la forma de la *fig. 194*. Se le pesa é introduce en él el liquido sobre el cual ha de ser conducida la esperiencia. A este efecto se calienta un poco el matraz para dilatar el aire que contiene sumergido el extremo del cuello en el liquido, asciende este en él á medida que se produce el enfriamiento, (si se operase sobre materia sólida debiera introducirse en el matraz antes de estirarle á la lámpara). El ma-

traz *m* es entonces sumergido en un baño, cuya temperatura sea de 10 á 15 grados sobre el punto de ebullicion del líquido sometido á la esperiencia. El matraz debe estar completamente sumergido en el baño; poco importa el modo de mantenerle allí. Si se opera sobre un líquido muy volátil, puede sumergirse el matraz en agua, en mercurio cuando la temperatura no haya de pasar de 150.º; el baño de aceite puede servir hasta 300 grados, pero esparrace vapores acres é insectos; una aleacion fusible de plomo, bismuto y estaño es muy cómoda, y puede servir hasta la temperatura que principia á ablandar el vidrio. Sumergido el matraz en el baño líquido caliente, se forma el vapor que sale silvando, y arrastra al aire el exterior; si se condensa alguna porcioncita en el pico del balon, se aproximan carbones candentes para volatilizarlo.

Cuando no salen bocanadas de vapor, lo que tiene lugar al punto que no hay materia en estado líquido, se cierran todas las aberturas del horno. En el momento que es constante la temperatura y se nota la presion del barómetro y el calor del baño, se cierra la estremidad del matraz con el dardo de la llama de una lámpara. La temperatura del baño se mide con un thermómetro de mercurio, á menos que la operacion se verifique á un grado muy elevado de calor, pues en este caso se ha recurrido al thermómetro de aire, como se ve en la figura 194.

Sacado el matraz del baño, enjuto y pesado de nuevo, gírase en seguida su punta bajo el mercurio; este metal entra á reemplazar al vapor condensado: si todo el aire ha sido espulsado del aparato, el mercurio llena enteramente el matraz; y si quedase aire, es preciso tenerlo en cuenta; se conoce su volúmen separando el mercurio que ha entrado de lo necesario para llenar completamente el matraz. La capacidad de este, y por consiguiente el volúmen del vapor quedan averiguados por el volúmen de mercurio que llena el matraz; lo cual conseguido una vez, y sabiendo por la misma razon cual es el volúmen de aire que el matraz contenia cuando

se le ha pesado, se separa el peso de este aire del peso íntegro del matraz, lo que da el peso verdadero de este: separando la tara corregida del valon lleno de vapor, se tiene el peso del vapor; por ejemplo: hecha toda correccion, el balon contenia medio litro de vapor á cero bajo la presion de 76.^o; el peso de este vapor era 1 grama. Un litro de vapor hubiera pues pesado 2 gram.; y como un litro de aire pesa 1,299 gram. resulta que la densidad del vapor observada es 1,54 (20)

DENSIDAD DE ALGUNOS VAPORES.

Arsénico.	10,65
Sublimado corrosivo.	9,8
Bicloruro de estaño.	9,199
Yodo.	8,716
Cloruro de antimonio.	7,8
Calomelano.	6,35
Mercurio.	6,976
Azufre.	6,617
Cinabrio.	5,95
Bromo.	5,54
Alcanfor.	5,488
Esencia de trementina.	4,763
Fósforo.	4,355
Ácido sulfúrico anhidro.	3
Súlfuro de carbono.	2,644
Éter sulfúrico.	2,586
Éter hidroclórico.	2,212
Ácido hiponítrico.	1,72
Alcol.	1,6133
Ácido hidrocianico.	0,9476
Agua.	0,6235

La densidad del vapor (estando saturado el espacio) aumenta con la temperatura; y así debe ser, pues que en un espacio dado la cantidad ponderable de vapor aumenta también con la temperatura. En los límites de la temperatura ordinaria los números que representan la tensión del vapor en milímetros representan casi exactamente el peso del vapor en gramas, contenido en un metro cúbico, de modo que la tabla de tensión de los vapores dice con una exactitud habitualmente suficiente el peso del vapor contenido en un metro cúbico. He aquí algunos ejemplos:

<i>Temp.</i>	<i>Tension en milim.</i>	<i>Peso del vap. en un met. cúb.</i>
0.	5.	5,4 gram
1.	5,4.	5,7
10	9,5.	9,7
16.	13,6.	13,7
20.	17,2.	17,18
30.	30.	29,3

Esta observacion solo es aplicable á temperaturas poco elevadas; la densidad del vapor en las altas temperaturas crece en proporcion mucho mayor. A 400.^o el vapor de agua ocupa solamente un volúmen cuatro veces mayor que el del agua líquida, mas de ciento sesenta veces tan denso como al aire; el rojo debe ser poco diferente de la densidad del agua líquida: á 300.^o el éter se reduce á vapor duplicando su volúmen nada mas; á 260^o ocupa el vapor de alcol tres veces el volúmen que este líquido. (Cagniard Latour.)

DE LA EBULICION, DE LA DESTILACION Y DE LA EVAPORACION.



Un líquido hierve ó entra en ebulicion cuando se manifiesta en él cierto movimiento tumultuoso producido por burbujas gran-

des de vapor que vienen sucesivamente á abrirse paso por la superficie. El verdadero carácter de la ebulicion consiste en la igualdad de la fuerza elástica del vapor y de la atmósfera que pesa sobre el líquido.

Como consecuencia de lo que precede resulta que el punto de ebulicion de un líquido no es constante, y antes bien varía con la presion de la atmósfera que pesa sobre él. En un mismo lugar estas variaciones estarán contenidas en los límites ordinarios de la altura varométrica, y en parajes diferentes los cambios serán mas marcados; al nivel del mar el agua hierve á 100 grados; en París á 99°, 7; en Bareges á 95° 6, en Quito á 90°; sobre el Monte Blanco á 84°. En los aparatos donde se hace el vacío, se abrevia singularmente la ebulicion, y es retardada en las máquinas de vapor de alta presion, como la marmita de Papin, el dijestor ó dijeridor *fig. 195, d* es un vaso grueso de cobre, cuya tapadera está sujeta por medio del tornillo *s*; una válvula de seguridad *s* permite salir al vapor si la presion llega á ser muy fuerte.

La naturaleza de las vasijas tiene una influencia marcada sobre el punto de ebulicion. El agua hierve mas pronto en vasija metálica que en vidrio ó loza, la diferencia en cuanto al vidrio es de mas de un grado. El agua que hierve en vaso de metal lo verifica con movimiento regular; por el contrario en vasos no conductores la ebulicion es interrumpida, el vapor se desprende por bocanadas que conmueven el líquido y el vaso, y producen sobresaltos. Se atribuye este fenómeno á la adherencia que el líquido contrae con la superficie pulimentada del vidrio; el vaso y la capa de líquido adherida esceden algunos grados al término ordinario de la ebulicion, hasta que este estado sea interrumpido por su propio exceso; en este momento se produce una bocanada de vapor, el líquido es arrojado ó separado, y el vaso mismo experimenta cierta conmocion.

Basta poner en el líquido algunas partículas de metal, plati-

no, zinc ó hierro para hacer la ebulicion tranquila y evitar sobresaltos.

En un líquido que hierve no tienen todas las capas igual temperatura: en las inferiores que soportan á mas del peso de la atmósfera el de las superiores, el vapor para hacerles equilibrio á esta presion debe tener una tension mas fuerte y por consiguiente una temperatura mas elevada; esta es la razon porque se opera en una capa poco profunda cuando se quiere graduar exactamente un thermómetro.

Todos los líquidos no entran en ebulicion á la misma temperatura. El punto de la ebulicion de algunos bajo la presion de 76^c es el siguiente.

Ácido sulfuroso.	10
Éter sulfúrico.	+35,5
Alcol puro.	78,41
Agua pura.	100
Esencia de trementina.	155
Yodo.	175
Azulfre.	300
Ácido sulfúrico d. 1,85.	310

Cuando el líquido tiene en edisolucion una materia con la que tiene afinidad, la ebulicion se halla retardada tanto mas cuanto que el cuerpo disuelto ejerza sobre el líquido una accion química mas enérgica y su proporcion sea mas considerable. Puede servir aun con ventaja esta observacion para probar el grado de afinidad de un sólido con un líquido: Viendo, por ejemplo, que el sublimado corrosivo no hace cambiar el punto de ebulicion al agua, que la sal marina le retarda algunos grados, y una solucion saturada de cloruro de cálcio no hierve hasta 179,5 grados, se concluirá que la afinidad del cloruro de cálcio con el agua es muy grande, mediana la de la sal marina, y muy débil la del sublimado.

Segun Mr. Legrand, el punto de ebulicion de algunas disoluciones salinas saturadas es

De sulfato de sosa.	100,7
Acetato de plomo.	102
Clorato de potasa.	104,2
Carbonato de sosa.	104,6
Cloruro de potasio.	108,3
———de sodio.	108,4
Hidrociorato de amoniac.	114,2
Tartrato neutro de potasa.	114,67
Nitrato de potasa.	115,9
———de sosa.	121
Carbonato de potasa.	135
Nitrato de cal.	151
Cloruro de calcio.	179,5
Nitrato de amoniac.	180.

Es notable que el vapor formado á estas temperaturas superiores á 100 solo tiene la tension ordinaria de la atmósfera, 76. Es preciso entonces que tenga muy poca densidad.

La *destilacion* es una operacion por medio de la cual uno ó muchos líquidos volátiles sometidos á la ebulicion en un aparato conveniente forman vapores que se condensan por el enfriamiento en una parte del aparato. Como hay comunicacion con el aire exterior, la ebulicion se verifica en las circunstancias ordinarias. El vapor desaloja al aire, llena el espacio, llega á las partes frias del aparato, en donde se condensa, y es sucesivamente reemplazado por nuevo vapor que se condensa á su turno. Si dos líquidos diferentes son calentados al mismo tiempo en un aparato destilatorio, la ebulicion comienza cuando la temperatura ha llegado al punto ordinario en que hierve el mas volátil; desde este momento se desprende una mezcla de los dos vapores, suministrando cada líquido cierta cantidad en relacion con su tension para esta temperatura

Una mezcla de agua y esencia de trementina hervirá á $100.^{\circ}$; el vapor de agua tendrá desde este momento una fuerza elástica igual á la de la atmósfera, y se formará libremente; la esencia estará á $56.^{\circ}$ bajo su punto de ebulicion; la fuerza elástica de su vapor será solamente 0,068m, el vapor de agua se saturará de este vapor, y se condensarán juntos los dos. Si se disuelve en el agua una sal que retarde su punto de ebulicion, la esencia pasa al recipiente en mayor proporcion. Con agua saturada de sal marina no tiene lugar la ebulicion hasta $108.^{\circ}$; la fuerza elástica del vapor de esencia es entonces de 10c y el vapor de agua con una presion de 0,76c, y la temperatura de $108.^{\circ}$ tiene una densidad débil; la proporcion de esencia se halla por eso singularmente aumentada en el liquido que se condensa.

La afinidad química que tendrían los líquidos uno con otro modificaria los resultados en este sentido, que las proporciones relativas de cada uno de ellos condensados variarian en cada instante de la operacion; por ejemplo, una mezcla de agua y alcohol produce vapores mas alcólicos al principiar la destilacion, los que van siendo cada vez menos espirituosos segun avanza la operacion; cuando se destila ácido acético y agua los primeros vapores son mas acuosos, la acidez aumenta poco á poco.

El aparato destilatorio que mas se usa en los laboratorios es el alambique, *fig. 196*. Se compone de tres piezas: la primera es una caldera de cobre estañada *c* cilíndrica, que tiene hácia su parte superior un relieve que descansa sobre el horno; se llama cucúrbita. La segunda pieza es el capitel *c'*, que debe entrar ajustado en la precedente, es de estaño, formado por una especie de cúpula ó bóveda algo aplanada: en uno de sus lados se halla soldado un largo conducto, de estaño tambien, ligeramente inclinado hácia la cucúrbita. A este tubo se adapta una tercera pieza *s*, es el refrigerante, al que su forma ha hecho dar el nombre de serpiente.

Se ha dado al serpiente la forma espiral á fin de reducir la

longitud del tubo á mas pequeño espacio y facilitar mas cómodamente la condensacion de los vapores. Estos volviendo á su estado líquido abandonan todo el calor que habian hecho latente gasificándose, y calientan las partículas de agua que se hallan en inmediato contacto con el tubo conductor: las partículas calentadas, llegando á ser mas ligeras por su dilatacion, suben á la superficie, y son reemplazadas por nuevo líquido que se calienta á su vez, de modo que el agua está caliente en la parte superior del cubo, al paso que está enteramente fria un poco mas abajo; pero necesariamente se calentaria toda al cabo de un tiempo mas ó menos largo si no hubiera cuidado de renovarla. A este efecto un tubo *t* terminado superiormente en forma de embudo se eleva un poco sobre las paredes del cubo, y el otro extremo se sumerge hasta cerca de su fondo. Por medio de dicho tubo se hace llegar continuamente al fondo del cubo una corriente de agua fria, y la plenitud que produce es evacuada con el agua caliente por medio de un pequeño conducto practicado al nivel primitivo del líquido, á una pulgada poco mas ó menos del extremo superior del cubo. (Suelen acompañar tambien al alambique otras piezas como el baño de maria, recipiente &c., de que el autor no hace aqui mencion.)

Para las operaciones químicas se hacen muchas veces las destilaciones en retorta, *fig.* 197.

La retorta *a* es una vasija de vidrio, de tierra, de porcelana ó de metal y forma ovoidea, en cuyo extremo mas estrecho y hácia su parte lateral se halla un tubo desde luego ancho, pero que poco á poco va siendo mas angosto hasta su estremidad, y forma un ángulo mas ó menos obtuso con el cuerpo de la vasija. Se distinguen en la retorta la panza, la bóveda y el cuello.

La panza corresponde á la cucúrbita, y en ella se colocan las materias que se han de destilar, la bóveda y el cuello llenan las funciones del capitel del alambique.

El aparato para la destilacion de los líquidos en retorta se

compone de una alargadera *b* y de un balon recipiente tubulado *c* provisto de un tubo largo. Este tiene la doble ventaja de facilitar la condensacion de los vapores, y de conducir á bastante altura en la chimenea los gases incohercibles, de olor desagradable á veces y efecto deletereo.

En la destilacion de retorta la condensacion de los vapores comienza en el cuello de la misma retorta, continúa en la alargadera y termina en el recipiente; este debe ser regado constantemente por un filete de agua fria, y se le envuelve en una tela para que el agua se esparza con mas uniformidad; se puede aun tener el recipiente sumergido en un lebrillo ó cubeta en donde se le fija fuertemente con cuerdas, se vierte agua fria en esta vasija, y se la renueva continuamente por un filete que llegue hasta el fondo como para el serpentín. Para algunos líquidos muy volátiles se rodea el recipiente de hielo y sal comun. (La retorta se pone directamente sobre el fuego ó en baño de arena, suele tener á veces un tubo en la bóveda y se dice que es tubulada &c.)

La *evaporacion* consiste en la desaparicion de un líquido á consecuencia de su trasformacion sucesiva en vapor; puede verificarse en el vacío ó en los gases, y siempre es mucho mas pronta en el vacío. La prontitud de la evaporacion depende de algunas circunstancias que es importante conocer: 1.^a En un espacio saturado de vapores no puede efectuarse la evaporacion; esto precisamente acontece en el aire con respecto al agua cuando despues de muchos dias de lluvia está saturada de humedad. 2.^a En un espacio no saturado, pero limitado, pronto tiene lugar la saturacion, y desde este momento cesa toda evaporacion. 3.^a En un espacio ilimitado (la atmósfera terrestre puede ser considerada como tal) no tiene otro limite la evaporacion que la completa vaporizacion del líquido. 4.^a La evaporacion es mas pronta al paso que la fuerza elástica del vapor es mayor; de donde resulta que para un mismo líquido la evaporacion marcha mas aprisa á medida que la temperatura es

mas elevada, y que para diferentes líquidos, siendo igual la temperatura, el mas volátil se evapora con mas prontitud. 5.^a La agitacion del aire y la del líquido favorecen la evaporacion; en un reposo absoluto no se verificaria, es mas pronta á medida que el aire se renueva mas aprisa, y esto consiste en que el vapor se coloca mas facilmente entre las partículas de aire cuando está este mas lejano del punto de saturacion. 6.^a La estension de la superficie acelera la evaporacion, porque el vapor se forma sobre un gran número de puntos á la vez.

La evaporacion de los líquidos se efectua por procedimientos diferentes:

1.^o *Evaporacion espontanea.* Es la que se verifica al aire libre y á la temperatura ordinaria; la estension de la superficie líquida, la presencia de un aire caliente y seco, la agitacion del aire ó del líquido apresuran singularmente la operacion. En los laboratorios de química la evaporacion espontanea se verifica en vasijas llamadas capsulas, cubiertas de papel para evitar que caiga polvo en el líquido; en los saladares ó lagunas de sal del mediodia el agua salada es conducida por capas delgadas á reservorios arcillosos (eras) y que presentan gran superficie; en los paises frios se evaporan las aguas saladas en ciertos bastimentos de graduacion, estos son sotechados abiertos; en los que el agua es elevada y cae sobre cierta especie de ramilletes ó haces donde se divide al infinito presentando una gran superficie de evaporacion.

2.^o *Evaporacion por el aire caliente.* Se practica en cámaras cerradas que toman el nombre de estufas, el aire se introduce en ellas caliente y sale saturado de humedad. La construccion mas favorable es aquella en que el aire caliente llegando por la parte inferior sale á la otra estremidad de la estufa, por una abertura situada hácia el nivel del suelo. El aire caliente en razon de su ligereza asciende á las partes altas y no puede salir hasta haberse cargado descendiendo del vapor acuoso.

3.^o *Evaporacion al calor.* Se hace á fuego desnudo ó al calor del baño de maria; es tanto mas pronta cuanto mas elevada es la temperatura, el liquido agitado con mas cuidado, y presentando mayor superficie. Sinembargo, si llega á la ebulicion no debe invés- tigrarse precisamente la estension de la superficie del liquido, sino la superficie calentada, es decir, que es preciso calentar por gran número de puntos el vaso que contiene el liquido; la cantidad de vapores es igual ya sea ancho ó estrecho el paso que se les permita.

4.^o *Evaporacion en el vacío.* En los laboratorios la evaporacion en el vacío se efectua bajo el recipiente de la máquina neumática. Se coloca en una vasija de ancha superficie el liquido que se quiere evaporar, y á su lado en otra vasija se pone un cuerpo capaz de absorber los vapores á medida que se forman; para los vapores acuosos se usa ácido sulfúrico, cal, cloruro de calcio. Se emplea el vacío en las artes para la evaporacion del azucar, pero se opera en un vacío imperfecto. La caldera que contiene el jarave comunica con un grande recipiente, se hace pasar á este el vapor que desaloja casi completamente el aire atmosférico de la caldera y del recipiente; se cierran entonces todas las aberturas y se calienta el jarave; á medida que se forma el vapor es condensado por un chorro de agua fria que cae sobre el recipiente. La presion interior es de unos 0,25^c, y la ebulicion se verifica hácia los 70^c.

Se produce frio cuando se evaporan los líquidos como consecuencia de la gran cantidad de calor que hace latente el vapor, y el frio producido se utiliza para refrescar los mismos líquidos; así una botella envuelta en un trapo mojado y espuesta á una corriente de aire se refresca prontamente; el agua en medio de los calores del estío descende á 10.^o y enfria la boca. Entre nosotros, particularmente en Madrid, se usan á este fin vasijas ó botijos porosos, que colgados en parajes por donde corre el viento y evaporada así la exudacion acuosa de su superficie producen el efecto deseado; el mismo destino tienen las alcarrazas. La evaporacion

abundante producida en la superficie de las hojas mantiene el interior de los vegetales a una temperatura moderada; en los animales, produce igual efecto la transpiracion pulmonar y la cutanea, siendo tanto mayores cuanto mas caliente es el aire, y asi el calor del cuerpo se mantiene al mismo grado; la temperatura media del cuerpo humano tanto en los climas frios como en los calientes es de 37.º

DE LAS MAQUINAS DE VAPOR.

Si es justo considerar al fisico frances Papin como el verdadero inventor de las máquinas de vapor, (segun Bendant en una obra de Salomon de Caus, impresa en 1615, y en otra impresa en Roma en 1629 ya se habla del vapor como fuerza motriz) no lo es menos decir que las primeras son debidas á la Inglaterra, en donde han tenido una aplicacion continuada y han hecho verdaderos servicios.

La máquina de Savery, perfeccionada por Nevvcommen y Cauvlay utiliza la fuerza elástica del vapor, pero este no es el verdadero motor, sino el aire atmosférico. Un piston sólido *p*, vease la *fig. 198*, se mueve en un cuerpo de bomba abierto por arriba, y que comunica por la parte baja *o* con una caldera de vapor, pudiendo ser interrumpida la comunicacion en las necesidades. Un reservatorio suministra agua fria que se inyecta si es menester en la parte inferior del cuerpo de bomba.

Establecida la comunicacion entre la caldera que contiene agua hirviendo y el cuerpo de bomba, el vapor de agua comprime inferiormente al piston con una fuerza igual á 76.^c de mercurio, mientras que el aire atmosférico lo comprime por la parte superior hácia abajo con otra fuerza enteramente igual. En este momento se pone en movimiento de abajo arriba el piston arrastrado

por un pequeño exceso en la fuerza elástica del vapor, ó por una especie de contrapeso que vence la resistencia producida por el rozamiento del piston contra las paredes del cuerpo de bomba. Si llegado el piston al extremo superior de su carrera se le cierra la comunicacion con la caldera, y se vierte agua fria en el cuerpo de bomba el vapor de agua se condensa, la presion hácia arriba ejercida por bajo del piston es destruida, el aire atmosférico pesa con toda su gravedad sobre el piston, le obliga á descender, y le permite llevar consigo una masa considerable. De la accion alternativa del vapor para contrabalancear el peso del aire y de la destruccion de la fuerza elástica de aquel vapor para que ejerza el aire todo su efecto resulta el movimiento sucesivo y continuo del piston de abajo arriba y de arriba abajo, que constituye todo el juego de la máquina. Se usa la máquina de Nevvcommen para sacar el agua de las minas. En el momento en que el piston *p* asciende, el de la bomba aspirante *p'* descende por su propio peso, vuelve á suvir á su turno arrastrando el agua consigo, cuando la atmósfera pesando con toda su enerjía sobre el piston de la máquina la fuerza á ganar de nuevo la parte inferior del cuerpo de bomba. Se ve que en esta máquina solo hay verdaderamente potencia cuando vuelve á descender el piston; bajo este aspecto seria impropia para la fabricacion que necesitase un movimiento continuo.

Watt ha introducido tan grandes mejoras en la construccion de las máquinas de vapor, que la parte de gloria que le es debida iguala y aun escede tal vez á la perteneciente al verdadero inventor: encargado aquel de reparar una máquina de Nevvcommen, reconoció sus inconvenientes y los corrigió consiguiendo un cambio radical en todo el sistema: evitó con tal arte los defectos y acumuló tanta perfeccion, que la máquina de vapor llegó á ser en sus manos una de las mas bellas creaciones que el genio del hombre ha sabido producir.

En la máquina de Watt la accion del aire está completamente

suprimida, el cuerpo de bomba cerrado por todas partes, y llegando á él el vapor ya por arriba ya por abajo comprime alternativamente al piston por una y otra parte, y le da movimiento así para subir como para bajar. Al contrario de la atmosférica, la máquina de Watt es de doble efecto, obra igualmente en las dos direcciones que toma alternativamente el piston.

El agua fria hechada en el cuerpo de bomba tenia el inconveniente de enfriarle; habia en esto la pérdida del tiempo necesario para volverle á calentar y la pérdida de los efectos del vapor empleado en calentarle. Watt estableció la comunicacion del cuerpo de bomba con un vaso separado, en el que hizo una inyeccion de agua fria; la condensacion se hizo tan pronto y tan bien y el cuerpo de bomba no volvió á enfriarse. Para evitar aun el enfriamiento debido al contacto del aire Watt envolvió el cuerpo de bomba en un segundo cilindro siempre lleno de vapor, al que se designa bajo el nombre de camisa.

En el momento en que el piston ha terminado su curso, y que por consiguiente el cuerpo de bomba está lleno de vapor, se establece una comunicacion entre este cuerpo de bomba y el condensador, y es destruido el vapor; en el mismo momento toca nuevo vapor al lado opuesto del piston que obedece á su esfuerzo y se pone en movimiento sin experimentar obstáculo, pues que la condensacion del vapor en el otro lado ha destruido toda presion. Watt establecia é interrumpia estas comunicaciones por medio de llaves; despues Murray de Leeds inventó una disposicion de aparato que, bajo el nombre de tirador ó resbalador, es adoptado al presente por todas las máquinas con ligeras modificaciones en su forma. La pieza *g*, *fig. 199*, se pone en movimiento por la misma máquina, resbala en una caja á la que llega el vapor por el tubo *t*, *t'* establece una comunicacion entre la caja y la parte superior del cuerpo de bomba, *t''* con la parte inferior, *c* comunica con el condensador. Cuando la pieza resbaladora *g* está colocada como en la figura, la parte

inferior del cuerpo de bomba está en comunicacion con la caldera como lo indican las flechas, y la parte superior comunica con el condensador; cuando desciende la pieza *g* abajo de la caja sucede lo contrario.

En las maquinas de Watt el vapor deja de llegar al cuerpo de bomba desde que este está lleno hasta sus dos terceras partes. El piston continua moviéndose en razon de la velocidad adquirida y por la elasticidad que queda al vapor; esta elasticidad se debilita mas y mas á medida que el espacio aumenta y el vapor puede dilatarse. El rozamiento del piston contra las paredes gasta poco á poco el resto de la fuerza elástica de aquel vapor y la velocidad adquirida del mismo piston, de modo que este ha perdido todo movimiento cuando llega al extremo de su carrera. Watt ha evitado así los sacudimientos que hubieran resultado del choque del piston, y ha economizado al mismo tiempo un tercio del vapor.

La máquina marcha ya mas veloz ya mas lentamente segun la actividad de la ebulicion: con el regulador de fuerza centrífuga la ha dado Watt el medio de regularizarse á sí misma. Sobre un eje vertical *j*, *fig. 201 R* que la máquina hace girar mas ó menos rapidamente, segun marcha mas ó menos aprisa, se halla implantado un gozne al cual están libremente suspendidas dos varitas ó reglas metálicas *l l*; cada una de ellas lleva en su parte inferior una gruesa bola *b b*; dos palancas anejas á las varitas vienen á adaptarse á un anillo *c* que envuelve el eje vertical. Cuando la máquina marcha de prisa, el eje vertical gira igualmente de prisa; entonces la fuerza centrífuga separa las bolas y sube el anillo; si el movimiento se retarda las bolas se aproximan y el anillo baja, pues este anillo hace mover una llave colocada en el conducto que lleva el vapor de la caldera al cuerpo de bomba. Si la máquina va aceleradamente, ascendiendo el anillo cierra la llave y se aminora la llegada del vapor; si el movimiento es mas débil, el anillo baja, se abre la llave y el vapor va á compeler mas prontamente al piston.

En la máquina de VVatt el movimiento del piston es comu-

nicado á una palanca *L L* *fig. 201*, que por el otro extremo obra sobre el manubrio *m*: de este modo el movimiento de arriba á bajo y de abajo á arriba se transforma en un movimiento de rotacion. Para mantener el piston siempre vertical ha inventado *VVatt* el paralelógramo articulado *a a' a'' a'''*, cuyas piezas son todas movibles por sus puntos de union; los dos ángulos superiores estan fijos al balancin de la maquina; la vara del piston está fija al ángulo inferior *a*; en el ángulo *a'''* hay libremente unida una vara rígida *v* de la cual puede girar la otra estremidad sobre un centro fijo *i*. Resulta de esta disposicion que en sus movimientos el piston y el ángulo *a* que está unido no dejan sensiblemente la vertical, pero el paralelógramo toma toda suerte de formas sin dejar de ser nunca paralelógramo.

La *fig. 201* manifiesta todas las piezas que componen la máquina de *VVatt*, reducida á su mayor sencillez para la mas fácil comprension. *P* es el cuerpo de bomba, *v v* los conductos del vapor, *C* el condensador, *g* el tirador, *F* una bomba aspirante y elevadora que saca al condensador el residuo de agua y aire, y vierte agua caliente por el conducto *e* en el reservatorio *B*. *F'* es una bomba que despidе agua caliente á la caldera; *F''* es otra bomba que recoge agua fria en un reservatorio y lo conduce por medio de un caño al condensador. *R* es el regulador de fuerza centrifuga, *f* la llave que abre ó cierra el conducto del vapor hácia el tirador, espuesta en movimiento por el regulador, *a a' a'' a'''* forman el paralelógramo articulado. *L* es la palanca que transmite el movimiento, y cuyo eje de suspension está en *A*, *m* es el manubrio que recibe el movimiento de alto á bajo y lo transforma en el de rotacion. *V V* es el volante que regulariza el movimiento de la máquina.

La máquina de vapor de alta presion ha sido establecida en 1802 por *Trevitich* y *Vivian*, difiere de la de baja presion de *VVatt* en la ausencia del condensador. El vapor en la caldera llega á una fuerza elástica de 6 á 7 atmósferas; y cuando el piston ha termi-

nado su curso se abre una válvula que deja escapar aquel vapor al exterior. En este momento el piston es comprimido en sentido inverso por el vapor que sale de la caldera, y en razon del esceso de presion es obligado á moverse: ya condensado el vapor el esceso de presion determina otra vez el movimiento. La máquina de alta presion tiene la ventaja de gastar mucha menos agua que las otras: ventaja incontestable para las locomotoras de los caminos de hierro. Realiza tambien una economia en el combustible, porque el calor necesario para dar al vapor de agua una fuerza elástica de muchas atmósferas apenas es diferente del que contendria el mismo vapor á la presion de 0,76^e

En la máquina de VVoulf, llamada tambien de Edvards se hallan reunidos los dos sistemas de VVatt y de Trevitich. El vapor obra desde luego en un pequeño cilindro y bajo de una fuerte presion; despues en vez de perderse en el aire libre llega á un cuerpo de bomba mucho mayor que el primero ocupado igualmente por un piston. Esta parte del aparato es enteramente igual al cuerpo de bomba de la máquina de VVatt, comunica con un conductor. El vapor que ha producido su efecto en el primer cuerpo de bomba se estiende en el gran cilindro comprimiendo al piston, y pierde una cantidad correspondiente de su fuerza elástica; el piston del primer cuerpo de bomba solicitado al mismo tiempo por la presion superior de la caldera se pone al punto en movimiento. Las calderas de las máquinas de vapor, *fig. 202*, son de fundicion, y muchas veces de hierro. Se les da una forma que les haga presentar mucha superficie al hogar; muchas veces para aumentar esta superficie se colocan bajo la caldera y comunicando con ella tubos calentadores *b b* que se sumergen tambien en el hogar. La cantidad de vapor suministrado es siempre proporcional á la superficie del horno.

A medida que el agua se evapora, la caldera es alimentada por una bomba impelente que envia mas; un aparato llamado flotador *f* indica á cada instante el nivel del líquido, y mas comun-

mente sirve para guiar la llegada del agua á medida que baja el nivel.

Se compone de una piedra *f* sostenida en parte por el contrapeso *p*: cuando el agua baja en la caldera, el flotador desciende tambien; al mismo tiempo desciende la cerradura de la llave ó canilla *b*, y como está escotada en su parte superior, llega el agua á la caldera por el conducto *t*.

Las calderas de las máquinas de vapor deben ensayarse inyectando en ellas agua por medio de una bomba; han de resistir á cinco atmósferas mas que la presión á que haya de trabajar, si son de metal fundido, y á tres atmósferas mas si el metal es laminado. Este ensayo no es una garantía perfecta contra la rotura, porque el metal caliente tiene menos tenacidad que ensayado en frío, porque las calderas se gastan con el tiempo, y en fin porque pueden no resistir á la presión brusca que resultaría de la formación instantánea del vapor aunque resistan fácilmente la acción de una presión graduada.

La abertura *o*, *fig. 202*, sirve para limpiar la caldera cuando haya necesidad. Para evitar los accidentes que pudieran resultar de una acumulación muy fuerte de vapor se usa la válvula de seguridad *s*. Una abertura practicada en la caldera se halla cerrada por una placa metálica que se carga de peso por medio de una palanca de segundo género. La resistencia está calculada de modo que la válvula se levanta antes que la presión interior haya llegado al límite de la resistencia de la caldera. No siempre han preservado de explosiones las válvulas de seguridad, porque muchas veces los operarios han sobrecargado el fuego, y estas adhieren fácilmente á la caldera si no ha habido cuidado de hacerlas jugar de tiempo en tiempo, y porque no pueden ser suficientes para el desprendimiento de todo el vapor si llega á producirse repentinamente en mucha abundancia.

Las placas fusibles *i* tienen igual objeto que las válvulas de seguridad; cierran una abertura de la caldera, y se funden á una

temperatura poco superior á la que toma el vapor en el trabajo ordinario: estan hechas con una aleacion de plomo, bismuto y estaño. Se ponen ordinariamente dos, una que se funde á 10° sobre la temperatura ordinaria del trabajo, y la otra á 20° ; y para que no se ablanden y se despedacen antes de fundirse, se las tiene encerradas en un enrejado metálico.

Los manómetros *m* que se ponen sobre las calderas de vapor hacen conocer la presion interior, y pueden advertir tambien el peligro. En las máquinas de baja presion el manómetro está abierto y hace oficio de válvula, pues si la presion llega á ser muy fuerte el vapor arroja el mercurio y sale libremente. Se adapta muchas veces á las calderas de vapor una válvula que se abre de afuera á dentro, es la válvula de aire. Si la presion interior llega á disminuir, esta válvula se abre, el aire penetra en la caldera y restablece la igualdad de presion; sin esta precaucion, en caso de un enfriamiento repentino, la presion exterior del aire vendria á reemplazar el vacío bruscamente, y la caldera recibiria un choque violento. La falta de agua en las calderas es una de las causas mas frecuentes de explosion, y es muy notable que esto acontece precisamente en las circunstancias que debian ofrecer mas seguridad, cuando pocos instantes antes no acusaba el manómetro una presion muy fuerte, y la válvula de seguridad acababa de levantarse. No guarneciendo el agua suficientemente á la caldera, las paredes superiores de esta han podido ser calentadas hasta el rojo; en este momento la presion del vapor no es muy grande, porque á pesar de su alta temperatura, su tension no puede ser mas fuerte que la del agua en ebulicion en la caldera; si entonces se levanta la válvula, desembarazada repentinamente el agua de una parte de la presion que pesaba sobre ella, se lanza hirviendo, llega á tocar las paredes de la caldera enrojecidas al fuego, y se mezcla con el vapor incandescente; resulta de esto una produccion enorme é instantánea de vapor, para la cual son enteramente impotentes las precauciones ordinarias. La caldera sal-

ta en el aire, porque su parte interior no permite la presion á consecuencia de la rotura, entonces la presion superior obra sola, y la caldera es arrojada.

Los medios de prevenir estos accidentes se reducen á tener siempre cantidad suficiente de agua en la caldera.

A veces las esplosiones tienen lugar en el hogar mismo, si el gas inflamable se acumula en él, cuando cerrado el registro, el fuego no ha sido apagado; el gas se mezcla con el aire y bien pronto puede serlo en proporcion suficiente para que haya detonacion: se evitan estos accidentes cerrando incompletamente el registro de la chimenea, y dejando en la construccion los menos codos ó ángulos posibles.

Se espresa el trabajo de las máquinas de vapor comparándolo con la fuerza de los caballos; pero los observadores no están de acuerdo sobre la medida de esta fuerza. Mr. Navier ha admitido como unidad el trabajo producido por un caballo que marcha al paso trabajando ocho horas por dia, que elevaria cuarenta kilogramas y media de agua á un metro por segundo.

DE LA HIGROMETRÍA

El aire atmosférico contiene siempre vapor de agua, lo que se puede demostrar sencillamente teniendo al aire un vaso muy frio, pues el agua se condensa bien pronto sobre sus paredes. Los cuerpos que se hallan espuestos á la accion del aire ejercen á veces alguna influencia sobre la humedad que contiene; hay pocos cuerpos aun entre las sustancias minerales que no se cubran de una ligera capa de humedad cuando permanecen espuestos al aire. Algunos absorven esta humedad con extraordinaria avidez; tal es la cal que pasa muy pronto al estado de hidrato. Cuerpos hay muy solubles que se disuelven en el agua que han absorbido, y se les llama deliquescentes; otros por el contrario ceden al aire cierta porcion

de su agua de cristalización y pierden su transparencia, se llaman eflorescentes. Los tegidos orgánicos son generalmente notables por su acción sobre la humedad atmosférica; la absorben ó la restituyen segun que el aire es húmedo ó seco; ya los estira esta humedad, ya los contrae. En razon de tal propiedad higrométrica sirven las materias orgánicas por lo comun para construir los instrumentos destinados á hacer conocer el estado hidrométrico del aire: estos instrumentos llevan el nombre de higróscopos cuando indican la sequedad ó la humedad, y se les llama higrometros cuando las miden.

Se fabrican algunas veces los higróscopos con porciones de membrana que se fijan por una estremidad y llevan á la otra cualquier cuerpo que avanza ó retrocede segun se dilata ó comprime la membrana; así es un capuchino de carton, cuya capucha cubre la cabeza en tiempo de lluvia y vuelve á caer á la espalda en tiempos secos; y un hombre á la puerta de su casa que sale fuera cuando el tiempo esta sereno y entra cuando amenaza lluvia, objetos bastante comunes.

Los higrometros exigen el empleo de materias que conserven su resorte por el paso sucesivo de lo seco á lo húmedo. Las membranas animales no satisfacen á esta condicion, pero sí las barbas de ballena, y mas particularmente los cabellos: estos sirven para la construccion del higrometro de Saussure, el mejor y de mas uso entre los conocidos. Los cabellos han de proceder de cabeza sana, se los envuelve en una tela fina, y se los hace hervir en agua que contenga una centésima de carbonato de sosa para separarles cierta materia grasa que se halla en su superficie. Se toma uno de estos cabellos, *a b c*, *fig. 207*, se le fija por una de sus estremidades, y de la otra se suspende el peso *c* muy suficiente para tenerle estendido y no estropearle. Se rolla este cabello al rededor de una polea *p* bastante pequeña, para que la prolongacion resultante del paso de la extrema sequedad á la extrema humedad le obligue á dar

una revolucion completa, la polea tiene una aguja que gira sobre un cuadrante. Para graduar el higrómetro se le tiene por una ó dos horas bajo de una campana colocada sobre agua; se señalan 100° en el punto que se detenga la aguja, y este marcará la humedad estremada. Se conduce luego el instrumento bajo de otra campana en la que se haya puesto cal ó potasa cáustica, y despues de algunas horas la aguja indica la sequedad absoluta; en este punto se marca 0.°

Aunque el aire á diferentes temperaturas contiene cantidades de vapor muy diferentes, el higrómetro da para cada una de estas temperaturas indicaciones comparables; señala igualmente 100.° en el aire caliente ó frio con tal que esté igualmente saturado de humedad. La indicacion del instrumento es aun la misma é independiente de la temperatura, con el aire que contiene la cuarta parte, la mitad del vapor necesario para la saturacion. El instrumento indica, pues, no la cantidad de vapor absoluto, sino su cantidad relativa. Si se esceptua el cero para la sequedad absoluta, y el 100.° para la mayor humedad, los demas grados del higrómetro no estan en relacion con la proporcion de humedad que el aire contiene. Mr. Gay-Lussac ha determinado en cuanto á los grados intermedios las relaciones del higrómetro con la cantidad real de vapor de agua. Se entiende aqui por grado de humedad la relacion de la cantidad de agua con la que existiria en el aire si este estuviera saturado.

TABLA DE LOS GRADOS DE HUMEDAD.

Grado del higrómetro.	Grado de humedad.	G. del higr.	Grado de humedad.	G. del higr.	Grado de humedad.	G. de humed.	Grado del higrómetro.	G. de humed.	Grado del higrómetro.	G. de humed.	Grado del higrómetro.
0	0,00	34	17,10	68	44,89	0	0,00	34	57,42	68	84,06
1	0,45	35	17,68	69	46,04	1	2,19	35	58,58	69	84,64
2	0,90	36	18,30	70	47,19	2	4,37	36	59,61	70	85,22
3	0,35	37	18,92	71	48,51	3	6,56	37	60,64	71	85,77
4	1,80	38	19,54	72	49,82	4	8,75	38	61,66	72	86,31
5	2,25	39	20,16	73	51,14	5	10,94	39	62,69	73	86,86
6	2,71	40	20,78	74	52,45	6	12,93	40	63,72	74	87,41
7	3,18	41	21,45	75	53,76	7	14,92	41	64,63	75	87,95
8	3,64	42	22,12	76	55,25	8	16,92	42	65,53	76	88,47
9	4,10	43	22,79	77	56,74	9	18,91	43	66,42	77	88,99
10	4,57	44	23,46	78	58,24	10	20,91	44	67,34	78	89,51
11	5,05	45	24,13	79	59,63	11	22,81	45	68,24	79	90,03
12	5,52	46	24,86	80	61,22	12	24,71	46	69,03	80	90,51
13	6,00	47	25,59	81	62,89	13	26,61	47	69,83	81	91,05
14	6,48	48	26,32	82	64,57	14	28,51	48	70,62	82	91,55
15	9,96	49	27,06	83	66,24	15	30,41	49	71,42	83	92,05
16	7,46	50	27,79	84	67,92	16	32,08	50	72,94	84	92,54
17	7,95	51	28,58	85	69,59	17	33,76	51	72,21	85	93,04
18	8,45	52	29,38	86	71,49	18	35,43	52	73,68	86	93,52
19	8,95	53	30,17	87	73,39	19	37,11	53	74,41	87	94,00
20	9,45	54	30,97	88	75,29	20	38,78	54	75,14	88	94,48
21	9,97	55	31,76	89	77,19	21	40,27	55	75,87	89	94,95
22	10,49	56	32,66	90	79,09	22	41,76	56	76,54	90	95,43
23	11,01	57	33,57	91	81,09	23	43,26	57	77,21	91	95,90
24	11,53	58	34,47	92	83,08	24	44,75	58	77,88	92	96,36
25	12,05	59	35,37	93	85,08	25	46,24	59	78,55	93	96,82
26	12,59	60	36,28	94	87,07	26	47,55	60	79,22	94	97,29
27	13,14	61	37,31	95	89,06	27	48,86	61	79,84	95	97,75
28	13,69	62	38,34	96	91,25	28	50,18	62	80,46	96	98,20
29	14,23	63	39,36	97	93,44	29	51,49	63	81,08	97	98,69
30	14,78	64	40,39	98	95,63	30	52,81	64	81,70	98	99,20
31	15,36	65	41,42	99	97,81	31	53,96	65	82,32	99	99,55
32	15,94	66	42,58	100	100,00	32	55,11	66	82,90	100	100,00
33	16,52	67	43,75			33	56,27	67	83,48		

Exponiendo al aire un vaso lleno de agua fria, comienza á depositarse agua sobre el vaso y á empañarle en el momento que el aire en contacto es bastante frio para quedarse saturado de vapor, que es lo que se llama punto de rocío. Se comprende, en efecto que bajando la temperatura de un aire no saturado, llegará necesariamente á un punto en que la cantidad de vapor que contenga baste á su saturacion; desde este momento el menor enfriamiento produce el depósito de un poco de vapor. Si se observa cual es la temperatura entonces podrá deducirse la cantidad de humedad. Sea $+12.^{\circ}$ la temperatura del aire y del agua antes de la esperiencia, se enfria el agua añadiendole trozos de hielo poco á poco, el punto de rocío se muestra á $+6.^{\circ}$. La tabla de las tensiones nos dice que la del vapor de agua á $6.^{\circ}$ es de 0,007 m. y el peso del vapor en un litro de 0,00797 gr.; á mas de $12.^{\circ}$ la tension del vapor es 0,010 m. y el peso del vapor en un litro 0,011. La esperiencia nos dice por consiguiente que el aire solo contenia 0,0079^c de agua ó las 7/11 de la cantidad necesaria para su saturacion. Daniel ha construido fundándose en los datos precedentes un higrómetro de condensacion muy cómodo: *b*, fig. 206, es una bola de vidrio negro que contiene éter y un pequeño thermómetro; *b'* es otra bola cubierta de muselina. Rociando *b'* con éter, el frio que resulta de la evaporacion condensa el vapor interior, *b* suministra nueva cantidad y se enfria al mismo tiempo; al momento en que el aire exterior que se halla en contacto con *b* es bastante frio para estar saturado, el vapor de agua se deposita sobre *b* y lo empaña; en el mismo momento se observa la temperatura del thermómetro interior.

El aire rara vez está saturado de humedad, por lo común solo contiene la mitad de lo necesario para su saturacion, y aun en las grandes sequedades la sexta parte; llega á ser mas seco á medida que se le observa á mayor altura; en la cima de los Alpes la proporcion de vapor de agua nunca es la cuarta parte de lo que

contendria el aire saturado; á 8,000 metros de elevacion solo ha reconocido Gay-Lussac $1/8$. Esta sequedad de las altas regiones de la atmósfera esplica por qué hace bueno cuando el barómetro asciende, y como muchas veces llueve cuando baja. Si el aire se hace muy pesado, las nubes no estan ya en su condicion de equilibrio; suben, y el vapor que las compone desaparece en el aire seco á que llegan; si se hace mas lijero, las nubes descienden á las regiones ordinariamente mas húmedas, en donde se condensan. Pero como hay muchas veces en la atmósfera zonas desigualmente húmedas, acontece que las nubes que suben vuelven á hallar un aire cargado de vapor, y sobreviene entonces la lluvia á pesar de la indicacion contraria del barómetro. En general el descenso del mercurio suele ser una indicacion mas segura de la lluvia, que el ascenso del buen tiempo.

La humedad constante de la atmósfera es causa de fenómenos importantes que vamos á esponer.

Rocio. La tierra se enfria por radiacion cuando no está el sol en el horizonte. Si la baja de temperatura que resulta es bastante grande, el aire que se enfria en contacto del suelo es muy pronto sobresaturado, y el escedente de vapor se deposita sobre los cuerpos vecinos (vease la pág. 154.)

Escarcha. Si las noches son largas, como en la primavera y en el otoño de nuestros climas, el enfriamiento de la tierra podrá llegar á producir la congelacion del agua, y de ahí se originará la escarcha.

Sereno. Despues de un dia caliente, cuando el aire está muy cargado de humedad, en el momento que el sol se pone y la tierra se enfria, la baja de temperatura trae bien pronto la sobre saturacion del aire. La humedad se deposita entonces en pequeñas venguillas que constituyen una lluvia fina, sin que aparezca nube alguna en el cielo, esto es el sereno.

Niebla. Las nieblas son vapores acuosos que se forman y se

mantienen cerca de la superficie de la tierra. Cuando el agua está mas caliente que el aire forma vapores que se condensan en el mismo aire frio y quedan suspendidos en él; este es un efecto semejante al que se muestra en el agua calentada en una vasija que vierte vapores á la atmósfera. Las nieblas se forman en una circunstancia opuesta, cuando el aire caliente se halla en contacto de la tierra ó de una masa de agua enfriadas, tal es la causa ordinaria de las nieblas que se observan en tiempo de deshielo.

La neblina. La neblina es una pequeña lluvia que resulta de la licuefaccion de las vesículas que componen la niebla. Si son muy frios los cuerpos sobre los cuales se deposita, el agua se congela en agujas finas, y produce la *neblina congelada* llamada tambien *escarcha*.

Escarcha. (Verglas) cuando un aire húmedo deja caer lluvia en la superficie de la tierra en el acto muy fria, se congela la lluvia y forma una capa delgada de hielo, que tambien se llama escarcha.

Nubes. Son depósitos de agua en estado vesicular ó de venguilas; estan formadas ya por nieblas que ha elevado el viento, ya por vapores procedentes de las cimas de los bosques ó picos elevados, y tambien muchas veces por el encuentro de corrientes de aire húmedas y desigualmente calientes.

Lluvia. Resulta de las nubes, cuyas gotitas se aglomeran y caen; sinembargo solo recibe el nombre de lluvia la que llega hasta el suelo. En las montañas se ven muchas veces nubes que se resuelven en lluvia volviendo al estado de vapor antes de llegar á las regiones bajas. La cantidad de lluvia que cae en diversos puntos de la tierra es diferente; los lugares situados en la zona tórrida son los que mas reciben, y la cantidad disminuye á medida de la mayor proximidad á los polos; pero si se cuenta no la cantidad de agua, sino el número de dias lluviosos, se verá que estos son mucho mas numerosos en el norte.

Nieve. Es el resultado de las nubes cuya agua se congela, y

se produce en regiones elevadas, formando al caer las agujas que se reunen aglomeraciones regulares, que constituyen los copos. Se ve algunas veces caer la nieve enrojecida, y la coloracion es debida entonces á una planta criptogama (*el uredo nivalis*.)

Granizo. Está formado por la lluvia que se ha helado atravesando capas de aire frias, le constituye un hielo fibroso, compacto, en granos redondeados: es pesado y cae de prisa; parece haber sido producido en el acto de la mezcla de las corrientes de aire, y se manifiesta principalmente en el equinoccio, cuando los vientos violentos hacen variar á cada instante la temperatura. El granizo arrojado por el viento sigue siempre en su caida una direccion oblicua.



MAGNETISMO.

El iman atrae al hierro: todos los fenómenos que se refieren á esta propiedad constituyen la parte de la física conocida bajo el nombre de magnetismo (*de magnes iman.*)

Una teoría sencilla enlaza entre sí todos los fenómenos del magnetismo. *Existe en todos los cuerpos un fluido particular, fluido magnético, compuesto en sí mismo de otros dos diferentes, conocidos con los nombres de fluido boreal y de fluido austral.*

La teoría general del magnetismo establecida por Coulomb, admitiendo dos fluidos que ejercen consigo mismos una repulsion y el uno sobre el otro cierta atraccion, conduce aun á considerar el volúmen magnético de los cuerpos como compuesto de espacios ó elementos magnéticos en los que el magnetismo no puede penetrar. Cuando los dos fluidos estan reunidos ó diseminados igualmente sobre una molécula, el estado magnético es nulo, pero existe cuando los dos fluidos estan opuestos á las estremidades de la molécula.

La accion del magnetismo disminuye en razon inversa del cuadrado de las distancias.

Los fluidos de un mismo nombre se repelen, los fluidos de nombre contrario se atraen.

Se prueba la existencia del magnetismo en el hierro por la esperiencia siguiente: Se suspende de un iman *a b*, *fig. 203*, un trozo de hierro dulce *f*, este llega á ser magnético, y atrae al hierro en granalla, como se ve en la figura, sin que pueda atribuirse al iman esta atraccion por la propiedad de obrar á cierta distancia; porque si se reemplazára el hierro dulce por cobre, no se adheriria á este la limadura. En el momento en que se retira el hierro del contacto del iman cesa su virtud magnética y la limadura cae: se esplican estos hechos admitiendo que el hierro dulce contiene los

dos fluidos boreal y austral, que se separan por la influencia del iman, y se reunen luego que ha cesado esta influencia.

El fluido magnético se distribuye en los cuerpos, de modo que hay una línea média en donde el magnetismo es nulo, y dos polos en donde se muestra la atraccion.

El nombre de polos se aplica á todo lo que está á una y otra parte de la línea média; tambien se emplea para designar las dos estremidades en que la atraccion es mas fuerte, y para señalar los puntos en donde puede suponerse que es ejercida toda la atraccion.

Para reconocer esta disposicion del magnetismo en un iman basta hacerle rodar, *fig. 204 y 205*, entre limaduras de hierro y levantarlo luego, y se ve que las limaduras se han adherido principalmente á las estremidades formando filetes perpendiculares á la superficie, pero que se inclinan hácia la línea media, y parece que quieren reunirse.

Dicha disposicion llega á ser notable, si envolviendo una barra imanada en una hoja de papel se dejan caer limaduras al traves de un tamiz, y se las da un choque ligero, *fig. 212*.

Si se divide en dos trozos un iman que tenga dos polos, cada mitad es un nuevo iman que tiene tambien dos polos, y cuantas veces se repita la division resultarán otros tantos imanes.

Algunas veces se observan mas de dos polos en un iman, *fig. 209*; entonces cada uno de ellos está en contacto con el de nombre contrario, y se dice que tal iman tiene polos consecuentes.

En los imanes los polos del mismo nombre se repelen, y se atraen los de nombre contrario. Se puede probar esto suspendiendo libremente un iman y aproximándole otro iman; el suspendido retrocederá cuando se presente á uno de sus polos el del mismo nombre, y será atraído si se le presenta el polo de nombre contrario.

Aproximando dos imanes iguales por sus polos contrarios se destruyen mutuamente, siendo la atraccion del uno igual á la repulsion del otro. Asi en la *fig. 211* teniendo un iman *a b* sus-

pendida una barra de hierro *f*, cae esta al instante en que se le aproxime un iman *b'* por su polo de nombre contrario.

El magnetismo no es transmisible, no puede salir de los cuerpos. No marcha del iman al hierro; la barra que marca el estado magnético de este metal nada le cede. Por su influencia determina la separacion de los dos fluidos naturales del hierro, pero no le presta porcion alguna del suyo; mas sin perder nada de su fuerza un iman puede imanar gran número de piezas. La descomposicion del magnetismo natural puede verificarse á cierta distancia, sin que impida el efecto un cuerpo interpuesto entre el iman y el hierro.

El hierro dulce se imana facilmente, pierde su magnetismo al momento que es sustraído de la influencia del iman; al contrario, el acero se imana difícilmente, pero conserva su magnetismo despues de separado del iman. Esta resistencia á la descomposicion y recomposicion del magnetismo natural del acero se llama fuerza coercitiva; se la vuelve á hallar en el hierro dulce cuando ha sido batido, y sobre todo retorcido.

Entre los demás cuerpos, los mas sensibles al magnetismo son el cobalto y el níquel; el manganeso se muestra magnético á — 20 bajo de 0.º. Las esperiencias delicadas de Coulomb prueban tambien que la propiedad magnética pertenece á todos los cuerpos, solamente que á escepcion de los precedentes es muy débil en los demás.

Se distinguen los imanes en naturales y artificiales.

Los imanes naturales se hallan formados en la naturaleza; en el primer rango debe colocarse la mina de hierro conocida bajo el nombre de mina de iman (hierro oxidulado de los mineralogistas) compuesta de proto y deutóxido de hierro. El oxígeno del protóxido es el tercio del contenido en el peróxido ó deutóxido. Se halla la propiedad magnética natural en el hierro sulfurado magnético, en algunas variedades de hierro oligisto y de hierro cromado, en las batiduras del hierro, en la fundicion, en la plumbagina.

Los imanes artificiales son piezas de acero, en las cuales se ha desenvuelto por influencia la propiedad magnética. La aguja imanada, *fig. 210*, es una barra ó lámina de acero de pequeño volumen, terminada en punta en sus estremidades; se hace una barra imanada con una barra de acero muy fuerte; un *hacecillo imanado* resulta de la reunion de muchas agujas laminadas, ó barritas reunidas fuertemente con sus polos semejantes al mismo lado.

Hay muchos procedimientos para imanar el acero:

1.º Se toca la pieza que se quiere imanar con un buen iman natural ó artificial, haciéndola resbalar cada vez sobre un mismo polo desde un extremo al otro y en el mismo sentido, *fig. 208*, mejor se consigue con un *hacecillo* que con un simple iman.

2.º Se pone la barra *b* que se quiere imanar entre dos trozos de hierro dulce *ff*, *fig. 213*, y se pasa sobre ella el iman en los dos sentidos, saliendo fuera cada vez.

3.º Para hacer los imanes en forma de herradura, se colocan dos piezas iguales que se quieran imanar extremo con extremo, y se da repetidas vueltas sobre ellas con un iman tambien en forma de herradura que debe separarse por último repentinamente.

4.º Se ponen dos barras imanadas *m n* á alguna distancia una de otra y con los polos opuestos, *fig. 214*, y sobre ellas la que se quiere imanar, *a b*, de modo que solo descansa por unas 15 á 18 líneas sobre las imanadas. Tomando entonces otras dos barras imanadas *c s* se las coloca en medio de *a b* aproximando sus polos opuestos, é inclinándolas de 25 á 30 grados (el polo norte de *c* debe hallarse en el mismo lado que el de *m*, y el polo sur de *s* en el mismo lado que el polo sur de *n*). Se separan las dos barras *c s* conduciéndolas desde el centro de *a b* á sus estremidades, y sacándolas repentinamente se las vuelve á poner en el centro y se repite la maniobra un gran número de veces. Este método es debido á Duhamel, es excelente para las agujas de las brújulas y para las laminas que solo tienen 4 ó 5 milímetros de grosor.

5 ° Se disponen las barras inferiores y la aguja que se ha de imanar *a b* del mismo modo que en la operacion precedente; pero se tienen los hacecillos superiores de 5 á 6 milímetros uno de otro, é inclinados sobre un ángulo de 15 á 20 grados: se les conduce juntos y sin tocarse desde el centro de la aguja á una de sus estremidades, y se les vuelve á conducir hácia la estremidad opuesta, terminando por esta misma estremidad.

Se llama á este procedimiento método de *Æpinus*, ó de doble rozamiento, porque las dos barras resbalan á la vez sobre el mismo lado de la pieza que se ha de imanar: se le emplea para imanar piezas fuertes y objetasele que no imána igualmente los dos lados, y da á veces puntos consecuentes. En general se obtiene mejor la imanacion con hacecillos que con barras simples; lo mismo sucede cuando se emplea el método de *Duhamel*. Hecho una vez un iman, pierde difícilmente su estado magnético; para asegurar aun su fijeza se ponen en contacto con sus polos trozos de hielo dulce. Para las barras imanadas se ha recurrido muchas veces á la disposicion siguiente, *fig. 215*: dos barras *a b*, *a' b'* se han colocado con los polos opuestos, y otra barra de hierro dulce *ff* á cada estremidad; este hierro llega á ser magnético bajo la influencia de las barras, y los fluidos se dividen en él, de modo que los polos sean precisamente contrarios á los de las barras que tocan. Para los imanes en forma de herradura, *fig. 217*, se reunen los polos con una pieza de hierro dulce *p p* que produce igual efecto; se llama esta pieza contacto ó portante, y tiene ordinariamente un gancho que facilita los medios de cargar el iman.

En los imanes naturales los polos no siempre estan dispuestos favorablemente; se les da mejor direccion por medio de cierta armadura. Despues de haber determinado la posicion de los polos, *fig. 204*, se cortan dos caras planas perpendiculares á la línea que une los mismos polos, *fig. 216*; se aplican sobre ellas las láminas de hierro dulce *i i* que se prolongan en dos apéndices *c c*, se

sostienen estas piezas por medio de una ensambladura de cobre *ff*; las láminas *ii* se llaman alas del iman, los apéndices *cc* son los pies, y se les pone un portante *pp* como á los imanes artificiales.

A mas de la buena direccion que esta disposicion da á los polos de la piedra iman, tiene la ventaja de aumentar sus fuerzas, porque el magnetismo desenvuelto por influencia en el hierro obra á su vez sobre el magnetismo de la piedra que descompone en mayor cantidad; llegando esta á ser mas fuerte, obra de nuevo sobre el hierro, y por una consecuencia de las descomposiciones recíprocas la fuerza del iman se halla singularmente aumentada; y esto es tanto mas necesario, cuanto que es muy raro hallar piedras imanes que tengan naturalmente una accion poderosa.

Se llama aguja astálica la dispuesta de modo que deja de obedecer al magnetismo de la tierra; es útil para el estudio de la propiedad magnética en los imanes. Un medio cómodo de destruir el efecto de la tierra sobre una aguja imanada es colocar una barra tambien imanada en presencia de la aguja, siendo igual su polo mas próximo al de el mismo nombre que la aguja vuelve á su lado por la influencia de la tierra. Separando ó aproximando dicha barra se puede llegar á un punto en que su efecto contrabalancee exactamente la accion de la tierra; aquella debe estar bastante separada para que sus efectos sobre los dos polos de la aguja puedan ser considerados como iguales. Bajo la influencia de la barra, la aguja queda en equilibrio en todas las posiciones, obedece á la accion de una segunda barra como si estuviera completamente sustraída del magnetismo terrestre.

Aun puede destruirse el efecto de la tierra oponiendo á una aguja otra de igual fuerza, cuyos polos esten invertidos, ó en sentido contrario, *fig. 218*; ambas deben estar fijas de modo que no puedan girar una sin otra: como es difícil tener dos agujas de una intensidad perfectamente igual, Mr. Ponillet aconseja que se incline una de estas; la fuerza directiva disminuye á medida que la in-

clinacion aumenta; lo que modificando esta inclinacion da el medio de conseguir una perfecta neutralizacion.

La tierra puede ser considerada como un vasto iman, cuya línea média está situada hácia el ecuador terrestre, y le divide una vez en el oceano equinocial hácia el grado 180, y otra en el oceano atlántico á los 10 grados. Este ecuador magnético no forma una línea igual, parece que tambien experimenta cambios en su forma, y al mismo tiempo está animado de cierto movimiento de oriente á occidente.

Los polos magnéticos están situados á algunos centenares de leguas de los terrestres; hay dos al norte, y sin duda otros dos al mediodia.

La tierra obra sobre los cuerpos magnéticos como dos fuerzas iguales opuestas una á otra. Para medir su intensidad se determina la separacion mayor ó menor que una aguja experimenta por otra influencia opuesta á la de la tierra, ó se cuenta el número de oscilaciones que produce en cierto tiempo una aguja imanada desviada de su direccion. La enerjía de la fuerza magnética tiene por medida el cuadrado del número de oscilaciones dadas en un tiempo marcado, ó la relacion inversa del cuadrado de los tiempos empleados para dar igual número de oscilaciones.

La intensidad magnética de la tierra aumenta con la proximidad á los polos, pero en un mismo parage experimenta variaciones segun la estacion del año, y aun las horas del dia.

Una aguja imanada abandonada á sí misma se coloca de modo que sus polos se dirigen hácia los polos magnéticos de la tierra; el extremo sur ó austral de la aguja hácia el norte, y el norte ó boreal hácia el mediodia; la aguja ocupa la direccion de una línea que cortando al ecuador iria directamente de un polo magnético de la tierra al otro, es el meridiano magnético, *fig. 219*, suponiendo que *ns* indique el meridiano geográfico, *α b* será el magnético.

Una aguja imanada, libremente suspendida, toma la direc-

cion horizontal cuando está colocada en el ecuador magnético; separándola de él, inclina hácia abajo una de sus estremidades tanto mas cuanto mas se aproxima á los polos; en el polo magnético seria enteramente vertical. En cada lugar es diferente esta inclinacion, y se puede juzgar hasta cierto punto de la latitud á que se halla por la cantidad de la misma inclinacion; se toma para medida de esta el menor de los ángulos que forma con el horizonte la mitad mas baja de la aguja. En París, la inclinacion actual es de 70 grados, ha sido mayor, y parece que tiene tendencia á disminuir aun.

La brújula de inclinacion, *fig. 220*, está formada por una aguja imanada *a b* libremente suspendida; esta aguja antes de ser imanada se sostenia horizontalmente, porque sus dos lados tienen igual peso, pero despues se inclina obedeciendo á la accion magnética de la tierra.

En todos los lugares la aguja imanada está en la direccion del meridiano magnético; y como los polos magnéticos y geográficos no ocupan el mismo parage, resulta que el meridiano magnético corta al terrestre, y que la aguja terrestre forma un ángulo con el meridiano terrestre, *fig. 219*. Esto se llama la declinacion de la aguja, que se dice oriental cuando el polo austral de la misma aguja está al este del meridiano, y occidental cuando está al oeste.

Hay parages endonde el meridiano magnético y el terrestre tienen igual direccion, llevan el nombre de lugares sin declinacion, y forman una línea que atraviesa las tierras sinuosamente, y cuya posicion varía con el tiempo.

La declinacion de la aguja es variable en un mismo lugar. En París hace 30 años era oriental y de unos $11.^{\circ}$, al presente es occidental y de $22.^{\circ}$, y esta declinacion varía aun con la hora del dia, experimentando lo que se llama variaciones diurnas.

En París el maximum de declinacion tiene lugar entre mediodia y las tres de la tarde, el minimum hácia las ocho de la no-

che, es mayor desde Abril á Julio que en los demás tiempos 'del año. En las regiones equinocciales tienen tan grande regularidad las variaciones diurnas, que pueden servir para conocer la hora del dia.

La aguja de declinacion es una aguja imanada, libremente suspendida, pero que tiene uno de sus lados mas pesado que el otro para contrabalancear los efectos de la inclinacion y presentarse horizontal; á fin de distinguir con sencillez ambos polos hay la costumbre de bruñir ó pulimentar el lado austral de la aguja que se dirige al norte.

La brújula de declinacion se compone de una aguja colocada en una pequeña chapa hueca sostenida por un eje; debajo de la aguja hay un círculo de carton fino ó de talco cubierto de papel, y cuya circunferencia se ha dividido en 360° ; este círculo se llama rosa ó roseta. En el cero se pone la letra N que indica el norte, en frente la letra S que representa la direccion del sur, el este E y el oeste O estan á derecha y á izquierda. Las brújulas marinas estan libremente suspendidas, de modo que el instrumento se mantiene horizontal á pesar de la agitacion del barco.

Los chinos conocian la brújula mas de mil años antes del nacimiento de Cristo; se servian de ella en sus viages terrestres, y apenas hasta 1300 empezó á esparcirse su uso en Europa.

En un parage dado la brújula indica exactamente en qué direccion se halla el norte, supuesto que su polo austral mira siempre hácia este lado, teniendo en cuenta la declinacion conocida. En París, por ejemplo, donde se sabe que esta declinacion es occidental y de 22° se dará vueltas á la caja de la brújula hasta que el polo austral de la aguja quede estacionario á 22° á la izquierda del N de la roseta. El norte está entonces en la continuacion de la línea que une S N.

La brújula sirve á los navegantes para caminar en la inmensidad de los mares; estando dirigido hacia el norte su polo austral

se juzga por el ángulo que forma la aguja con la direccion seguida por el barco si este lleva el camino conveniente; pero como las declinaciones de la aguja estan sujetas á experimentar variaciones, es preciso atenerse á veces á la observacion de los astros.

La brújula se halla sometida á la accion magnética que ella misma desenvuelve en el herraje y cañones de hierro del barco, y á la que estas herramientas pueden tener naturalmente. Esta accion contraria la influencia del magnetismo terrestre, y hace inexactas las indicaciones de la brújula. Mr. Barlovv ha hallado el medio de determinar el valor de esta accion, ha visto que puede siempre ser reemplazada por la de un disco de hierro dulce colocado en cierta posicion que se debe conocer por la observacion. Se trata de observar la brújula en la nave y sobre la tierra, y de disponer el disco de modo que obre en esta precisamente como en aquella las herramientas. Cuando la brújula se pone en su lugar correspondiente se duplica el efecto de las herramientas, pero como es conocido su valor, fácilmente se hace la correccion.

Teniendo la tierra la propiedad de un iman, obra sobre todos los cuerpos magnéticos para descomponer su fluido natural; y asi una barra de hierro dulce colocada en la direccion de la aguja imanada adquiere dos polos; otra barra de acero se imanaria tambien aunque mas dificilmente, y conservaria el magnetismo que hubiera adquirido bajo la influencia de la tierra. El magnetismo de los imanes naturales no tiene probablemente otro origen. El hierro que se oxida llega á ser magnético, tambien lo llega á ser cuando se le bate, se le tuerce y se le lima, de modo que cada uno de nuestros utensilios de hierro tiene en un grado débil las propiedades del iman.

ELECTRICIDAD.

En la teoría general de los fenómenos eléctricos se admite en todos los cuerpos un fluido particular compuesto de otros dos diferentes, distinguidos con los nombres de fluido positivo ó vítreo, y de fluido negativo ó resinoso. Los fluidos del mismo nombre se repelen, y los de nombre contrario se atraen. Los dos fluidos reunidos constituyen la electricidad natural de los cuerpos, y ningún fenómeno aparente denuncia su presencia. El estado eléctrico resulta de la separación de los dos fluidos; y siendo el rozamiento el medio mas usado para producir la electricidad, nos serviremos de él desde luego para hacer el estudio de los fenómenos eléctricos.

Un pedazo de sucino frotado adquiere la propiedad de atraer los cuerpecitos ligeros. De este fenómeno muy conocido de los antiguos se deriva el nombre de electridad. (...sucino, ambar amarillo). Frotando un cilindro de lacre, se hace eléctrico, atrae los cuerpos ligeros, y hace experimentar cuando se le aproxima la cara una sensación igual á la que produciría una tela de araña; algunas veces aun se puede sacar una pequeña chispa aproximando el dedo. Gran número de cuerpos presentan el mismo carácter, pero hay otros, en particular los metales, que no se muestran eléctricos despues de frotados, á no ser que se interponga entre ellos y el suelo una materia resinosa ó vidriosa. La diferencia proviene de que los metales permiten que la electricidad se propague por su interior, y cuando se les tiene con la mano, el fluido pasa á esta, y por el cuerpo va á perderse en la tierra.

Con las materias vítreas ó resinosas, á lo mas la mano del operador puede despojarlas en el punto de contacto del fluido eléctrico. Estas observaciones conducen á distinguir los cuerpos en conductores y no conductores de la electricidad; entre los primeros o-

cupan el lugar preferente los metales, despues el cáñamo, el lino, el cuerpo de los animales, y los líquidos escepto los aceites; entre los segundos se hallan el azufre, las resinas, el vidrio, los óxidos metálicos, el carbon hidrogenado; no hay cuerpos, sinembargo, no conductores absolutamente; los metales, por el contrario, la conducen con una rapidez admirable. El aire no es conductor, llega á serlo por el vapor de agua que contiene, y las esperiencias eléctricas no salen bien sino en tiempos frios y secos; en un aire húmedo nuestros aparatos son despojados del fluido eléctrico casi tan pronto como podemos cargarlos de él.

El cuerpo no conductor, interpuesto entre otro cuerpo electrizado y la tierra, toma el nombre de aislador, y se opone á la pérdida del fluido eléctrico. No existe un aislador perfecto, asi como tampoco cuerpo absolutamente no conductor de la electricidad, segun queda dicho, á además de que el vapor de agua, depositado sobre el aislador, aumenta su propiedad conductriz, y el contenido en el aire lleva tambien una porcion de electricidad.

Cuando se desenvuelve la electricidad por el rozamiento de un cuerpo se producen al mismo tiempo los dos fluidos, negativo y positivo: el uno pasa al cuerpo frotado, el otro al frotante ó frotador. Las sustancias siguientes se electrizan vitreamente cuando se las frota con las que les siguen, y resinosamente si es con las que les preceden: *piel de gato, vidrio pulimentado, lana, pluma, madera, papel, seda, goma laca y vidrio deslustrado*. La diferencia mas ligera basta para hacer variar este orden, sin que podamos decir por qué se verifica en un sentido mas bien que en otro: asi se observa que dos cintas iguales frotadas una contra otra, la primera en el sentido de su longitud, y la segunda en el de su latitud, aquella será electrizada vitreamente, y esta resinosamente.

Se paueba por la esperiencia siguiente que los fluidos del mismo nombre se repelen, y los de nombre contrario se atraen. Una bolita de médula de sauco, *fig. 223*, está suspendida al extremo de

un hilo de seda que la aisle y tocada con una varita de vidrio pulimentado, frotada antes con lana, es atraída hacia la varita; pero cargada por el contacto de una parte del fluido del vidrio es desechada, y en este momento volverá á ser atraída por otra varita de lacre cargada por la frotacion de electricidad resinosa: se podran reproducir estos fenómenos de atraccion y repulsion por todo el tiempo que la bola de sauco conserve su electricidad. Si se tocan con vidrio ó con resina electrizada dos bolitas de sauco suspendidas á las dos estremidades de un hilo de lino conductor unido á un sosten de goma-laca, *fig. 223*, las dos bolitas cardadas del mismo fluido se separarán una de otra, y la separacion podrá aun servir para medir la cantidad de electricidad que hayan recibido.

Se llama péndulo eléctrico un aparatito *fig. 224*, compuesto de una vara conductriz, contra la que está suspendida otra varita de marfil *i* terminada por una bola, y móvil sobre un eje en su parte superior. La varita de marfil se separa tanto mas, quanto mayor es la carga eléctrica que puede medirse mediante un cuadrante.

Un cuerpo electrizado divide su electricidad con los conductores que tiene en contacto: si se carga de electricidad un cilindro aislado A, *fig. 225*, provisto de un péndulo eléctrico, y se le toca con otro cilindro provisto tambien de un péndulo, se verá que la electricidad se ha distribuido entre los dos. Si el cilindro electrizado estuviera en comunicacion con la tierra, la distribucion se verificaria igualmente; pero en razon de la masa terrestre el fluido eléctrico en el cilindro seria enteramente inapreciable. En las esperiencias eléctricas se designa muchas veces á la tierra con el nombre de reservatorio ó depósito comun; los cuerpos electrizados puestos en contacto con ella son al punto descargados.

La electricidad reside en la superficie de los cuerpos, y así se prueba por la esperiencia siguiente, *fig. 226*: Una bola de cobre ó aislada sobre un pie de vidrio puede ser envuelta en los dos casquetes hemisféricos de cobre *c c* provistos cada uno de un mango

aislador: si cargada la esfera de electricidad se la cubre con los casquetes, pasa toda la electricidad á la superficie de estos; y separados, se halla en ellos, al paso que la esfera ha sido enteramente despojada. La electricidad es, pues, desechada á la superficie de los cuerpos, y solo reside en ella por la presión del aire que se opone á su disipación. En el vacío produce todo su efecto la fuerza repulsiva, y la electricidad se separa de los cuerpos bajo la forma de un resplandor azulato perceptible en la oscuridad.

En un cuerpo esencialmente simétrico, como una esfera, el espesor de la capa eléctrica es igual en todos los puntos de la superficie. En un cilindro hay mas electricidad hácia los extremos; en una elipse la proporción de electricidad aumenta aun mas en las estremidades; en fin, en los cuerpos terminados en punta, la capa eléctrica llega á ser aun mas gruesa, y el aire no opone mas que un vano obstáculo á su salida. Resulta de esto, como legítima consecuencia, que es imposible conservar el fluido eléctrico en un cuerpo terminado en punta.

ELECTRICIDAD POR INFLUENCIA.

Un cuerpo electrizado descompone á cierta distancia la electricidad natural de otro cuerpo, atrae hácia la parte mas próxima la electricidad de nombre contrario, y repele á la parte mas distante la del mismo nombre. Sea v un conductor cargado de electricidad positiva, *fig.* 227, el conductor aislado p será electrizado por su influencia, siendo atraído á v el fluido resinoso, y rechazando el vítreo á v : es fácil asegurarse de este resultado por medio de un pequeño péndulo.

Todo efecto eléctrico cesa en p al instante que se le aleja de v , porque los dos fluidos se combinan para volver á formar la electricidad natural.

La descomposicion por influencia puede propagarse en una sucesion de conductores ; asi la electricidad de p puede obrar sobre el fluido natural de un nuevo conductor p' que á su turno podrá obrar tambien sobre otros conductores.

Es de notar que en esta descomposicion de electricidad por influencia la carga eléctrica es mayor de la que resultaria de la accion del primer conductor v . Una vez cargada la estremidad r de p de electricidad resinosa, esta descompone parte del fluido natural de v ; el aumento de electricidad que resulta para v determina una nueva descomposicion del fluido natural de p , que á su vez obra sobre v , y se verifica asi una sucesion de descomposiciones que aumenta la carga eléctrica hasta que por fin se establezca el equilibrio.

Poniendo la estremidad v de p en contacto con el suelo por medio de una cadena metálica, ó tocándola con la mano é interrumpiendo esta comunicacion antes de separar á p , se halla á este cargado de electricidad resinosa. La esplicacion del fenómeno es muy sencilla: como se ha permitido al fluido vítreo perderse en el suelo, el conductor p ha conservado solo el fluido resinoso que no vuelve á hallar el vítreo necesario para constituir la electricidad natural. En este caso se halla aumentada la carga eléctrica, porque v es desembarazado de la repulsion que la electricidad vítrea de p ejercia sobre él, y que neutralizaba una parte de su accion. Aproximando poco á poco p á v llega un punto en que el aire no puede oponerse á la atraccion que lleva á los dos fluidos r y v uno hácia otro; se lanzan al través del aire y vuelven á formar la electricidad natural produciendo una chispa luminosa.

Máquina eléctrica. Sirve para producir y acumular electricidad; se compone de frotadores, de un cuerpo frotado y de un conductor del fluido eléctrico, *fig. 228*. Los frotadores f son almoadillas de piel rellenas de cerda y comprimidas por un resorte que hace el rozamiento igual: comunican con el suelo por la madera

que compone la máquina, y que es conductriz. La experiencia ha demostrado que aumenta la cantidad de electricidad producida por el rozamiento dando á las almoadillas ó frotadores una capa de oro musivo (bisulfuro de estaño) ó mejor aun de una amálgama de estaño y de zinc. El cuerpo frotado es un disco de vidrio *p* que pasa entre las almoadillas, y se le da movimiento por medio de un eje central con su manubrio. Para evitar las pérdidas que resultarían de la acción del aire en el tiempo que emplea el vidrio al salir de los frotadores para llegar á presencia del colector *c*, se usan envolturas de tafetan gomado, que cubriendo el vidrio se oponen á toda pérdida.

El colector *c* está formado por un cilindro conductor, y tiene tantos brazos como frotadores la máquina; en sus partes mas aproximadas al disco *p* rodea á este sin tocarle por las piezas curvas *z z*, *fig. 228 y 229*. El colector está aislado sobre pies de vidrio *i i*, á los que para mayor precaucion se da un grueso barniz de goma laca que tiene menos tendencia que el vidrio á cubrirse de humedad. Al colector de la maquina se añaden á veces colectores secundarios, compuestos de gruesos cilindros de madera, cubiertos de una hoja metálica y suspendidos del techo con cuerdas de seda. Esta disposicion permite obtener con la misma máquina mayor cantidad de electricidad, aumentando las superficies en que este fluido puede extenderse sin que el espesor de la capa esceda al que la máquina puede retener.

El rozamiento del vidrio contra las almoadillas carga á estas de fluido resinoso que marcha á la tierra; el vidrio queda cargado de fluido vítreo. A medida que pasa delante de las piezas *z z* del colector la electricidad natural de este es descompuesta, el fluido vítreo se retira á las partes mas lejanas del colector, y el resinoso viene á las partes mas próximas al vidrio; y como la distancia entre ambos cuerpos es muy pequeña, el fluido resinoso pasa sobre el vidrio, y destruye el fluido vítreo de este neutralizándose. El vidrio ad-

quiere nueva electricidad entre los frotadores, y la pierde de nuevo á la aproximacion del colector; de modo que la máquina se hallará definitivamente cargada del fluido positivo ó vítreo que se alejó del disco. Se construyen máquinas cuyo colector es movable, y puede ponerse en comunicacion con el vidrio ó con los frotadores; en este último caso queda cargado de electricidad resinosa, pero entonces el vidrio debe comunicar con el suelo por medio de una cadena metálica.

La máquina eléctrica facilita los medios de hacer una multitud de curiosas experiencias propias para poner en realce los diferentes fenómenos que hemos espuesto: si se aproxima un cuerpo electrizado será atraído ó desechado segun que contenga el mismo fluido ú el diferente del de la máquina.

Todo cuerpo conductor aislado en contacto con el colector viene á formar parte de este colector, y se comporta como él: así un hombre puesto sobre un taburete ó banquillo con pies de vidrio aisladores se cargará de la misma electricidad que el colector tocándole; sus cabellos obraran como pequeños péndulos eléctricos, se erizarán, se podrán sacar chispas de diferentes partes de su cuerpo; si aproxima el dedo á un vaso en que otro contenga alcohol rectificado, la chispa producida inflamará el alcohol; si aquel hombre comunica con el suelo, toda la electricidad se perderá atravesando su cuerpo, y la máquina no podrá cargarse.

Una punta colocada sobre la máquina eléctrica la descarga con prontitud; en la obscuridad se ve al fluido eléctrico escapar por la punta bajo la forma de un chorro ó dardo luminoso azulado; poniendo sobre esta pieza el aparatito *fig. 221* toma un movimiento de rotacion; la capa eléctrica de la superficie obra comprimiendo al aire en todas las direcciones y en sentido contrario en *a* y en *b*; pero si llega á suspenderse repentinamente la presion *a* subsistiendo sola *b* hace tomar al aparato un movimiento hácia atras. Pues la destruccion de la presion *a* se halla producida si la estremidad *a*

del aparato termina en una punta, y el desprendimiento de la electricidad no halla obstáculo en esta direccion. El efecto del retroceso, que de esto resulta se reproduce en todas las estremidades curvas del aparato, y este toma el movimiento de rotacion que le ha hecho dar el nombre de *torniquete ó molinete eléctrico*.

El campanario eléctrico, *fig. 222*, se compone de una barra metálica horizontal suspendida á la máquina; en sus dos estremidades lleva dos campanas *t t'* prendidas cada una á una cadenita metálica; en el centro hay una tercera campana *t''* pendiente de un cordón de seda aislador, pero en comunicacion con el suelo por medio de otra cadenita de metal; entre las campanas se hallan las bolitas de cobre *p p'*, sostenidas tambien por hilos de seda. Las dos campanas *t t'* participan de la electricidad del colector; los pequeños péndulos *p p'* son atraídos por ellas, despues desechados una vez que hayan adquirido igual electricidad que las campanas, van á descargarse sobre la campana central *t''*, son atraídos de nuevo, vienen así sucesivamente á cargarse y descargarse de electricidad. Las campanas resuenan cada vez que son tocadas por los péndulos.

Poniendo bolitas de médula de sauco sobre la placa conductriz *d d*, *fig. 230*, aproximando la otra placa *p* que está en comunicacion con la máquina, la electricidad natural de *d d* se descompone por influencia; el fluido vítreo se pierde en el suelo, el resinoso se acumula en las partes mas próximas á *p*. Las bolitas de sauco que se hallan allí obedecen á la atraccion de la placa *p*, vienen á descargarse en ella del fluido resinoso, adquieren el vítreo, y son desechadas para ser atraídas de nuevo cuando vuelvan á ser cargadas por influencia del fluido resinoso. De esto resulta un movimiento ascendente y descendente de las bolitas, y la experiencia es conocida bajo el nombre de granizo eléctrico; si las bolitas son reemplazadas por limaduras de cobre se reproducen los fenómenos de atraccion y de repulsion, y la experiencia entonces lleva el nombre de lluvia eléctrica.

Electróscopo. Los electróscopos son instrumentos propios para manifestar la presencia de cantidades pequeñas de electricidad, y hacer conocer su naturaleza. La bolita de sauco suspendida de una hebra de seda, usada precedentemente en algunas esperiencias, es un verdadero electróscopo; pero el mas ordinariamente empleado, *fig. 231, 232 y 233*, se compone de una vasija de vidrio puesta sobre un platillo metálico; su parte superior está provista de una pieza metálica *g* á la cual hay libremente adheridas dos pajas, dos hojas de oro, ó dos bolas de sauco; al rededor de aquella guarnicion de metal se barniza al vidrio hasta cierta estension con goma laca para impedir que la electricidad se estienda hácia las paredes del frasco. Tocando la guarnicion *g* al exterior con un cuerpo electrizado, este le comunicará cierta porcion de electricidad; y como las partes suspendidas son muy lijeras y movibles obedecen á la mas débil repulsion, y se ve á las pajas, hojas de oro, ó bolas de sauco separarse una de otra. En la direccion que siguen al separarse, se colocan dos barritas de metal *m m'*, *fig. 231*, terminadas en bolitas, y que comunican con el suelo: algunas veces son reemplazadas por hojas de estaño pegadas contra el vidrio *c c'* *fig. 232*. Estas adherencias llenan la doble condicion de hacer mas cómodo el empleo del instrumento, y de aumentar su sensibilidad: en efecto, si la separacion fuese tan grande que las hojas de oro llegasen á tocar el vidrio, este adquiriría la electricidad que conservaria bastante tiempo, y podria inducir error en la marcha del electróscopo: pero las piezas metálicas tocadas por las hojas de oro permiten pasar al suelo el exceso de electricidad; y ademas cargadas estas de fluido eléctrico obran por influencia sobre la electricidad de aquellas, al paso que haciéndose ellas mismas mas eléctricas aumenta la repulsion que ejercen una sobre otra.

En vez de cargar directamente el electróscopo por el contacto de un conductor electrizado, se puede obrar sobre él por influencia. Tocando con el dedo la guarnicion *g* se le aproxima á

cierta distancia un cilindro de cera ó resina frotado, y se separa el dedo antes de retirar el cilindro. Hay descomposicion de electricidad por influencia: el fluido del mismo Lombre se pierde en el suelo al traves de los cuerpos, el de nombre contrario queda en el aparato, y determina la repulsion entre las hojas de oro cuando se ha retirado el cilindro. Si entonces se aproxima con precaucion un cuerpo cargado de una ú otra electricidad, el instrumento podrá hacer conocer la naturaleza de esta electricidad. Supongamos que el aparato esté cargado de fluido vítreo: un cuerpo cargado del mismo fluido descompondrá, aproximándose, la electricidad natural, y desechando el fluido vítreo á las hojas de oro aumentará su intensidad, y por consiguiente la separacion: otro cuerpo cargado de fluido resinoso desechando al mismo fluido bastaria á la saturacion del fluido vítreo del aparato, en consecuencia las hojas de oro se aproximarian.

ELECTRICIDAD LATENTE Y DISIMULADA.

Una lámina de vidrio *V*, *fig.* 235, guarnecida en sus dos caras de una hoja de estaño que no ocupe toda su estension, comunicando con el suelo por una cadena *c*, y llevando á cada lado un pequeño péndulo *p p'* es puesta en comunicacion con el colector de la máquina eléctrica: el péndulo *p* se separa de aquellas láminas, y *p'* no da indicio de repulsion; quitando la cadena *c* para aislar la lámina, y destruyendo la comunicacion con la máquina eléctrica no dará chispas dicha lámina tocada con el dedo en la superficie *p'*, y producirá una muy pequeña tocada en la superficie *p*. En este momento se la creeria despojada de electricidad, pero poniendo sus dos lados en comunicacion con el compas escitador de mangos aisladores, *fig.* 236, se desprende una chispa fuerte que prueba que la lámina no se hallaba en estado natural. La superficie *p* puesta en co-

municacion con la máquina, se carga de fluido vitreo que descompone la electricidad natural de la superficie p' rechaza hácia el suelo el mismo fluido vitreo, y fija contra el vidrio el resinoso; este satura a cierta distancia la electricidad positiva de p . La cara p se vuelve entonces capaz de tomar del colector una nueva cantidad de electricidad que reproduce el efecto, y aumenta la carga de la lámina. Cuando todas las comunicaciones se han interrumpido, las dos electricidades estan retenidas una por otra en las dos superficies de la laminita, y se neutralizan á distancia; solo p contiene un pequeño exceso de fluido vitreo indicado por la separacion del péndulo; las dos electricidades atraidas una por otra y retenidas no se marchan por un conductor que se presente separadamente á cada una de ellas, y se dice que su electricidad es latente ó disimulada. Si se presenta á las dos superficies de la lámina un conductor que las permita reunirse, estableciendo entre ellas la comunicacion, siguen á este conductor, y se restablece la electricidad natural. Es de notar que el vidrio no resistiria á la tension de los dos fluidos; en una cantidad muy fuerte de electricidad le atravesarian para unirse. Una placa de azufre ó de resina que reemplazaria al vidrio se cubriria tambien en igual caso de numerosas rendijas.

La propiedad que tienen los dos fluidos eléctricos de pasar al estado latente por su atraccion mútua, ha dado el medio de concentrar en un punto una fuerte carga; en la disimulacion de la electricidad se funda tambien la construccion de muchos aparatos importantes.

Condensador. Tiene por objeto hacer conocer repulsiones débiles; acumula la electricidad que proviene de un origen ó conductor débil, que en su estado de tension no seria suficiente para poner en marcha los aparatos mas delicados. El condensador de hojas de oro, *fig. 237*, es el mas usado.

Se reduce al electróscopo ordinario de hojas de oro, *fig. 231*, provisto de un platillo metálico c que está cubierto por su parte

superior de una ligera capa de barniz resinoso. Sobre este platillo se coloca otro segundo tambien de metal *c'* barnizado inferiormente y con un mango aislador *m* arriba. Se quiere acumular en el condensador la electricidad de un origen de débil tension: se pone el platillo superior en comunicacion con el cuerpo que la origina, despues se toca con el dedo la parte metálica desnuda del otro platillo. La electricidad se acumula en el platillo superior, obra por influencia sobre el inferior, la del mismo nombre marcha por el dedo al través del cuerpo del operador, y se concentra el fluido de nombre contrario en las partes mas aproximadas del segundo platillo. Los dos fluidos quedan alli disimulados el uno por el otro: el barniz resinoso es suficiente para impedir que se reunan, pero cuando se separa el platillo superior, el fluido del otro platillo queda libre, se estiende por todas las partes conductoras inferiores del aparato, y produce la separacion de las hojas de oro; aun se pudiera poner el platillo inferior en comunicacion con el cuerpo que produce la electricidad y tocar con el dedo el platillo superior. Volta ha usado el condensador para demostrar la formacion muy débil de electricidad que se produce por el contacto de dos metales.

Electróforo, fig. 238, se compone este instrumento de una torta de resina *z z*, y de un platillo de madera *v v* muy bien cubierto de hoja de estaño, y provisto de un mango aislador *m*. Se frota la torta resinosa con una piel de gato bien seca, y se carga así de electricidad resinosa; se pone sobre ella el platillo ó disco de madera, y se le toca con el dedo por algunos instantes. Levantándole en seguida por medio del mango de cristal, ó cordones de seda, segun de lo que esté provisto, produce una chispa al aproximarle cualquier cuerpo conductor.

La electricidad resinosa acumulada en la resina descompone por influencia el estado natural del platillo de madera, marcha el fluido resinoso al depósito comun por el cuerpo del operador, y el fluido vítreo es atraído y disimulado en la superficie inferior del

platillo. Este fluido vítreo es el que produce la chispa despues de retirado el platillo. Aqui la lámina no conductriz que separa ordinariamente los dos fluidos en las esperiencias de electricidad disimulada es reemplazada por la propiedad no conductriz de la resina. El electróforo una vez cargado conserva largo tiempo su estado eléctrico, no pudiendo quitarle el aire la electricidad de que está cargado sino poco á poco; se usa principalmente en los laboratorios de química para obtener las chispas necesarias á la combustion de las mezclas de gases detonantes.

Lámpara eléctrica, fig. 234, es una lámpara ordinaria de gas hidrógeno, la que contiene un electróforo. El platillo superior *p* comunica con el suelo por medio de una lámina de estaño puesta sobre la resina; se carga por el contacto, y se descarga cuando dando vuelta á la llave *i* se le levanta con el cordon *ff* sobre un conductor *c c* que propaga la chispa entre dos puntos, por cuyo centro pasa el gas (vease la pág. 51.)

Botella de Leiden, fig. 239, se compone de un frasco de vidrio, cuyo exterior es cubierto en gran parte por de hoja de estaño; el interior está lleno de hojas de oropel en cuyo centro se sumerge la barrita metálica *t* que atraviesa el cuello del frasco, terminada superiormente en un boton ó bolita *b*, y replegada algunas veces en forma de gancho. La hoja de estaño *a a a a* estendida sobre la panza exterior de la botella toma el nombre de armadura exterior; la barra *t* se llama la bola, el gancho ó el interior de la botella: el espacio *a g a g* comprendido entre la boca del frasco y el estaño debe barnizarse con laca para impedir toda comunicacion entre el interior y el exterior.

Para cargar una botella de Leiden se la coge por la panza, y se presenta el gancho al conductor de la máquina eléctrica; el fluido vítreo se acumula en la botella, el resinoso queda en la armadura exterior: se pudiera cargar la botella teniéndola por la bola y tocando con la panza en la máquina, entonces se cargaria de

fluido vítreo en el exterior y resinoso en el interior. La teoría es absolutamente igual á la de la lámina ó cuadro chispeante. Se prueba de un modo bastante curioso que son diferentes las electricidades exterior é interior: poniendo la botella por su panza sobre un platillo ó torta de resina se trazan ciertas figuras sobre la torta; en seguida se trazan nuevas figuras frotando esta vez la torta con el gancho, entonces se echa sobre la misma torta una mezcla de azufre y de minio; el primero se adhiere sobre los puntos electrizados vítreamente bajo la forma de flechas amarillas, erizadas de filetes diverjentes; el segundo forma flechas de contornos redondeados sobre las líneas electrizadas resinosamente: esto es lo que se llama las figuras de Lichtenberg.

Por medio de la botella de armaduras movibles se prueba que la electricidad es acumulada en las dos superficies del vidrio, y no en las del metal. Se compone la botella movable, *fig. 240*, de un vaso de vidrio *v v'* barnizado en cierta estension desde su borde superior de un vaso interior de metal *c b*, y de otro vaso exterior *a a* igualmente de metal. Se carga esta botella de la manera ordinaria; luego ensayadas las armaduras, despues de haberlas quitado se hallan en estado natural. Pero si se recompone la botella poniendo en su lugar correspondiente las armaduras puede sacarse entonces una chispa fuerte tocando á la vez las dos armaduras: la electricidad estaba pues verdaderamente fija sobre el vidrio; las armaduras sirven para esparcirla en él igualmente y descargarla en todos los puntos al mismo tiempo.

Tocando con una mano la botella por la armadura exterior, y con la otra por la bola, sirve el cuerpo de conductor, se descarga la botella, y el operador recibe una conmocion violenta, de modo que seria espuesta la esperiencia con una botella grande y bien cargada. Debe usarse para descargarla del escitador de mangos aisladores, *fig. 236*. Cuando la carga es muy fuerte, el vidrio á veces no basta para mantener los fluidos separados, y la descarga

se verifica al través de la botella, que suele ser agujereada en este caso, si bien otras veces tiene lugar entre las armaduras.

Se descarga lentamente una botella de Leiden cuando colocándola sobre un aislador se toca alternativamente y gran número de veces su armadura exterior y la bola, y aun se puede descargarla lentamente por el campanario eléctrico, *fig. 241*. Una botella de Leiden cuyo gancho está provisto de una campana, se halla colocada sobre una tabla de madera al lado de una barra con otra segunda campana, y que sostiene cierto péndulo de metal colgante de un hilo de seda aislador. Atraído el péndulo por la primera campana, se carga de electricidad, y es desechado y atraído en seguida por la otra campana que comunica con el exterior de la botella; se descarga en ella, toma electricidad de nombre contrario, y vuelve de nuevo á despojarse en aquella continuando el movimiento hasta que quede descargada la botella.

Batería eléctrica. Una botella gruesa armada como la de Leiden toma el nombre de *cuba eléctrica*, y la reunion de muchas botellas ó de muchas cubas se llama batería, *fig. 243*; está construida la batería de modo que el interior de todas las botellas se halla en comunicacion recíproca así como lo estan sus armaduras exteriores. Las barritas *t t t* establecen la primera comunicacion, la segunda se verifica por medio de una hoja metálica que guarnece todo el fondo de la caja de madera en donde se han colocado las botellas ó cubas, una cadenita *c* asegura la comunicacion de las armaduras exteriores con el suelo. Puede ponerse un péndulo eléctrico sobre alguna de las cubas, y por él puede juzgarse de la carga de la batería. Para poner en ejercicio el aparato se hacen comunicar los ganchos con la máquina eléctrica por medio de una barra metálica; y cuando la separacion del péndulo indica suficiente carga se quita la barra de comunicacion levantándola con una varita de vidrio terminada en gancho; se destruye la comunicacion con el suelo, y la batería está cargada; se la

descarga con el escitador, pero es necesario operar con mucha precaucion para no recibir la chispa poderosa producida por la electricidad disimulada de las cubas reunidas.

La botella de Leiden y la batería eléctrica, permitiendo acumular cantidades mucho mayores de electricidad que las máquinas, facilitan el medio de hacer experiencias curiosas. Muchas veces se acude, como medio de dirigir la carga, á un aparatito llamado escitador universal, *fig. 244*. Los dos cilindros metálicos *t t'* están colocados sobre pies aisladores *p p* del modo que se ve en la figura; se pone uno de ellos en comunicacion con el interior ó exterior de la botella ó batería, y el otro con la armadura opuesta por medio del escitador; la chispa tiene lugar entre las dos bolas *b b*, y ejerce sus efectos sobre los cuerpos colocados allí.

Eleccion de conductores. La botella de Leiden sirve para probar que en presencia de muchos conductores la electricidad prefiere al mejor: teniendo una botella con la mano, é interpuesta una cadena de metal entre la mano y la botella, se puede presentar con la otra mano la estremidad opuesta de la cadena al gancho, y no se recibirá el menor sacudimiento; toda la electricidad pasará por el metal, á no ser que esté presente una solucion de continuidad ó sea muy delgado.

Accion sobre los animales. La chispa eléctrica produce un sacudimiento doloroso, que se hace sentir principalmente en las articulaciones. Una descarga fuerte produciria un dolor agudo hasta en el pecho, y seria peligroso recibir la descarga de una batería fuerte. Si cogidas muchas personas de la mano formando una cadena tocan las dos de los extremos la botella de Leiden, una por la bola y la otra por la panza, todas las demás personas de la cadena reciben al mismo tiempo la conmocion.

Accion sobre los conductores. La electricidad que atraviesa un hilo metálico colocado entre los brazos de un escitador universal le calienta, le enrojece ó le funde, segun su energía. Van-Ma-

rum ha fundido así un hilo de hierro de 50 pies de longitud. Los metales son muchas veces volatilizados, y si son oxidables se queman por el oxígeno del aire.

Accion sobre los cuerpos no conductores. La electricidad que halla un cuerpo no conductor ó conductor imperfecto le reduce á pedazos: se agujerea una lámina de vidrio cuando ha sido espuesta entre las estremidades *b b* del escitador universal, cuyas bolas han sido reemplazadas por puntas. Una cartulina ó un naípe puesto al paso de la chispa eléctrica en el aparato, *fig* 245, llamado pasa-cartones, es perforado de parte á parte; se advierte que el agujero parece hecho de adentro hácia afuera, lo que hace creer que el fluido eléctrico ha sido transmitido por una sucesion de descomposiciones continuadas; se nota tambien que la abertura está mas próxima á la punta por donde se desprendia el fluido resinoso, y esto consiste en que el aire pone mas obstáculo á su paso que al del fluido vítreo.

Disgregacion de los cuerpos y transporte por la electricidad. Al salir de un conductor la electricidad separa de él una parte de su materia abandonada en estado de polvo, y que puede ser transportada á lo lejos. Una cadena de hierro, algunos trozos de carbon dan cierta cantidad de materias pulverizadas; la electricidad que sale de una bola de plata lleva parte de este metal, que penetra profundamente en una lámina de cobre interpuesta entre la plata y la bola del escitador universal; el oro conducido en iguales circunstancias puede penetrar una lámina de plata. La disgregacion por el fluido eléctrico se comprende facilmente, pues que las partículas materiales de la superficie en razon de su estado eléctrico semejante deben ejercer unas sobre otras cierta repulsion, que en ciertos casos puede ser bastante grande para vencer la fuerza de agregacion.

La electricidad inflama las mezclas de gases de tonantes, puede descomponer el agua, las sales, los álcalis, desvia á la aguja imanada de su direccion, y es capaz de producir la imanacion, como lo diremos despues.

Luz eléctrica. Se manifiesta cuando la electricidad está en movimiento ó se rompe el equilibrio, puesto que sea suficiente la tension. Un conductor, al través del cual se pierde la electricidad de una máquina ordinaria, no produce luz eléctrica; pero Van-Maarum ha visto con una máquina poderosa cubrirse un hilo de hierro de 16 metros de una aureola brillante. No se comportan lo mismo las dos electricidades cuando una y otra salen por una punta de un conductor: el fluido vítreo forma penacho brillante mientras que el resinoso solo aparece como un resplandor ó como un punto luminoso; parece que esta diferencia debe consistir en que el aire puede oponer mas obstáculo á la marcha del fluido resinoso que á la del vítreo, segun ya se ha indicado.

La luz eléctrica aparece sobre todo cuando se propaga la electricidad por un conductor que presenta soluciones de continuidad; en cada punto en que es interrumpido el conductor se produce una chispa, y si la carga es poderosa un dardo de fuego en ziczac, ó haciendo eses, *fig. 246*. La luz eléctrica se presenta de un modo curioso y que llama la atencion en algunos instrumentos. El cuadro fulminante, *fig. 247*, es un cuadro de vidrio sobre el cual se ha pegado un cordon de estaño dispuesto en ziczac.

Comunica por arriba con una máquina eléctrica, y por bajo con el suelo. Estableciendo soluciones de continuidad que sigan contornos regulares se ve á los dibujos formados aparecer llenos de fuego cuando pasa por ellos la electricidad. En el tubo chispeante ó fulminante, *fig. 248*, las hojitas de estaño forman una espiral interrumpida en toda la longitud del tubo. El huevo filosófico es una botella, *fig. 249*, á la que se hace llegar electricidad por medio de la barra *t* comunicando *t* con el suelo, ó vice versa. Cuando se ha dejado la vasija llena de aire parten algunas chispas entre las dos barras conductoras: cuando se ha hecho el vacío en la botella se llena de un resplandor luminoso. Introduciendo aire poco á poco se ve al dardo estrecharse mas y mas, y pronto no se

obtienen mas que chispas. Se ha investigado la esplicacion de la luz eléctrica sin haber conseguido cosa que satisfaga; pero es constante que la reunion de los dos fluidos es acompañada de un desprendimiento de luz.

ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA.

El aire se halla en un estado habitual de electricidad, las mas veces vítreo en particular en el tiempo bueno. En las estaciones lluviosas es muy variable el estado eléctrico del aire, cambia varias veces en el día y aun en cada instante. Como todo movimiento molecular produce electricidad, no debe admirar que la contenga el aire atmosférico: las causas principales que la producen son el rozamiento de las nubes contra el aire, el de unas capas de aire con otras, la evaporacion del agua que cuando está cargada de materias salinas da vapor electrizado vítreamente; fenómeno que se produce constantemente ó á cada instante en la vasta estension de los mares. Mr. Ponillet añade á estas causas la electricidad vítreo propia del vapor de agua que resulta de la transpiracion acuosa de las plantas.

Acumulándose la electricidad atmosférica en las nubes, acaba por dar origen á las tempestades. Aunque la semejanza de los efectos del rayo y los de la botella de Leiden hubiera hecho presumir que tenian una causa comun, estaba reservado al célebre Franklin el probarlo. Elevó un cometa en tiempo tempestuoso, y reconoció en la cuerda los fenómenos de repulsion iguales á los producidos por la electricidad de nuestras máquinas, y pudo sacar de ella varias chispas aproximando el dedo. Las esperiencias de Franklin fueron repetidas por distintos fisicos, entre quienes debe citarse á Charles D^c Alibart y de Romas: uniendo á la cuerda del cometa un alambre aumentó su conductibilidad, se puso al abrigo de las descargas

teniendo la cuerda con el intermedio de un cordón de seda, y descargándola con un escitador puesto en comunicacion con una pieza metálica sumergida en el suelo. Estas esperiencias son peligrosas, y no debe descuidarse ninguna precaucion para ponerse en seguridad de ellas.

Las nubes tempestuosas se hallan en un estado de movimiento desordenado, en el cual no solo el viento determina su direccion, sino que se pueden reconocer en él los efectos de las atracciones y repulsiones eléctricas. Su interior mismo es el lugar de una especie de fermentacion que un observador ha comparado á la superficie de un queso lleno de gusanos. Estas nubes se sostienen á muy diferentes alturas: se ven algunas que tocan en la superficie del suelo; Bonguer las ha observado en los Andes á 5000 metros de elevacion.

De las nubes tempestuosas parten los relámpagos y rayos; rara vez de una sola, por lo comun de una nube á otra, y á veces de una nube á la tierra. El relámpago es formado por la luz eléctrica: una misma nube puede producir muchos. Las apariencias con que se nos presenta el relámpago pueden reducirse á tres: ya es un dardo de luz instantánea de bordes circunscritos en forma de ziczac, del brillo mas puro, á veces con una tinta purpurina ó violácea; su longitud es en algunos casos de muchas leguas; su duracion no equivale á la milésima parte de un segundo: aquí están comprendidos los rayos que llevan consigo la muerte y el incendio. Otras muchas veces los relámpagos ocupan mucha superficie sin tener la blancura y la vivacidad de los primeros: iluminan con luz súbita instantánea el contorno de las nubes ó toda su superficie: de todos los relámpagos son los mas comunes, se pueden contar á miles en una tempestad. En fin, se forman relámpagos mucho mas raros bajo la apariencia de globos de fuego; su marcha es lenta, su duracion de algunos segundos, la vista puede seguirlos facilmente en su tránsito; su formacion es aun enteramente inesplicable.

Despues del relámpago se oye el trueno, rara vez como un ruido

instantáneo, casi siempre como un zumbido desigual. Si el relámpago se produce en un solo punto, el sonido producido nos llegará todo á la vez, y el oído solo percibirá un ruido repentino; pero si el relámpago tiene grande estension, se le verá instantáneamente en todos los puntos, (tan grande es la velocidad de la luz) pero el ruido se oirá sucesivamente, porque el sonido camina con lentitud (340 metr. por segundo). Si el relámpago huye delante del observador, el ruido llegará á él poco á poco, y durará tanto tiempo cuantas veces contenga el relámpago 337 metros de longitud. Si el observador está en medio del lugar hácia donde se produce el relámpago, el ruido de la parte media le llegará desde luego, y sucesivamente el ruido doble producido por los dos lados del relámpago. En cuanto al zumbido, puede provenir de que el relámpago en ziczac se ha aproximado y separado sucesivamente del observador; de que la nube, mal conductor, se ha descargado por relámpagos sucesivos; de que las capas de aire atravesadas por el sonido no teniendo igual densidad ni sequedad vibran de una manera diferente; de que el ruido es repetido por el eco, fenómeno muy notable en las montañas, y que se reproduce por todas partes, aun sobre el mar á consecuencia de la reflexion del sonido en la superficie de las nubes. El relámpago precede siempre al ruido del trueno, pero llega despues que el rayo; la rapidez del fluido eléctrico es tal, que cuando se haya visto el relámpago no debe temerse la descarga que lo ha producido. De las personas lastimadas por un rayo ninguna ha visto ni oído la descarga antes de ser herida.

Los efectos de la electricidad atmosférica, teniendo en cuenta la intensidad, son los mismos que los producidos por nuestras máquinas. Dos nubes cargadas del mismo fluido se repelen, y se atraen cuando estan cargadas de fluidos contrarios; muchas veces la descarga eléctrica se verifica del uno al otro. El efecto de las nubes eléctricas sobre la tierra es descomponer por influencia la electricidad de los cuerpos terrestres, y atraer á la superficie el fluido de

nombre contrario al de la nube: si la carga eléctrica es bastante grande y la nube está aproximada, la tierra sufre una descarga, un rayo.

La caída de un rayo sobre un objeto terrestre es determinada por la naturaleza de este objeto, por su posición y por su forma. Los mejores conductores son siempre tocados de preferencia, aunque se hallen ocultos bajo del suelo, ó envueltos en masas de construcción ó masonería. El agua, cuerpo buen conductor, experimenta muchas veces la acción del rayo: una nube electrizada puede levantarla en columna ó montaña líquida; y si se aproxima mas la hará sufrir la descarga; es de notar que en este caso mueren todos los peces, porque, siendo mejores conductores, la electricidad obra preferentemente sobre ellos.

Los cuerpos terrestres mas elevados y por consiguiente los mas próximos á la nube eléctrica sufren de preferencia los efectos del rayo: algunos pies de elevación bastan para que la descarga tenga lugar mas bien sobre un objeto que sobre los circundantes. Las formas puntiagudas atraen el rayo por la mayor acumulación de electricidad que se produce en ellas. Los árboles aislados son tocados á veces por el rayo, porque son elevados, conducen bien el fluido eléctrico, y comunican profundamente con el suelo por sus raíces. El rayo pasa de preferencia por entre el leño y la albura; si penetra profundamente rompe los árboles y divide su leño en tiras delgadas. Es menester guardarse por lo mismo de ponerse mientras pasa la tempestad al abrigo de los árboles, que, como son conductores imperfectos, la electricidad los abandona para pasar al cuerpo del hombre ó de los animales inmediatos.

Los edificios altos, como los templos, son muchas veces sacudidos por el rayo, que toca los mejores conductores esten ó no á descubierto, y se lanza de uno á otro: despues de haber recorrido la armadura del edificio se dirige á los hombres allí reunidos. Los tocadores de campanas suelen ser heridos por los rayos, pues

la misma escitacion producida en el metal es causa tal vez de la mas pronta descarga.

Un objeto terrestre puede sufrir una accion violenta á gran distancia del punto en que ha caido el rayo; esto es efecto del choque de retroceso. Cuando una nube eléctrica tiene sus dos estremidades cerca del suelo, y la descarga se verifica por una de ellas, a la estremidad contraria se reproduce la electricidad del suelo que habia sido descompuesta por influencia, y la reunion de los dos fluidos puede ocasionar efectos semejantes á los de la accion directa del rayo.

Cuando este toca los cuerpos conductores los recorre si le ofrecen fácil tránsito, los quema, los vaporiza si son muy pequeños, imana al hierro, trastorna los polos de las brújulas. Cuando da en cuerpos no conductores los despedaza, y tal vez los trasporta á grandes distancias. Si cae en un parage donde se hallan reunidos cuerpos conductores y no conductores, prefiere á los primeros, estalla ó brilla á su entrada, á su salida, y despedaza los segundos, que trasporta tambien á veces á grandes distancias; inflama las materias ligeras, y carboniza á lo mas la superficie de las otras, pues pasa muy de prisa para quemarlas profundamente. Los efectos caloríficos del rayo se hacen notar principalmente en los metales que entran en fusion por su accion; se funden asimismo las porciones de roca que puede tocar, y deja algunas veces las señales de su transito por la arena aglomerando la sílice en largos tubos vitrificados (*tubos fulminarios*.)

Los hombres han investigado los medios de preservarse del rayo. El peligro es inminente, pero los medios de escapar de él son tan numerosos que no debe ofrecer gran cuidado. Es prudente mientras la tempestad no guarecerse bajo los arboles, y en una habitacion alejarse de los utensilios metálicos y de la chimenea, por la cual es fácil penetre el rayo atendida su elevacion y la capa de hollin conductriz que barniza sus paredes. Franklin ha aconsejado

que se preserven los edificios del rayo por medio de largas barras de hierro que comuniquen con el suelo y esten fijas en las partes mas altas del edificio, estas barras llevan el nombre de pararayos. Cuando una nube cargada de electricidad pasa sobre un pararayos se descompone la electricidad natural de este en mayor cantidad que la de los cuerpos vecinos, porque está formado por una sustancia conductriz y mas próximo á la nube. La forma puntiaguda que se ha dado á su extremo acumula en él mayor cantidad de electricidad, y aun se la ve salir bajo la forma de un dardo luminoso; fenómeno que producido en la punta de los mástiles de los navios ha recibido el nombre de fuego de S. Telmo, Castor y Polux que le dan los marinos. Las partículas de aire que llegan al pararayos le quitan parte de su electricidad, y entonces son atraídas por la nube en donde se descárgan, cargandose de fluido contrario. Resulta de esto otra corriente en sentido inverso, cuyo resultado es descargar á la nube de la electricidad que contiene, y disminuir por lo tanto el peligro. En todo caso si la esplosion tubiere lugar, se verificaria necesariamente en la punta del pararayos, donde el fluido se halla acumulado en mas abundancia, y la experiencia demuestra que aun en este caso es preservado el edificio. Se suele dar á cada pararayos la altura de nueve metros, se le termina por una punta de platino menos alterable y menos fusible que el hierro. Se establece la mas perfecta comunicacion del pararayos con el suelo por una barra de hierro, cuerda ó cadena metálica cuya estremidad se sumerge en un pozo ú otra masa de agua, y en su defecto se divide en muchas ramas que penetran en la tierra rodeadas de carbon calcinado. Para evitar el choque lateral, que resultaria de las descomposiciones por influencia, debe ponerse en comunicacion con el pararayos todo el herrage principal del edificio.

Una barra de nueve metros parece bastante para preservar en su alrededor un espacio de diez y ocho metros, es decir, que forma el centro de un círculo de treinta y seis metros de diámetro,

en el cual no puede tocar el rayo. Con este dato se deben multiplicar los pararrayos segun la estension de los edificios que quieran preservarse.

ELECTRICIDAD GALVÁNICA O DE CORRIENTE.

En 1789 Galvani, médico de Bolonia, (reproduciendo el experimento de un estudiante) descubrió que los músculos de una rana puestos en comunicacion con los nervios por el intermedio de uno ó dos metales ocasionaban contracciones violentas en los miembros del animal: atribuyó estos efectos á que el metal habia servido de conductor al fluido nérveo para pasar de los nérvios á los músculos. Pero Volta demostró despues que las contracciones observadas por Galvani dependian de la electricidad, y admitió que esta se habia desenvuelto en los metales. Segun Volta, cuando dos metales diferentes se hallan en contacto, el solo contacto basta para que se constituyan en estados eléctricos opuestos; á esta propiedad desconocida hasta entonces dió Volta el nombre de fuerza electro-motriz. Para él el efecto primero del contacto era la descomposicion del fluido natural y su division entre las dos piezas metálicas, y el segundo el obstáculo puesto por la fuerza electro-motriz á la reunion de los dos fluidos, propiedad singular que impide á la electricidad pasar por buenos conductores. La velocidad de la fuerza electro-motriz es escesiva: no se puede descargar á los metales del fluido eléctrico tan pronto como se reproduce en ellos. Los cuerpos que se constituyen en estados eléctricos opuestos por el mero hecho del contacto se llaman electro-motores, y se mide su potencia electro-motriz por la cantidad de electricidad con que se cargan; cantidad diferente, segun los metales, pero constante para cada uno de ellos en su asociacion con otro electro-motor.

Los metales en la série siguiente estan colocados segun el or-

den de su tendencia á tomar la electricidad positiva (vítrea) ó negativa (resinosa). Cada metal es positivo con los que le siguen, y negativo con los que le preceden.

Antimonio	Laton	Cobalto
Arsénico	Rodio	Paladio
Hierro	Plomo	Platino
Zinc	Estaño	Niquel
Oro	Plata	Mercurio
Cobra	Manganeso	Bismuto

La teoría de Volta ha conducido á la construcción de un instrumento que ha sido origen de los mas bellos descubrimientos, y al que los físicos han dado el nombre de Pila de Volta. Se compone de una série mas ó menos numerosa de discos de zinc, cobre y trapo mojado, *fig. 251*. En semejante sistema la electricidad se forma y se acumula en las estremidades del instrumento. Un disco de cobre *c*, *fig. 250*, reposando sobre el suelo, y otro de zinc *z* puesto sobre el cobre reciben de la fuerza electro-motriz cierta carga eléctrica que está en relacion con su misma fuerza electro-motriz: el zinc adquiere la electricidad positiva $+1$, el cobre la negativa -1 , pero esta última se pierde en la tierra, y su estado queda reducido verdaderamente á cero; el primero de los dos metales conserva pues el exceso de electricidad $+1$. Poniendo sobre el zinc un cuerpo conductor adquiere la electricidad del zinc, y la condición electro-motriz no es ya satisfecha: se descompone entonces nueva cantidad de fluido natural hasta que el zinc y el conductor sobrepuesto tengan la carga eléctrica forzada $+1$. El conductor puede ser formado por la acumulacion sucesiva de discos de paño mojado, de cobre y de zinc, sistema que adquirirá la carga eléctrica $+1$, como se ve en B, *fig. 252*. Pero cada uno de los pares zinc y cobre que forman ese conductor debe constituirse en razon de su fuerza electro-motriz en un estado tal, que cada disco de zinc tenga aun el exceso de electricidad $+1$ con relacion al cobre á que se sobreponer.

como puede verse en A. El segundo disco zinc tiene pues una carga eléctrica doble que el primero, la mitad procedente de este, como parte del conductor sobrepuesto, la otra mitad originada de su propia fuerza electro-motriz: todo el sistema conductor superior tendrá la carga eléctrica de $+ 2$, como se ve en C. Otro tanto caerá á el tercer zinc que tendrá la carga $+ 3$ para la 4.^a $+ 4$ y así sucesivamente: de modo que la cantidad de electricidad positiva será mayor á medida que aumente el número de discos. En cuanto al disco inferior de cobre permanecerá en el estado de cero porque la pila por su construccion permite al fluido negativo (el que corresponde al positivo acumulado en la pila) dirigirse libremente á la tierra; lo contrario tendrá lugar si se pone inferiormente al zinc, sobre él el cobre y así sucesivamente, pues en este caso se acumulará la electricidad negativa segun el número de discos, y se perderá la positiva.

Cuando se aísla la pila, la electricidad no puede perderse, y estará formada por la reunion de dos pilas construidas en sentido inverso, digamoslo así. El estado eléctrico es cero en el medio, positivo en un lado y negativo en el otro; y tomando este cero como punto de partida, la electricidad positiva se acumula en el lado en que los discos de cobre se hallan mas próximos á este cero, y la negativa en el otro extremo que termina por el mismo cobre. Cuando se ponen en comunicacion entre sí las dos estremidades ó polos de una pila construida así, la pila se descarga por una chispa; pero como la fuerza electro-motriz tiene una rapidez sin límites, se vuelve á cargar con la mayor prontitud y se puede obtener una série no interrumpida de chispas.

La pila de Volta, construida como acabamos de decir, tiene del inconveniente de esprimir el líquido contenido en los discos ce paño, disminuir su propiedad conductriz y establecer además, lierta comunicacion entre las diferentes partes de la pila mojando as superficies exteriores. Volta por medio de su *pila de corona*

habia evitado este inconveniente: estaba formada, *fig. 253*, de láminas de zinc y de cobre soldadas por un extremo, y que se sumergian en vasos llenos de un líquido conductor, pudiendo disponerse el aparato en círculo, de donde viene el nombre de pila en corona. El largo tiempo que exige este aparato para estar armado ha hecho renunciar á él.

Cruikshanks construyó el primero las pilas de *artesa, horizontales ó de cajon, fig. 260*, que aun se emplean bastante al presente. Los pares zinc y cobre soldados por sus caras estan colocados de canto, y separados unos de otros por un intervalo en que se pone el líquido conductor, todo está dispuesto en una caja de madera barnizada de resina. Para servirse de este instrumento se llenan las canalitas que separan los pares con el líquido conductor; y en las que existen á los extremos se sumerge una lámina de cobre en cada una, provista de su hilo metálico para conducir la electricidad. Reuniendo muchas pilas se forma una batería; y si las pilas estan puestas de modo que todas las placas de zinc, por ejemplo, se hallen á un mismo lado, la batería se reducirá á una pila cuyo número de elementos ha sido aumentado. Si, por el contrario, las pilas han sido colocadas unas al lado de otras, y la comunicacion se ha establecido entre los polos de un mismo nombre, resulta una batería en que el número de pares será el mismo, pero que obrará como si estos tubieran mucha mayor superficie.

En la pila de *VVollaston* los elementos de cobre y zinc tienen la forma que se ve en la *fig. 254 y 255*; el elemento zinc *z* está colocado entre el elemento cobre *c c*, que replegado ó doblado sobre sí mismo presenta mucha mas superficie. El contacto entre ambos metales solo tiene lugar en una corta estension *a*, pero es enteramente suficiente en razon de la rapidez de la produccion. El fluido que sale de cada metal tiene que atravesar una pequeña capa de líquido nada mas para llegar al metal opuesto: este sistema es adaptado á una armadura de madera, *fig. 256*, que permite trans-

portarle facilmente. Se pone el líquido conductor en los vasos *iiii*, y en ellos se sumergen los pares en el momento que se quiere poner la pila en accion, y se les retira cuando se quieren suspender las funciones del aparato. Se evita con esta maniobra la alteracion de los metales por el líquido conductor y el cambio de naturaleza de este líquido, que así como se vera despues debilita la conductibilidad.

La pila de Hare, modificada por Faraday y J. Young, se compone de hojas de cobre y de zinc cortadas en la forma que indica la *fig. 257*, y dobladas conforme se ve en la *fig. 258*; se interpone el cobre y el zinc, hallandose colocado siempre el primero en cada ángulo del segundo, y vice versa, *fig. 259*. Los apéndices *a a a* de una placa de zinc y de otra de cobre próximas estan soldadas, terminando uno de los polos de la pila por el cobre y por el zinc el otro. Este sistema de elementos voltáicos fijado en una ensambladura de madera se sumerge á un mismo tiempo en el líquido conductor, y se retira de él á voluntad del operador. La disposicion de los elementos es causa de que ocupen poco lugar, y no exigen por consiguiente mas que un pequeño cubo y poco líquido; por otra parte prueba la esperiencia que es muy ventajoso este sistema de construccion. (*)

Las pilas secas están formadas por electromotores poco enérgicos, entre los cuales se interpone un conductor sólido. Su construccion mas habitual es la siguiente: un papel fuerte humedecido por el vapor de agua que ha podido prestarle la atmósfera, por un

(*) Mr. Bunsen, profesor de química en la Universidad de Marbourg, ha obtenido una pila de efecto constante, reemplazando ingeniosamente las láminas de platino de la de Grove por cilindros de carbon. Su pila, que se fabrica en París, recomendable por su sencillez y poco precio, ofrece á la vez interés á los sábios y estimacion á la industria.

La pila de Bunsen formada de 40 elementos ocupa muy poco espacio: lo que llamamos un elemento se compone de cuatro piezas

lado se halla cubierto de una hoja de zinc laminado, y por el otro del óxido de manganeso reducido á polvo impalpable. Se reúne gran número de hojas semejantes poniendo en contacto el manganeso de una con el zinc de otra. Por medio de un sacabocados se forman discos que se sobreponen en el número de muchos millares, y constituyen una pila que debe barnizarse para mayor seguridad con goma laca. En este sistema el zinc es positivo, el manganeso negativo, y la humedad del papel sirve de conductor.

Las pilas secas son siempre muy débiles, no se puede sacar chispas de ellas ni pueden producir efectos químicos, pero si muy bien los fenómenos de atracción y de repulsión eléctricas. Zamboni se ha servido de estas pilas para construir un pequeño aparato que lleva el nombre de Movimiento Perpetuo de Zamboni. Se compone de dos pilas secas, *fig. 261*, que comunicando por su base, tengan los polos contrarios situados en *n p*; una esferita hueca de metal *b*

sólidas, cilíndricas, que se introducen facilmente unas en otras sin rozarse, y se observa en ellas comenzando por la exterior que las incluye todas el orden siguiente. -1.º un frasco ó *bocal de vidrio* lleno de ácido nítrico del comercio. -2.º *un cilindro hueco* de carbon, lleno de agujeros, abierto en ambos extremos, y que estando la pila en acción entra en el ácido nítrico hasta las tres cuartas partes de su altura. Sobre el cuello, fuera del bocal adonde no llega el ácido, se adapta justamente un anillo de zinc muy limpio, en cuyo borde superior hay soldada una lámina metálica encorvada, destinada á establecer el contacto con el polo contrario. -3.º *una celdilla ó diafragma* de tierra porosa que se introduce en el interior del cilindro de carbon, de modo que quede un intervalo de dos milímetros. Esta celdilla recibe ácido sulfúrico diluido (1 p. de ácido del comercio para 7 ú 8 de agua). -4.º *un cilindro hueco* de zinc amalgamado que se sumerge en el ácido sulfúrico de la celdilla precedente. El borde superior de este cilindro está provisto de una lámina (de zinc) propia para establecer el contacto con el polo contrario. La reunión de dichas piezas constituye un elemento de la pila; el cilindro de carbon provisto de su anillo &c. constituye el polo electro-positivo, el cilindro de zinc amalgamado el negativo. Para formar con muchos elementos u-

libremente suspendida entre los dos va continuamente á cargarse y descargarse de un polo al otro.

La electricidad acumulada en las dos estremidades de la pila de Volta se halla en el mismo estado que la de nuestras máquinas; hemos visto que su cantidad ó su tension dependia del número de los discos, siendo tanto mayor el espesor ó la tension de la capa eléctrica, cuanto mas numerosos sean estos. La magnitud de los elementos aumenta la cantidad de electricidad sin tener influencia sobre la tension: en dos pilas formadas de igual número de elementos, teniendo estos elementos diferente magnitud, la tension es la misma, pero la cantidad de electricidad es mayor en donde los elementos tienen mas superficie, porque la capa eléctrica con igual espesor tiene mas estension.

Aproximando uno á otro los hilos de metal que conducen la electricidad de los dos polos, se observa una sucesion de chispas que

na batería ó pila, se pone en comunicacion el cilindro de zinc con el de carbon; esta comunicacion se efectua aplicando una contra otra las láminas encorvadas que pasan el borde superior de los cilindros, y comprimiéndolas con una tenacilla de cobre provista de un tornillo de presion. El carbon de los cilindros se prepara calcinando convenientemente en un molde de fundicion una mezcla íntima de coke y hulla grasa finamente pulverizados.

Un solo elemento de la pila de Bunsen basta para fundir un alambre delgado, y puede servir útilmente para las esperiencias de galvanoplastia y de dorado: con dos elementos se obtiene la descomposicion del agua. La Academia de ciencias (sesion de 27 de Febrero último, 1843) ha podido juzgar de los efectos notables obtenidos con la batería de 40 elementos. Mr. Bunsen ha hecho ensayos relativos al modo de iluminar ó alumbrar, que consiste en el dardo de luz producido por la corriente entre dos puntas de carbon, sirviéndose al efecto de la batería de 48 elementos: el dardo ó chorro de luz podia ser prolongado hasta 7 milímetros alejando las puntas de carbon.

He suprimido la descripcion de la pila de Grove &c., y he preferido concretarme á lo dicho en la nota por ser la pila de Bunsen la que ofrece mas curiosidad, y su precio menor entre las modernas.

proviene de la combinacion de los dos fluidos eléctricos. Si se establece una comunicacion no interrumpida entre ambos polos, y si el hilo conductor es de bastante diámetro no se advierte fenómeno que denote la presencia de la electricidad en el hilo. Se supone que el fluido positivo le recorre en un sentido y el negativo en otro, y entonces se dice que el hilo está atravesado por una corriente.

DE LAS CORRIENTES ELECTRICAS.

Si la corriente eléctrica recorre al conductor que reúne los dos polos de una pila y la pila misma, no produce fenómenos exteriores que puedan hacer conocer su presencia, sino cuando es bastante energética para calentar al conductor; puede ser conocida por la acción que ejerce sobre la aguja imanada.

Una corriente que obra sobre una aguja imanada tiende á ponerla en cruz con el sentido de la misma corriente. La acción de la corriente puede ser considerada como dividida en fuerzas aplicadas á los dos polos del iman, de direcciones opuestas, perpendiculares al eje de la corriente, y cuya intensidad varía en razón inversa de la simple distancia. Colocando una pila en la dirección del meridiano magnético, y disponiendo el hilo de cobre conductor que reúne los dos polos de modo que en su parte média tenga la misma dirección que la pila, dirigiendo el polo positivo de esta hacia el norte, y puesta sobre el hilo una aguja imanada, tendrá su polo austral desviado al oeste; puesta debajo, se dirigirá el mismo polo al este. Estando la aguja colocada sobre la pila tomará direcciones opuestas desviándose hacia el este y estando debajo hacia el oeste. La dirección dada á la aguja por el conductor ó por la pila es, pues, opuesta; y de ahí ha nacido la idea de una corriente que circula en la pila, y en sentido inverso en el conductor,

Cambiando la direccion de la pila, el sentido de las direcciones de la aguja cambia al mismo tiempo; pero por una teoría fácil, que se debe á Mr. Ampère, se puede siempre pronunciar sin género alguno de duda á qué lado será desviada la aguja. Por primer convenio se admite que la corriente parte siempre del polo positivo de la pila; ahora bien: si se supone un hombre tendido en la corriente de modo que le entre por los pies y le salga por la cabeza, este hombre dirigiendo su vista á la aguja tendrá siempre á su derecha el polo austral de esta aguja.

El galvanómetro ó rheómetro ha sido descubierto por Scheivvger, sirve para reconocer y medir las corrientes eléctricas, y está fundado en la desviacion que hacen experimentar á la aguja imanada las mismas corrientes eléctricas. Un hilo de metal cubierto de seda es doblado gran número de veces en el mismo sentido sobre un bastidor de madera, *b b fig. 262*: la seda que envuelve al hilo tiene por objeto impedir el paso de la electricidad de una de las circunvoluciones á la otra. Si la corriente de una fuerza dada pasa al través de semejante sistema, volverá tantas veces por la misma direccion cuantas sean las vueltas que el hilo dé sobre el bastidor, y cada vez obrará con la misma fuerza sobre una aguja imanada colocada encima de este bastidor. La accion se renovará, pues, tantas veces cuantas el hilo haya sido doblado sobre sí mismo: si, por ejemplo, el hilo da 100 vueltas, la accion será 100 veces lo que hubiera sido si la aguja hubiera recibido solo la influencia de un paso al través del hilo. Hay algunos galvanómetros multiplicadores en los cuales el hilo conductor da muchos millares de vueltas sobre el bastidor.

Una aguja imanada, que está bajo la influencia de una corriente obedece aun á la accion magnética de la tierra. Se concibe tal circunstancia atendiendo á que los efectos de la corriente pudieran ser modificados y destruidos, y se ha remediado este inconveniente usando para multiplicador un sistema de dos agujas fijas u-

nidas, como se vé en la *fig.* 218, con los polos opuestos; por medio de este artificio la accion de la tierra se ejerce de un modo inverso é igual sobre cada una de ellas, y queda por esto mismo anulada. Esta aguja doble ó astática, sustraída así al magnetismo terrestre, obedece fácilmente á las corrientes mas débiles: suspendida por un hilo ó hebra de seda, de modo que una de las agujas esté sobre el galvanómetro, y la otra entre las dos séries de vueltas superiores é inferiores, *fig.* 262, esta aguja central ha vuelto del mismo lado por una corriente que atraviesa el hilo superior é inferior á ella, lo que es fácil de comprender [recordando que la corriente pasa en direccion opuesta las partes superiores y las inferiores del hilo, y que la aguja central se halla situada debajo de las primeras y sobre las segundas. En cuanto á la aguja superior está situada sobre las dos corrientes, que como marchan en sentido inverso, cada una de ellas tiende á hacerla girar en sentido opuesto; pero hallándose mas próxima la corriente superior, tiene mas fuerte accion sobre la aguja; su efecto se añade al que desvia la aguja inferior á la cual está fija. Para comprender bien estos electos sobre la aguja del galvanómetro es preciso suponer que la corriente entra por una de las estremidades del hilo, y sale por la otra, despues investigar: en la suposicion de un hombre tendido en la corriente que pasa por los hilos superiores y en la que pasa por los inferiores, cual debe ser la desviacion de las agujas bajo la doble influencia de estas corrientes en sentido inverso.

El sentido de la corriente que recorre el galvanómetro está indicado por la direccion de la aguja; para hallarle debe tenerse en cuenta la suposicion del hombre tendido, de modo que tenga el polo austral de la aguja superior á su izquierda, y concluir que la corriente le entra por los pies, ó que de este lado viene la electricidad positiva.

La cantidad de la desviacion de la aguja marca la fuerza de la corriente; y cuando se quiere medir la fuerza comparativa de

dos corrientes se usa el galvanómetro doble construido con dos hilos, se hace pasar una corriente en sentido inverso en el uno del otro; si las corrientes son iguales, su acción que se ejerce en sentido opuesto sobre la aguja se destruye mutuamente, si son desiguales obedece á la mas fuerte.

La electricidad de corriente ó en movimiento se produce siempre que hay movimiento molecular: Volta la hizo nacer del contacto de metales diferentes, Mr. Peltier pasando hilos por la hilera y aun doblándolos: se produce tambien cuando el calor se propaga en los cuerpos, ó por la acción de un imán sobre un cuerpo conductor; así mismo se manifiesta toda vez que hay acción química; y en fin se ve aparecer una corriente siempre que se hacen pasar por cualquier hilo conductor dos fluidos producidos por el rozamiento ú otra acción mecánica, puesto que los dos fluidos recorren el hilo conductor en sentido contrario; basta presentar las dos estremidades del hilo del galvanómetro terminadas en puntas finas á cierta distancia de las dos superficies ó armaduras de una botella de Leiden para que pase por el hilo la corriente que desvía la aguja imanada.

La producción de las corrientes por el calor que constituye los fenómenos termoeléctricos ha sido descubierta por Seebeck en 1821, se la puede reasumir así: hay producción de una corriente toda vez que el calor se propaga en un cuerpo. La molécula a , fig. 263, en contacto con un foco de calor s toma la electricidad positiva al paso que es arrojada la negativa en todos sentidos; pero una segunda molécula a' se calienta muy pronto á espensas de a , quita á esta la electricidad positiva y le da la negativa; lo mismo se verifica con a' a'' a''' a'''' &c. Se opera pues en toda la estension del hilo una sucesión de descomposiciones y recomposiciones, de modo que el fluido positivo marcha de la estremidad caliente á la fria, y vice versa el negativo. Si este efecto tiene lugar sobre un hilo ó cuerpo homogéneo, la corriente no es indicada por la

aguja imanada, porque iguales efectos se producen á derecha é izquierda del punto calentado, se verifican corrientes en sentido inverso que se destruyen mutuamente. No sería lo mismo si la propagacion del calor fuese desigual en ambos lados; en donde se hiciese con mas facilidad, allí habria esceso en la accion eléctrica, y esta corriente le conduciria. Se produce una corriente thermoeléctrica con un mismo metal estableciendo en cualquier punto del mismo una guarnicion ó torneadura que debilite la propagacion del calor; basta aun para producirla cortar el hilo conductor en un punto y reunir los dos extremos en forma de anillo. Las corrientes thermoeléctricas se manifiestan con mas energía aun cuando se ligan dos metales diferentes, ya trabajando al mismo tiempo su estremidad, ya reuniendolos por una soldadura.

La energía de la corriente thermoeléctrica y el poder thermoeléctrico de cada metal aumentan con la temperatura, pero no siguen una misma ley todos los metales. Cuando se sueldan dos metales y se calienta la soldadura, la corriente parte del metal cuyo poder thermoeléctrico es mayor. En la série siguiente cada uno de los metales es positivo con los que le preceden, y negativo con los que le siguen: bismuto, platino, plomo, estaño, cobre, oro, platino, zinc, hierro, antimonio.

La accion química es quizá la causa mas poderosa de la produccion de corrientes. Se debe principalmente á Mr. Becquerel una série numerosa de esperiencias que ponen esta verdad fuera de duda.

En los fenómenos químicos ordinarios la electricidad no se manifiesta, pues los dos fluidos se combinan en el líquido á medida que acaban de ser separados; pero modificando convenientemente la disposicion de los aparatos se llega á sustraer una parte del fluido eléctrico en esta recomposicion. El aparato mas sencillo, *fig. 266*, se compone de un vasito en que se pone un líquido, se sumerjen en él pequeñas placas metálicas destinadas á conducir la electricidad.

La placa que solo ha de servir de conductor está hecha de un metal inatacable, el platino por ejemplo, la otra sobre la cual debe ejercerse la acción química tiene un hilo metálico que va á transmitir la electricidad al galvanómetro. Algunas veces se hacen comunicar muchos vasos el uno con el otro, *fig. 267*; la comunicación se establece con un tubo pequeño de vidrio encorvado, lleno de líquido, ó con una mecha de amianto ó de algodón humedecido.

Toda vez que no hay acción química entre los cuerpos no se observa indicio de corriente.

Cuando un metal es atacado por un ácido, la corriente parte del metal, la electricidad positiva pasa al líquido, y la negativa por el conductor fijo al metal atacado. Cuando son atacados dos metales (cobre y zinc) por el ácido sulfúrico debilitado, la corriente va del metal mas atacado (zinc) al líquido. Un pedazo de hierro y de arsénico tratado comparativamente por un ácido débil y por una disolución de potasa, en el primer caso el fluido negativo parte del hierro que es atacado con mas fuerza, en el segundo parte del arsénico sobre el cual tiene el álcali mas acción.

Un mismo metal sumergido en dos diferentes líquidos, la corriente va de la placa metálica que es mas fuertemente atacada al líquido.

El contacto de dos disoluciones da muy frecuentemente origen á una corriente eléctrica. La experiencia se verifica por medio del aparato *fig. 267*; se establece la comunicación entre los dos vasos con una lámina de platino, sobre la cual se pone una mecha de amianto; las electricidades son conducidas por las láminas de platino que entran en cada uno de los vasos; los dos líquidos diferentes que ocupan las cápsulas comunican reunidos á lo largo de la mecha, y al punto que tiene lugar el contacto se establece la corriente.

Cuando un ácido y un álcali se combinan, el ácido toma la electricidad $+$, y el álcali adquiere la $-$. Cuando se ha puesto en

contacto agua con un ácido, toma aquella la electricidad negativa, y por consiguiente se comporta como una base; lo contrario se verifica si está en contacto con una disolucion alcalina, pues se comport entonces como un ácido.

CONDUCTIBILIDAD PARA LAS CORRIENTES.

Los metales son los mejores conductores de las corrientes eléctricas; pero el orden en que se hallan bajo este aspecto no está bien determinado, lo que consiste en no haberse conocido hasta el presente de una manera absoluta la naturaleza y la intensidad de las corrientes. Segun Davy los metales deben ser colocados relativamente á su conductibilidad para las corrientes en el mismo orden que para el calórico; otros observadores no estan de acuerdo con él, pero Becquerel conviene en que la conductibilidad de un mismo hilo metálico es proporcional á la seccion del hilo y está en razon inversa de su longitud.

Entre los líquidos las soluciones ácidas y alcalinas, y sobre todo las primeras, son los mejores conductores: el agua pura conduce muy mal, si bien es esencial á la propiedad conductriz de ciertos cuerpos, y así observamos que los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados transmiten mal la electricidad, al paso que diluidos son buenos conductores. La conductibilidad de una solucion crece con la cantidad de materia disuelta hasta cierto límite, mas inmediato para las materias mas conductoras, y pasado el cual queda sin efecto cierta cantidad de sustancia disuelta. Si se disuelven al mismo tiempo muchas sales, cada una de ellas obra como si estuviera sola, y la conductibilidad general es proporcionalmente aumentada. Las materias no conductoras adquieren liquidadas por el calor un poder conductor muy fuerte; algunas, no obstante, hacen escepcion, tales son segun Mr. Faraday el azufre, el fósforo, el yoduro de azufre,

los sulfuros de arsénico, el ácido acético cristalizado y las resinas. Si se examina la conductibilidad de muchas sales fundidas juntas, se ve que no pasa de la propia de la materia salina mejor conductriz: así una mezcla de nitro, de sulfato de zinc y de alumbre nunca pasa el límite de conductibilidad que pertenece al nitro.

Cuando una corriente atraviesa un conductor pierde mas á medida que la capa que debe atravesar es mas espesa: he ahí una de las causas que concurren sin duda á los buenos efectos de la pila de Hare. Una corriente que pasa por un conductor líquido se divide en filetes divergentes, y la divergencia es mayor á medida que el líquido es peor conductor.

Todo cambio de conductor disminuye la intensidad de la corriente: hay poca pérdida de un metal á otro, pero la hay grande de un metal á un líquido, y de este á aquel; la pérdida es mayor cuando pasa del buen conductor al malo: sumergidos dos metales en un mismo líquido, la corriente entra y sale mas facilmente por el que es mas atacado.

Una corriente que pasa al través de un diafragma metálico interpuesto en un líquido pierde tanto menos cuanto mas fuerte es la corriente. Si se colocan sucesivamente muchos diafragmas, la corriente que ha atravesado el primero pasa con menos pérdida por el segundo semejante. Esto es un efecto enteramente análogo al que presentan los rayos caloríficos y luminosos transmitidos al través de las pantallas, y ha hecho creer que una corriente eléctrica se compone de muchas corrientes, así como un rayo de calor ó de luz se compone de rayos diferentes.

En los conductores que han servido para transmitir la corriente en medio de una solución salina se produce otra corriente en sentido inverso de la primera si se interrumpe la comunicación con la pila. Las corrientes que nacen así son llamadas secundarias, aun se designa esta propiedad bajo el nombre de polaridad eléctrica: depende su duración de la energía de la acción galvánica.

que las ha precedido, y en dicha propiedad de los conductores está basada la pila secundaria de Rieter. Se construye una pila con un solo metal, cobre por ejemplo, y discos de carton humedecidos en una disolucion salina: tal pila no da corrientes sensibles; pero si se la hace atravesar por una corriente, despues que esta se interrumpe, la pila producirá una corriente en sentido inverso. Bajo la influencia de la corriente el ácido y el álcali de la solucion salina se depositan sobre cada superficie opuesta del disco de cobre, y adhieren á ella por efecto de la atraccion molecular; cuando se ha interrumpido la corriente resulta una pila formada de álcali y de ácido, que produce una corriente en sentido inverso de la primera. La adherencia de partículas ácidas y alcalinas al conductor parece que es de la misma naturaleza que la atraccion molecular que determina el depósito del vapor de agua en la superficie de los cuerpos, la absorcion del gas por las materias porosas y la condensacion de los gases hidrógeno y oxígeno por la esponja de platino.

TEORÍA QUÍMICA DE LA PILA.

No puede ponerse en duda que la accion química producida sobre los elementos de la pila de Volta concurre poderosamente al desenvolvimiento de la electricidad. Por el contrario, ha llegado á ser muy dudoso que el contacto de metales diferentes sea de importancia en la produccion de las corrientes; y los físicos que admiten estos efectos del contacto se ven precisados por lo menos á convenir en que la parte de accion procedente de ellos es escativamente limitada.

Cuando un elemento, zinc y cobre, es sumergido en un líquido ácido, el zinc es atacado, la electricidad positiva pasa á el líquido, la negativa al par voltaico. Se produce igual efecto en cada intermedio, y el fluido positivo que pasa á el liquido se combina

con el negativo que iba en el elemento voltáico precedente; y reproduciéndose el mismo efecto en cada par solo quedará libre la electricidad positiva del líquido contenido en la última canal zinc, y la electricidad negativa de la primera cobre, *fig. 264*; de modo que la cantidad de electricidad en ambos extremos será igual á la que produciría un solo elemento en accion. Esto es contrario á los hechos observados y requiere mas estensa esplicacion.

Debe admitirse aun que en el momento de la separacion producida por la accion química cada fluido recibe una impulsion en sentido contrario, que le conduce á bastante distancia y le sustrae á la combinacion: esta marcha de las dos electricidades constituye el estado de la corriente. Obedeciendo á la impulsion recibida, la electricidad atraviesa el sistema conductor que le presenta la pila, y se acumula en mayor cantidad á medida que avanza, yendo entonces el fluido positivo hácia la estremidad zinc, y el negativo hácia la estremidad cobre: podrá adquirirse una justa idea de esta accion por medio de la *fig. 265*, en la que se ve á una pila compuesta de cuatro elementos acumular en el polo cobre una cantidad de electricidad negativa -4 , y en el polo zinc otra cantidad de electricidad positiva $+4$. Si los fenómenos fueran tan sencillos, la tension de la pila creceria en razon directa del número de elementos, y esto no se verifica, sino que el aumento tiene lugar en menor relacion. Debe notarse que hay pérdida de una parte de la electricidad, porque la corriente atraviesa al conductor que forma la misma pila, y sobre todo porque á cada instante hay cambio de conductor de líquido á metal y de metal á líquido, circunstancia la mas desfavorable para la transmision completa de la corriente.

En las pilas de grandes placas, poco numerosas, la electricidad llega mas pronto á los dos polos y con menos pérdida; y si se saca de ellas con escelentes conductores de suficiente diámetro, suministran realmente muy grande cantidad de electricidad. Estas

pilas de grandes placas son convenientes con particularidad para las esperiencias electro-magnéticas que se hacen siempre con conductores metálicos.

En las pilas de numerosas placas, para una superficie empleada, la pila suministra menos electricidad en los dos polos; pero la electricidad que llega á ellos habiendo atravesado ya una serie numerosa de conductores es por lo mismo mas propia para pasar al través de nuevos conductores. Estas pilas son por eso mas útiles para las descomposiciones químicas, que se operan siempre sobre conductores imperfectos; son tambien mas favorables para los fenómenos caloríficos, supuesto que se emplean entonces hilos delgados que pueden asimilarse á conductores imperfectos.

Continuando en producirse la electricidad, aumenta á cada instante su cantidad en las canales de los extremos hasta cierto término que constituye el máximo de tension de la pila. Para concebir este fenómeno de tension es preciso reflexionar que la electricidad de las canales extremas no está aislada en ellas; tiende á volver á la pila que le ofrece un conductor, siguiendo la direccion inversa de la anterior; se propaga mal porque la pila es conductor imperfecto, pero tanto mejor cuanto mas fuerte es la carga de las canales extremas; yendo esta siempre en aumento, llega el maximum cuando la pérdida por la vuelta de las corrientes compensa la cantidad de electricidad acumulada en los polos por la accion química.

La presencia de dos metales no es absolutamente indispensable para la construccion de una pila, pero es la circunstancia mas favorable porque ofrece á la corriente dos escelentes conductores: dos placas del mismo metal serian igualmente atacadas y darian origen á dos corrientes en sentido inverso cuyos efectos se destruirian mutuamente; si los dos metales son diferentemente atacables, solo se deja percibir la corriente mas fuerte, pero está realmente disminuida y señala el efecto de la corriente mas débil; tambien la pre-

sencia de un metal inatacable que solo desempeñe las funciones de conductor da efectos mas marcados. Para formar una cadena galvánica se colocan los metales en el orden siguiente, y la corriente es tanto mas enérgica cuando está producida por los dos metales mas separados en la serie: grafito, platino, oro, plata, mercurio, plomo, cobre, estaño, hierro, zinc.

A medida que una pila obra disminuye su energia, porque el líquido forma nuevos productos que por una parte hacen desaparecer cierta porcion de la sustancia conductriz, y por otra á los nuevos principios compuestos como conductores acompañan propiedades diferentes. En la pila de zinc y cobre alimentada por un líquido ácido cierta parte de cobre metálico es transportada sobre el zinc opuesto, y este se halla colocado entre dos capas de cobre, de donde resultan corrientes en sentido inverso que se destruyen mas ó menos. La accion es mas duradera cuando cada metal se coloca en una casilla, y se disuelven los depositos al paso que se forman ó se emplean líquidos que no los pueden producir. Mr. Becquerel ha obtenido excelentes resultados interponiendo una solucion de nitrato ó de sulfato de cobre, en la canal cobre, y otra de sulfato de zinc y mejor de sal marina en la canal zinc. Mr. Peclet ha modificado despues la construccion de esta pila de la manera siguiente, *fig. 269*. Una canal ó caja de cobre *c c c* lleva á su lado otra pequeña que comunica con la principal un diafragma lleno de agujeros: un saco estrecho *s s s* hecho con una membrana de piel ó de tela fuerte está colocado en el centro de la caja, y en el saco se mete una placa de zinc *z z z* doblada en su parte superior de modo que pueda ponerse en contacto con la canal de cobre próxima en *i i*: se multiplican á voluntad los sistemas para tener pilas mas ó menos fuertes. Se vierte en el saco una disolucion saturada de sulfato de zinc, y en la canal de cobre otra disolucion saturada de sulfato de cobre; y para que se entretenga en este estado se ponen cristales de sulfato de cobre en las cajitas laterales. Una pila semejante

conserva por mucho tiempo la igualdad de acción, y su energía es por lo menos comparable á la de una pila ordinaria cargada con un líquido ácido. Mr. Becquerel ha visto bajo la influencia de la corriente que produce quedar desviada la aguja del galvanómetro una cantidad absolutamente igual por mas de una hora. Estas pilas han recibido el nombre de pilas de corriente constante; tienen una energía grande, porque la corriente es producida no solo por la acción de los líquidos sobre los metales, sino tambien por la de los mismos líquidos entre sí; de donde resulta segunda corriente en el mismo sentido que la primera.

EFFECTOS FÍSICOS DE LA PILA.

Una corriente eléctrica que pasa al través de un conductor eleva su temperatura, y el calor que se produce parece ser debido á la resistencia que la electricidad experimenta en su tránsito. Children ha demostrado, en efecto, que los metales peores conductores son los que mas se calientan.

Las pilas formadas por gran número de pares son las mas propias para este género de experiencias.

Las experiencias mas curiosas sobre el desenvolvimiento del calor por las corrientes son debidas á Children, que operaba con una pila de 21 pares que presenta la superficie total de 32 pies: todos los metales han sido fundidos con ella; un hilo de platino de mas de cinco pies de longitud y de $\frac{1}{100}$ de pulgada de espesor fué tenido al rojo blanco en toda su estension; y una barrita del mismo metal de dos líneas laterales y dos pulgadas de longitud entró en fusion.

Davy ha obtenido un fenómeno de incandescencia, cuya vivacidad solo puede ser comparada á la del sol, haciendo desprender en el vacío la corriente formada por una pila enérgica. Una

vasija de vidrio, *fig. 249*, dispuesta de modo que pueda hacerse en ella el vacío recibe dos barritas metálicas *t t'* que pasan en tubos de cuero que permiten aproximarlas hasta el contacto ó alejarlas á voluntad; se une al extremo de cada barra un pequeño cono de carbon fuertemente calcinado y apagado en el mercurio. Despues de haber hecho el vacío en el aparato se aproximan las dos puntas de carbon casi hasta el contacto, y se hace pasar por ellas la corriente; una luz brillantísima se manifiesta entre las puntas, y separando poco á poco las barras se obtiene un hazecillo chispeante de luz que llena todo el aparato.

Las corrientes eléctricas pueden producir la imanacion de los cuerpos magnéticos. Cuando un hilo conductor es atravesado por una corriente adquiere la propiedad de atraer el hierro, y la pierde al punto que cesa la corriente. Doblando un hilo de acero en hélice al rededor de un tubo de vidrio, colocando segun el eje de este tubo una barrita de acero que ocupe toda su longitud, basta para imanarla hacer pasar una corriente por la hélice durante algunos instantes. Los polos del iman se forman siempre en tal direccion, que un observador tendido en cualquier espira de la hélice, y mirando á la barra de acero, el polo austral se formará á su izquierda siempre que la corriente le entre por los pies. El hierro dulce puede tambien ser imanado por las corrientes, pero como no tiene fuerza coercitiva, la imanacion es pasajera. Se han construido por este medio imanes de gran potencia. Se envuelven las dos canillas de hierro dulce, *fig. 271*, con las espiras de un conductor metálico forrado de seda. Cuando una corriente pasa al conductor, el hierro tiene las propiedades del iman, pero las pierde al punto que la corriente es interrumpida. En esta accion se ha fundado la construccion de las máquinas de fuerza en las que la fuerza motriz consiste realmente en la accion alternativa producida por estos imanes pasajeros.

Los imanes pueden á su turno producir corrientes eléctricas.

Un imán que está en reposo con relacion á un conductor no manifiesta accion sobre este, pero si se aproxima ó se aleja de él, se produce una corriente al punto: si el imán se aproxima, la corriente que atraviesa el conductor va en sentido inverso de la que hubiera podido dar á un pedazo de acero la disposicion magnética que pertenece al imán. La corriente es directa, es decir, en sentido contrario del precedente, cuando la distancia del imán al conductor viene á aumentar. Para demostrar esta accion de los imanes, se usan varios aparatos; uno de ellos consiste en una canilla *a*, *fig. 270*, al rededor de la cual está arrollado en espiral un largo hilo metálico cubierto de seda; las dos estremidades del hilo estan unidas al galvanómetro. Sumergiendo en la canilla un hazecillo imanado *b* se ve á la aguja ponerse en movimiento, y que toma un movimiento contrario cuando el imán se retira. Un montante de hierro es cubierto por numerosas vueltas que le da un hilo conductor rodeado de seda; un fuerte imán de forma de herradura colocado inferiormente puede recibir movimiento de rotacion que le aprósima ó le separa resultando de esto una corriente en el hilo conductor, que facilmente será demostrada por el galvanómetro; pero cuando se imprime un movimiento de rotacion continuo al imán la corriente es bastante poderosa para manifestarse por una serie de chispas ó por la descomposicion del agua: bien entendido que las corrientes que se suceden, unas son directas y otras inversas, pues que el imán se separa y se aproxima sucesivamente.

Una corriente que atraviesa un hilo conductor origina otra corriente en otro hilo próximo; esta nueva corriente que toma el nombre de *corriente por inductacion* se manifiesta en el momento en que la corriente eléctrica comienza á atravesar el hilo próximo, y en el momento en que cesa. La corriente que principia da origen á otra corriente por inductacion en el mismo sentido; la que acaba produce otra por inductacion en sentido contrario.

Las corrientes que atraviesan los conductores ejercen entre sí

los fenómenos de atracción ó de repulsión: 1.º Dos corrientes paralelas se atraen si son dirigidas en igual sentido; se desechan ó repelen cuando son dirigidas en sentido contrario: 2.º El efecto es igual entre una corriente recta y otra sinuosa, puesto que las sinuosidades se separen poco del paralelismo: 3.º En las corrientes que no son paralelas se llama cruzamiento el punto en que se encuentran ó el de su mayor aproximación. En las corrientes cruzadas hay atracción entre las partes que van acercándose ó alejándose una y otra del punto de cruzamiento, y repulsión entre las partes que van una alejándose y otra aproximándose á dicho punto. Dos corrientes cruzadas tienden siempre á hacerse paralelas para marchar en el mismo sentido.

Se concibe muy bien que estas atracciones y repulsiones pueden ser fácilmente apreciadas con aparatos que dejan toda movilidad á los conductores atravesados por las corrientes; y que de esto resulta en ciertas circunstancias un movimiento de rotación.

Propiedad importante es la que presenta un sistema de pequeñas corrientes cerradas, iguales y equidistantes, que tienen todos sus centros dispuestos sobre una línea recta ó curva: realizado este sistema se llama *solenoides* ó cilindro electro-dinámico; se le obtiene contorneando un hilo como se ve en la *fig. 272*, de modo que se obtengan círculos paralelos entre sí separados por pequeñas líneas rectas, perpendiculares á su eje *ab*, y conduciendo la estremidad del hilo segun *cd*, de modo que tenga la misma dirección que el eje del solenoide. Cuando una corriente pasa al través de semejante hilo los efectos de *ab* y de *cd* se destruyen mutuamente, pues que la corriente los recorre en sentido contrario, y solo quedan los efectos de las corrientes circulares. Se reemplaza cómodamente el solenoide por un hilo conductor rodeado de seda y formando una espiral continua, y se hace volver el hilo en línea recta segun el eje. Este hilo recto neutraliza el efecto de la oblicuidad de cada vuelta de la hélice.

Cuando un solenoide está libremente suspendido, y es atravesado por una corriente, cada una de las corrientes circulares tiende á colocarse perpendicularmente al meridiano magnético: el eje del solenoide se comporta como si fuera una aguja imanada libremente suspendida. El lado que se halla al norte es aquel por donde la corriente ascendente está á la derecha del observador que mira de frente uno de los anillos circulares, y la corriente que se dirige hácia el sur es aquella por la que el lado ascendente se halla á la izquierda del observador; por lo demas las estremidades opuestas del solenoide son atraídas y desechadas por un iman así como una aguja imanada.

Estas propiedades de los solenoides han conducido á una teoría del magnetismo diferente de la que hemos espuesto. En esta teoría cada molécula se supone que está rodeada de corrientes eléctricas que la circundan en todos sentidos; un iman es un hazecillo formado por filetes de tales moléculas paralelas á su eje. En una misma seccion perpendicular á este eje todos los circuitos particulares pueden ser representados por uno solo circular, y todos los filetes perpendiculares pueden considerarse como formados de cercos que marchan en el mismo sentido y paralelos entre sí; esto es precisamente el solenoide. Que se corte por el medio uno de estos, *fig. 273 y 274*, cada una de las estremidades separadas formará un polo diferente y ejercerán la atracción uno sobre otro. No considerando en efecto mas que los dos últimos anillos, son recorridos por corrientes paralelas que marchan en el mismo sentido, y que por consiguiente deben atraerse; un solenoide dividido en dos dará pues dos imanes, así como los producirá un iman. La misma tierra puede ser considerada como un iman; la corriente terrestre será dirigida de este á oeste, y en todos lugares está en un plano perpendicular á la aguja de inclinación é interviene en todos los movimientos electro-dinámicos.

EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA PILA.

Tocando con los dedos mojados los conductores que comunican con los polos de una pila se percibe un sacudimiento, cuya energía depende un poco de la susceptibilidad nerviosa del observador, y mucho de la fuerza de la pila; este sacudimiento ó conmoción se hace sentir en el brazo, en el antebrazo y hasta en el pecho; su efecto pudiera ser funesto si proviniera de una pila compuesta de gran número de elementos. La corriente que pasa al través del cuerpo no obra en todas sus partes del mismo modo; cuando desciende por el trayecto de los nervios produce sacudimientos, y parece que ejerce poco efecto sobre la sensibilidad, mientras que cuando sube por los nervios hácia su punto de partida tiene una acción muy viva sobre la sensibilidad. Si, por ejemplo, se recibe la descarga de la pila al través de los dos brazos, el que está en comunicación con el polo positivo, y en el que por consiguiente la corriente sube por los nervios, experimenta una sensación dolorosa, mientras que el segundo es el sitio de sacudimientos sin dolores. Una corriente que puede tocar los nervios del ojo produce una sensación luminosa, la que atraviesa el conducto auditivo hace percibir cierto zumbido, de modo que todos los órganos de los sentidos pueden ponerse en actividad por las corrientes eléctricas.

Las numerosas experiencias hechas sobre los cadáveres ó sobre los animales vivos no dejan duda acerca de la energía de acción que puede resultar de obrar las corrientes sobre el cuerpo animal. Con una corriente bastante fuerte y convenientemente dirigida el doctor Ure ha dado casi la apariencia de vivos á algunos cadáveres: Wilson Philips ha restablecido la digestión suspendida en un conejo por la sección de los nervios que conducen el estómago, y se ha vuelto la vivacidad á animales asfisiados. De tales resultados

debía esperarse que el empleo terapeutico de las corrientes eléctricas seria favorable á la curacion de las enfermedades; y en efecto algunos casos de neurosis, de parálisis, de reumatismo han sido curados por este medio, pero se ha mostrado singularmente caprichoso, y los buenos sucesos han sido en corto numero. Los fisiologistas han querido establecer sobre la accion de las corrientes una explicacion de los fenómenos vitales. Mr. Matteuci ha visto en la electricidad el mismo fluido nervioso; Mr. Donné se ha figurado al cuerpo humano semejante á las pilas, ocupando los polos positivos los órganos que secretan humores ácidos, y los negativos los órganos que secretan líquidos alcalinos. Habiendo suministrado corrientes los vegetales cuando se les ha introducido en diferentes partes las dos estremidades del hilo de un galvanómetro, han podido ser aducidos estos hechos en apoyo de las teorías electro-vitales; pero á la verdad los fenómenos no se prestan á esas esplicaciones, y tarde ó sin duda jamás conseguiremos hallar la esplicacion del fenómeno de la vida.

Ciertos seres organizados, plantas ó animales, estan provistos de aparatos que producen electricidad: entre las plantas deben contarse algunos *bispos*, entre otros el fosforeo que es fosforescente. Se halla igual propiedad en las hojas membranosas de la superficie interior del agárico del olivo; la fosforescencia se manifiesta cuando esta seta comienza á crecer, y dura muchas noches consecutivas. El topin cucujo, tan comun en América meridional, tiene á cada lado del corcelete una mancha amarilla que por la noche es bastante brillante para que pueda leerse á su luz cualquier escrito. Los indios ponen muchos de estos insectos en su calzado para alumbrarse en sus viages nocturnos. El gusano de luz de Europa ó luciérnaga es bien conocido por su fosforescencia; esta propiedad reside en ciertas manchas situadas sobre los tres últimos anillos del abdomen, es un órgano que Macuario ha hallado compuesto de fibrillas ramificadas y entrelazadas. Si se corta la cabeza á una luciérnaga, se sumerge

un conductor metálico hasta cerca de las manchas y se hace pasar por él una corriente, al punto aparecerá una viva luz. El origen eléctrico de estos resplandores fosforescentes se ha hecho aun mas cierto por las observaciones que Mr. Ehreaberg ha practicado sobre los infusorios y los anélidos que hacen al mar luminoso. El resplandor difuso que despiden estos animales se ha manifestado al microscopio formado por la reunion de multitud de chispitas que parten de todos los puntos del cuerpo del animal. Ciertamente la fosforescencia de la madera podrida y de otras materias orgánicas en descomposicion no tiene otro origen.

Entre los pescados hay un corto número de ellos que poseen un órgano eléctrico, que les sirve de medio de ataque y de defensa al mismo tiempo. Estos animales son el *torpedo*, el *tetrodon eléctrico*, el *siluro eléctrico* y la *gimnota eléctrica*; este último es el mas poderoso de todos, es un anguila grande de 5 á 6 pies de longitud, cuyo tercio ocupa el órgano eléctrico. Todos estos pescados eléctricos tienen de comun su piel blanda y barnizada de un mucus viscoso mucho mas conductor que el agua. El órgano eléctrico ha sido estudiado por los anatomistas y los físicos, que le han hallado compuesto de espacios membranosos llenos de una materia gelatinosa, en la que se reunen multitud de nervios. No se ha podido explicar de una manera satisfactoria cómo se carga este aparato de electricidad, ni cómo puede descargarse á voluntad del animal. La gimnota, mas poderosa que todos los demás, puede llegar á herir su presa á distancia, al través del agua y en la direccion que quiera el animal: el torpedo ó trimielga, menos vigoroso, solo obra al contacto. Las descargas pueden sucederse con rapidez, pero pronto queda fatigado el animal, necesita de reposo y de abundante alimento para rehacerse: los torpedos son comunes en el mediterraneo, sobre todo en el adriático; y los pescadores conocen luego su presencia en las redes por las descargas que reciben al tiempo de sacarlas: las gimnotas abundan en las rios de América meridional principalmente

en el Orinoco y sus afluentes. Mr. de Humboldt refiere que se vió precisado á cambiar de direccion al atravesar la vadera de un arroyo, porque las gimnotas ocasionaban todos los años la muerte á muchos mulos en aquel sitio, no por que la descarga de una de ellas sea suficiente para matar á un mulo, sino porque le trastorna y perece despues ahogado. La mano armada recibe mas daño de la descarga eléctrica de los animales indicados, que sola é inerte: los cuerpos no conductores interrumpen la accion que puede por otra parte utilizarse para producir una corriente, la imanacion de las agujas y aun chispas eléctricas.

EFECTOS QUIMICOS DE LA PILA.

Las corrientes eléctricas destruyen todos los compuestos químicos, y los componentes son transportados á los dos polos de la pila. La primera observacion de este género ha sido hecha por Carlisle y Nicholson, que vieron al agua descomponerse bajo la accion de una corriente, dirigiendose su oxígeno al polo positivo, y el hidrógeno al negativo: los Sres. Gay-Lussac y Thenard han inventado despues un aparatito cómodo para producir esta descomposicion, se reduce á un embudo truncado, *fig. 275*, cuyo extremo inferior está cerrado por un tapon barnizado que atraviesan dos hilos de platino. Los extremos interiores de los hilos van á parar dentro de dos pequeñas campanas ó probetas llenas de agua, á cada una uno; los extremos exteriores estan en comunicacion con los respectivos polos de una pila en accion. Se producen los dos gases y se separan en las campanas hallándose un volúmen de oxígeno en el polo positivo, y dos volúmenes de hidrógeno en el negativo. La descomposicion de las sales por la pila hace tambien evidente el fenómeno de transporte: la esperiencia se verifica con facilidad en un tubito en forma de sifon: poniendo en él una solucion de sulfato de

sosa, por ejemplo, colorada por la violeta, y sumergiendo los dos conductores de una pila en la solución, se observará que el ácido va al polo positivo, y hace pasar el color al rojo, el álcali al negativo enverdeciendo por lo contrario el color. Si se usa el aparato de la *fig.* 268 ó el de la 276, puede ejecutarse el transporte de un vaso á otro. La comunicacion entre los tubos se establece entonces con una mechita de amianto, ó con un tubo pequeño lleno de agua. Las partículas transportadas por la corriente atraviesan la serie de vasos para llegar cada una al polo que la solicita, y no se detienen, á no ser que encuentren en el camino algun agente que pueda transformarlas en compuesto insoluble, como si la barita hallase en el tránsito al ácido sulfúrico, ó vice versa.

Muchas teorías han sido espuestas sucesivamente para explicar la descomposicion y el transporte de los elementos bajo la influencia de las corrientes, y ninguna satisface completamente; solo referiremos la dada por Mr. Delarive, enteramente hipotética, pero que por esto mismo tiene la ventaja de no poder ser apreciada mas que como hipótesis. Para Mr. Delarive las corrientes están dotadas de afinidad para con las moléculas químicas, destruyen los compuestos químicos por efecto de aquella afinidad, y se llevan consigo las moléculas, por ejemplo: cuando una corriente atraviesa el agua, la corriente positiva toma hidrógeno y lo lleva consigo, y la negativa el oxígeno arrastrándolos, digamoslo así, en su marcha. Mientras la corriente atraviesa un conductor líquido puede transportar con él las moléculas; pero cuando llega al polo metálico, la corriente sola puede introducirse y depositar las moléculas materiales. El oxígeno ha sido transportado así al polo positivo, y el hidrógeno al polo negativo de la pila.

Se deben á Mr. Faraday algunas observaciones generales sobre el poder descomponente de las corrientes:

1.^a Una corriente tiene un poder químico en relacion con la cantidad absoluta de electricidad, de tal modo, que la cantidad de

materia descompuesta depende de la cantidad absoluta de electricidad que se ha hecho pasar:

2.^a Una misma corriente destruye proporciones químicas semejantes de compuestos muy diferentes: es importante notar que la relacion consiste aqui no en el peso de la materia descompuesta, sino en el número de equivalentes químicos destruidos. Por ejemplo, una misma corriente destruye una proporcion de agua (112,26), una proporcion de ácido hidrocórico (452,13) y una proporcion de nitrato de barita (1634) &c. (*)

3.^a La cantidad química destruida por una corriente es igual á la cantidad química producida por la misma corriente, de modo que la corriente, que produce una proporcion de zinc disolviendose, descompone precisamente una proporcion química de agua, de un óxido, de un ácido ó de una sal.

Las corrientes que tienen un origen químico comun, y por consiguiente una potencia química semejante, tienen sin embargo diferente intensidad física. Las corrientes que provienen de la dissolution de una proporcion de zinc ó de cobre obran con igual potencia sobre las combinaciones, pero están lejos de tener una accion igual sobre la aguja imanada; el zinc produce una corriente mas fuerte que la del cobre. Esto conduce á la misma consecuencia deducida ya del paso de las corrientes al través de los conductores, á saber: que hay corrientes de diferentes naturalezas.

Puede establecerse que, puesto que se coloquen en circunstancias convenientes, todos los compuestos químicos son destruidos por la pila, y sus elementos conducidos á los polos contrarios; pero esta accion principal es acompañada de fenómenos secundarios que dan origen á productos nuevos. Cuando, por ejemplo, el conductor que ocupa el polo positivo es oxidable, casi siempre acontece que el

(*) Es preciso tener presente lo que se entiende por proporcion ó equivalentes químicos.

oxígeno se combina con él; con un conductor de hierro se produce óxido de este metal, y con un conductor de carbon, ácido carbónico ú óxido de carbono.

Haciendo pasar una corriente al través de una solución débil de acetato de potasa, en vez de obtener ácido acético y oxígeno en el polo positivo, é hidrógeno y potasa en el negativo, se desprende en el primero ácido carbónico y óxido de carbono, y en el segundo hidrógeno carbonado. Estos fenómenos pueden utilizarse como se verá despues para facilitar ciertas descomposiciones, ó producir combinaciones nuevas.

Reduccion de óxidos. La pila reduce los óxidos metálicos yendo el oxígeno al polo positivo y el metal al negativo: la operacion se verifica bien solamente cuando se opera sobre óxidos fundidos ó liquidados, porque en este estado permiten la propagacion de la corriente. Los Sres. Berzelius y Pontin han demostrado que la presencia del mercurio en el polo negativo facilita singularmente la reduccion de los óxidos; se forma con el óxido humedo una capsulita ó cajita que se pone con mercurio sobre una placa de metal. Hallándose el polo positivo en comunicacion con la placa, á ella va el oxígeno; y sumergido el polo negativo en el mercurio, el radical del óxido se dirige á él y se amalgama.

Reduccion de los ácidos Los ácidos son descompuestos por la pila, pero se observan casi siempre fenómenos secundarios, que tienen su origen en la descomposicion del agua que acompaña á la de los ácidos; así el sulfuroso da lugar á la formacion de hidrógeno sulfurado que se dirige al polo negativo, y de ácido sulfúrico que va al positivo; el ácido nítrico débil produce oxígeno é hidrógeno, ácido nítrico fuerte, oxígeno y gas nitroso.

Descomposicion de las sales. Las sales son destruidas por la pila que transporta el ácido al polo positivo y la base al negativo.

El agua es descompuesta al mismo tiempo, y su hidrógeno reduce muchas veces el óxido á metal en el último polo, sin que pueda atribuirse tal efecto directamente á la pila. Se favorece singu-

larmente estas reducciones colocando en el polo negativo una corta cantidad de álcali, sosa ó potasa que precipita el óxido, y le presenta en estado naciente á la accion del hidrógeno. En un tubo de sifon, *fig* 277, Mr. Becquerel hace poner, por ej., un poco de arcilla pura *a a* amontonada y húmeda para llenar el fondo del tubo; en uno de sus brazos *p* pone sal marina disuelta, y en el otro *n* otra solucion de nitrato de cobre; se sumergen dos placas de este metal en los líquidos reunidas por un hilo *f*. Aquí concurren dos causas á formar la corriente: 1.^a La accion de la solucion del nitrato sobre la sal marina; el nitrato de cobre toma la electricidad positiva que pasa por el cobre sumergido, y va á formar el polo positivo en *p*: 2.^a La segunda corriente está en el mismo sentido, y proviene de que la lámina sumergida en la sal marina es mas atacada que la otra. El fluido negativo será recibido por el metal que le transmite de *p* á *n*, y el fluido positivo va de la disolucion de la sal á la de cobre, y de aquí atraviesa el metal para venir á parar de *n* á *p*. La sosa de la sal marina, que se dirige al polo negativo *n*, precipita en él óxido de cobre reducido sucesivamente por el hidrógeno, habiendo sido bastante para la descomposicion una fuerza muy débil. Mr. Becquerel ha reducido el hierro al estado metálico por medio de otra disposicion análoga: en un vaso de vidrio que contiene agua se introducen dos tubos rectos, abiertos, llenos en el fondo de arcilla húmeda; se pone en uno de los tubos una solucion de sal marina, en el otro otra de cloruro de hierro, y en cada una de estas soluciones se sumerge una lámina de platino que esté en comunicacion con una pila de cuatro ó cinco pares; aun aquí facilita la sosa en el polo negativo la reduccion del óxido de hierro por el hidrógeno. Mr. Becquerel ha conseguido ademas por análogos procedimientos separar el magnesio, el zirconio, el cromo &c.

Cuando se pone una lámina de metal en una disolucion salina, á veces el metal disuelto es precipitado en estado metálico, y

reemplazado por el sumergido: y en general los metales que tienen mas afinidad con el oxígeno precipitan de su disolución á los que la tienen menor.

Las sales cuyas disoluciones no son reducidas por los metales son las que tienen por base óxidos terreos ó alcalinos, y las de manganeso, zinc, hierro, cromo, cobalto, cerio, urano, titano, níquel.

Las sales de plata, de paladio, rodio, platino, oro, osinio y de iridio son reducidas por el hierro, el zinc, el manganeso, el estaño, el antimonio, el arsénico, el bismuto, el plomo, el cobre, el telurio y el mercurio.

Las sales de mercurio son reducidas por el zinc, el manganeso y los metales que les siguen en la série precedente; el acetato de plomo es reducido por el cobre, y el nitrato de plata por el cobalto.

En la série siguiente, indicada por Berzelius, cada metal es reducido por los colocados despues: oro, plata, mercurio, bismuto, cobre, estaño, zinc.

La accion comienza por la afinidad mas fuerte del metal precipitante que quita el oxígeno al disuelto, le sustituye y le separa en estado metálico: á esta primera accion química y molecular sucede bien pronto otra mucho mas viva que proviene del fenómeno voltáico resultante del depósito de metal precipitado sobre el precipitante: se halla pues así realizada la circunstancia de dos metales diferentes en un líquido que ejerce distinta accion sobre cada uno de ellos: el metal precipitante mas fuertemente atacado llega á ser el polo positivo de una pila en la que forma el otro polo el metal precipitado; el oxígeno que proviene de la descomposicion del agua, y el ácido que proviene de la descomposicion de la sal, van al polo positivo en donde oxidan y salifican al metal precipitante, al paso que el hidrógeno del agua y el óxido que servia de base á la sal son conducidos al polo negativo, y el primero reduce al se-

gundo verificándose el depósito de nueva cantidad de metal. Suspendiendo en un frasco lleno de acetato de plomo disuelto un trocito de zinc unido con hilos de cobre, que se introducen en el líquido en muchas direcciones, el plomo reducido se separa en laminillas cristalinas que se depositan simulando una vejecación, que habia recibido de los antiguos el nombre de árbol de Saturno; llamaban árbol de Diana al depósito metálico producido por el mercurio en el nitrato de plata. En este caso el metal depositado es una liga de plata y mercurio. (Para el árbol de Saturno puede emplearse un alambre de latón retorcido, y que afecte la forma de las ramas vejecales.)

Davy habia concebido el proyecto de sustraer á la acción destructiva del agua del mar el cobre que guarnece las naves: este metal es atacado por el agua salada, el oxígeno y el cloro que provienen de la descomposición del agua y del cloruro sódico, se dirigen sobre él y le corroen formando óxido y cloruro de cobre. Davy propuso unir á las chapas de los buques un metal oxidable, como el zinc, el hierro ó la fundición: desde este momento el cobre llegaba á hacerse negativo; el cloro y el oxígeno se dirigian al otro metal, y solo el hidrógeno y las bases alcalinas ó térreas quedaban en el polo negativo ocupado por el cobre. La esperiencia ha demostrado muy pronto que no debia emplearse una gran superficie de metal positivo; de lo contrario la cal y la magnésia se incrustaban en abundancia sobre el cobre, y se convertian luego en madriguera de animales y de vejecales marinos que entorpecian la marcha de la nave. Davy creia que el metal positivo solo debia ocupar $1/150$ de la superficie total; y estas esperiencias que ofrecian el mayor interés no han sido continuadas despues de su muerte.

La gálvano-plástica es un arte nuevo en el que se fabrican medallas y bajos relieves, determinando un depósito de cobre sobre moldes por medio de una corriente eléctrica. El metal se deposita con

tal perfeccion, que los numerosos detalles del molde quedan reproducidos exactamente. Se usa con ventaja un molde de metal, pero puede ser de yeso, tierra, azufre, ó cera; los moldes de estearina son, segun Jacobi, los que ofrecen mas perfeccion. La superficie de los moldes no conductores debe hacerse conductriz frotándola con un poco de cobre en polvo fino, ó mejor con plumbagina tambien perfectamente pulverizada. Hay distintos modos de producir la precipitacion: indicaremos aquí uno de ellos.

Un molde de metal *m*, *fig.* 278, se halla colocado en el fondo de un vaso de vidrio *V*, y unido á un hilo *f* que sale del líquido: se tiene cuidado de barnizar de cera el hilo conductor y toda la parte del molde que no se quiera cubrir por el depósito de cobre. Se vierte una disolucion de sulfato de cobre en el vaso *V*, y se suspenden cristales de la misma sal para entretener la solucion saturada: entonces se introduce un cilindro de vidrio *V'* cerrado por bajo con una vejiga *v*, se pone en él una solucion de sal marina y una lámina de zinc *z* suspendida al hilo de cobre *f'*, se reunen los dos hilos conductores y la accion comienza; determina un depósito de cobre sobre el molde, y despues de tres ó cuatro dias puede separarse la medalla formada.

Determinando el depósito de cobre sobre una placa en la que se habia hecho cierto dibujo en relieve con un color compuesto de óxido de hierro y de esencia, Mr. Kobell ha obtenido láminas que dan á la impresion pruebas que imitan los dibujos de aguada mas bien sombreados.

M. Delarive ha aplicado la electroquímica al dorado. Un vaso cerrado con una vejiga contiene una disolucion de oro, y se halla sumergido en otro vaso con agua ligeramente acidulada: una lámina de zinc y el objeto que se ha de dorar bien limpio se ponen en comunicacion por medio de un hilo conductor; despues el zinc será introducido en el agua acidulada, y el objeto que se ha de dorar en la disolucion de oro. Despues de uno ó dos minutos se se-

para á este último, se le frota con cuidado y es sumergido de nuevo; despues de tres ó cuatro inmersiones se halla ya cubierto de una capa de oro suficiente. (*)

Algunos físicos, y principalmente Mr. Becquerel, han utilizado los fenómenos secundarios que se producen por la acción de la pila para conseguir combinaciones muy variadas, algunas de las cuales no han podido ser obtenidas aun por los procedimientos ordinarios: solo referiremos algunos ejemplos de estas reacciones. Cuando un conductor atraviesa una disolución de nitrato de plomo, se deposita en el polo positivo de la pila una corta cantidad de óxido rojo de plomo: operando con una disolución de nitrato de plata, el hilo que conduce la electricidad positiva se cubre de agujas cristalinas formadas por peróxido de plata. Si se añade un poco de arsénico á la estremidad del conducto negativo, el hidrógeno se combina con el arsénico y produce un compuesto sólido de arsénico y de hidrógeno.

Mr. Becquerel ha obtenido el protóxido de cobre cristalizado reduciendo el nitrato del mismo metal por una corriente eléctrica muy débil. En una probeta, *fig* 279, ha puesto una disolu-

(*) Mr. Dumas ha dado noticias estensas á la Academia de ciencias de París sobre los procedimientos de los Señores Elkington y Ruolz para dorar, platear y cubrir de una capa metálica de platino, cobre, zinc &c. á objetos y utensilios diferentes de hierro, acero, latón y otros metales.

Segun aquel sábio físico, empleando Ruolz la pila de corriente constante, despues de numerosos ensayos da la preferencia para el *dorado* á un sulfuro de oro disuelto en sulfuro de potasio neutro, para el *plateado* el cianuro arjéntico disuelto en cianuro potásico, á para el *platinado* al cloruro doble de platino y de potasio disuelto en potasa cáustica, y asi otras sales para los demas barnices metálicos el objeto que se ha de barnizar se pone en contacto con el polo negativo.

El método de Ruolz basado en el de Elkington ofrece á las artes y al lujo productos equivalentes á los objetos de oro, plata, platino, &c.

ción de nitrato de cobre mezclada con óxido también de cobre; por el reposo se han formado dos capas, una inferior del óxido humedecido con parte de la disolución, otra superior formada por la solución transparente de nitrato de cobre: sumergida una lámina de cobre al mismo tiempo en ambas capas, se produjo en la primera lentamente subnitrato de cobre por la acción del óxido sobre el nitrato neutro. El contacto de dos líquidos diferentes produjo una corriente muy débil, pero suficiente para el transporte del deutóxido de cobre y del hidrógeno al polo negativo; y para la reducción parcial de este óxido el protóxido se deposita pues en cristales sobre la parte superior de la lámina metálica.

Mr. Becquerel piensa con razón que la acción de las corrientes débiles y continuas concurre activamente á la formación de gran parte de los compuestos minerales que nos ofrece la naturaleza; en efecto, para que se establezcan algunos fenómenos de descomposición de transporte y de reducción basta que se hallen en presencia tres cuerpos diferentes, de los cuales uno por lo menos sea líquido, y otro bastante conductor para sustraer los fluidos eléctricos de su combinación inmediata. Se comprende bien que estas circunstancias deben hallarse realizadas muchas veces.



LUZ.

Dos teorías han sido aplicadas á los fenómenos referentes al estudio de la luz, á saber: la de la emision y la de las ondulaciones. La teoría de la emision debida á Nevvton, y seguida todavia por ilustres físicos, consiste en mirar á la luz como un cuerpo escesivamente sutil, lanzado del sol, de los astros, y de todos los cuerpos luminosos, y que atraviesa el espacio con escesiva velocidad: la sensacion de la vision ó vista es producida por ese fluido que penetra al través del ojo hasta la retina. La teoría de las ondulaciones, adoptada primero por Descartes, es al presente casi generalmente admitida: segun esta teoría el espacio está lleno de un fluido muy sutil que toma el nombre de éter; los cuerpos luminosos le ponen en movimiento, y sucesivamente se comunica este movimiento á los demás cuerpos; su accion sobre el ojo produce la vision. Nos serviremos aqui de la teoría de la emision como mas sencilla y cómoda para la esposicion de las propiedades mas usuales de la luz, únicas de que se tratará en esta obra.

OPTICA.

El nombre de óptica se emplea para espresar todo lo que tiene relacion con el estudio de la luz, pero es aplicado especialmente al estudio de la marcha de la luz en línea recta.

La luz camina en línea recta. Es bien sabido, en efecto que cuando entre un objeto y el ojo se halla situado un obstáculo, aquel objeto deja de ser visible. Este conocimiento de la direccion de la luz en línea recta sirve para determinar exactamente la posicion de cualquier objeto: por ejemplo, cuando un cazador tiene el ojo fijo en la direccion de su escopeta, la pieza de caza percibi-

da por él á lo lejos se halla exactamente en la misma direccion que el cañon: el rayo luminoso que conduce la sensacion ha recorrido pues una línea recta para llegar hasta el ojo.

La luz camina cerca de 80,000 leguas por segundo. Nos viene desde el sol en 8 minutos y 13 segundos, desde Saturno tarda una hora y 18 minutos: la luz de las estrellas mas cercanas nos llega despues de mas de tres años; otras hay de tal modo lejanas, que emplea su luz algunos millares de siglos para recorrer el espacio que las separa de nosotros.

Ræmer ha podido determinar la velocidad de la luz de la manera siguiente: la tierra *t*, *fig.* 280, recorre en un año su orbita al rededor del sol; de todos los puntos puede verse á Jupiter con su satélite *s*; este en su movimiento entra y sale alternativamente de la sombra del planeta. Hay un intervalo de cuarenta y dos horas y media entre dos emersiones consecutivas en *e*, ó entre dos inmersiones consecutivas del satélite en *i*: observada una de ellas, se puede calcular exactamente á qué hora se verificará la otra, y si despues de haber observado del punto *a*, se ha e una nueva observacion desde *b*, se nota que la emersion del satélite se ha retardado; si por el contrario se ha hecho la primera observacion cuando la tierra está en *d*, la inmersion observada despues en *c* se hallará adelantada con respecto al cálculo. La diferencia proviene de que la luz que aparece en *e* tarda mas tiempo para llegar á *b* que á *a*, y necesita menos para llegar de *i* á *c* que de *i* á *d*. Pues como la distancia de *a* á *b*, de *d* á *c* es conocida, fácil es calcular la velocidad de la luz.

Un punto luminoso lanza rayos de luz en todas direcciones, fig. 281. Emanan de él á cada instante multitud de rayos divergentes; uno solo de estos rayos es muy débil para ser sensible; la reunion de muchos forma un hazecillo cónico, *fig.* 281, que lleva el nombre de pincel cuando es muy pequeño, y el de hazecillo cuando es mas considerable. Aunque un hazecillo de luz sea siempre

esencialmente cónico, cuando viene de muy lejos, de los astros, por ejemplo, la divergencia es tan débil, que sin inconveniente se podrán considerar sus rayos como paralelos.

Un hazecillo de luz que cae sobre un obstáculo forma en él una imagen luminosa, cuya magnitud y vivacidad varían en razón inversa una de otra: en efecto, á medida que se aleja del punto de partida, los rayos mas separados forman una imagen mas estendida, pero iluminada con luz menos viva, cuya intensidad disminuye en razón del cuadrado de la distancia: esta disminucion de luz á medida que se aleja el punto luminoso nos explica porqué vemos menos distintamente los objetos lejanos, y porqué hasta dejamos de verlos cuando su distancia es muy grande. El momento en que deja de verse un cuerpo, depende de su luz original y de su color; los colores vivos, como el blanco, el rojo, el amarillo se ven de mas lejos, tambien las superficies pulimentadas que reflejan mucho la luz. La sensibilidad de cada uno tiene tambien influencia sobre el resultado: hay personas á quienes ofende una luz viva, que ven distintamente con luz mas débil; en este caso se hallan los animales nocturnos; los buhos, los gatos tienen una membrana que cierra á voluntad la abertura del ojo, y mide la cantidad de luz que debe penetrar en él.

Un cuerpo luminoso está compuesto de multitud de puntos luminosos, de donde parten á cada instante rayos en todas direcciones, *fig. 282*; estos rayos se cruzan, pero sin perjudicarse en su marcha. La imagen que viene á formarse sobre un plano opaco ó pantalla colocada delante de un cuerpo luminoso, es formada por la reunion de los hazecillos de luz que llegan sobre esta pantalla en las direcciones mas diferentes; se demuestra esta marcha simultanea de los rayos luminosos por la esperiencia siguiente, *fig. 283*: tres hazecillos de luz vienen á atravesar la abertura de una pantalla *e*, y caen sobre un plano *p p* colocado á alguna distancia; uno de estos hazecillos *r* está formado por la luz roja, otro *b* por la luz

blanca, otro tercero *j* por la amarilla; se cruzan todos al paso de la abertura, y van á formar sobre el plano *p* imágenes distintas; *j* amarilla, *b*^c blanca, *r*^c roja. Si muchas personas pueden ver á un mismo tiempo un objeto, asistir reunidas á cualquier espectáculo, es porque de todos los puntos de estos objetos parten rayos de luz en todas direcciones, y el ojo de cada observador recibe necesariamente alguno de los hazecillos luminosos. Haciendo entrar un rayo solar en una cámara ó cuarto por un pequeño agujero, se produce una imagen redonda, porque la abertura recibe como rayos extremos los que son lanzados oblicuamente por el borde del astro; por la misma razon bajo de un árbol copetudo los rayos que pueden penetrar trazan en el suelo una imagen redonda del sol si son perpendiculares, elíptica si caen oblicuamente.

Colocado un obstáculo delante de un hazecillo luminoso, impide á este pasar, y resulta una sombra que ocupa el espacio que hubiera sido ocupado por el hazecillo luminoso interceptado; por consiguiente la sombra así como la luz aumentará según la ley del cuadrado de las distancias.

La forma de la sombra depende de la magnitud relativa del cuerpo que da luz y del alumbrado; si su magnitud es la misma, *fig.* 284, la sombra tiene la latitud del obstáculo y es muy prolongada; si el cuerpo luminoso es mas pequeño que el obstáculo, la sombra tiene la forma de un cono truncado, *fig.* 285; tal es la sombra de la tierra formada por la luz de la luna; si el cuerpo luminoso es mayor que el obstáculo, la sombra es un cono, *fig.* 286, tal es la sombra de la tierra alumbrada por el sol.

Un obstáculo que recibe luz de gran número de puntos, intercepta por consiguiente conos luminosos cuya direccion es muy diferente, pero las porciones de los hazecillos que no caen según cierto plano vienen á iluminar parte del espacio que está detras de el plano. Todo lo que no recibe luz detras de una pantalla, conserva el nombre de sombra, y se llama penumbra á los puntos que

hallándose en la sombra con relacion á ciertos hazecillos reciben por el contrario la luz de otros.

Al penetrar la luz por una pequeña abertura, produce al mismo tiempo la sombra y la penumbra, que se distinguen con anillos alternativos, negros y claros. El mismo fenómeno se reproduce en la sombra general que forma un cuerpo; pero las sombras y los claros se sobreponen de modo que los puntos oscuros y luminosos de diferentes sistemas se sobreponen, se cubren, y se destruyen.

CATOPTRICA.

La catóptrica es la historia de la reflexion de la luz.

Cuando los rayos de luz caen sobre una superficie, parte de ellos son absorvidos, otra parte se desparrama, y otra tercera es reflejada regularmente. Los cuerpos que absorben mucha luz se llaman oscuros; los que reflejan mucha en todas direcciones son resplandecientes; y reciben el nombre de espejos aquellos que reflejan los rayos de luz en un orden regular. La inclinacion de los rayos incidentes tiene una influencia marcada sobre los resultados: hay tantos mas rayos reflejados cuantos mas caen bajo un ángulo mas oblicuo; los rayos que van perpendiculares á una superficie son reflejados irregularmente, y la hacen relumbrante: la naturaleza de los cuerpos es de mucha importancia en el fenómeno; los metales pulimentados son los reflectantes por excelencia: todos los cuerpos duros y pulimentados reflejan perfectamente; tambien las sustancias blancas reflejan en gran número de rayos, y tantos mas cuanto mas se aproximan al color blanco; por consiguiente se observará lo contrario con respecto á los colores sombríos: toda la historia de la catóptrica se reduce á las dos leyes siguientes: 1ª. *El plano de reflexion coincide con el de incidencia*, es decir, que el rayo incidente y el reflejado se hallan siempre comprendidos en un mismo

plano: 2.^a *El ángulo de reflexion es igual al de incidencia, en la fig. 287* los rayos $e f$ que caen sobre el espejo $a b$, se dirigen segun $c e'$ $e f'$, formando un ángulo de reflexion igual al de incidencia con relacion al espejo plano $a b$.

Reflexion sobre los espejos planos. Cuando algunos rayos son reflejados sobre una superficie plana, la relacion entre estos rayos no varía; si son paralelos al caer, vuelven á serlo al alejarse del plano, *fig. 288*; los divergentes conservan su grado de divergencia, *fig. 289*, y los convergentes quedan convergentes en igual grado, *fig. 290*.

Los espejos metálicos son los mas perfectos de todos: las relaciones de los rayos reflejados con los incidentes se conservan exactamente en ellos: lo mismo se verifica con espejos formados de una lámina ó plano de cristal guarnecido, cubierto en una de sus superficies de un cuerpo metálico limpio; estos espejos dan lugar al mismo tiempo á dos reflexiones, una en la superficie del vidrio, y otra en la del mercurio ó amalgama de este metal que suele emplearse, circunstancia que hace imposible su uso para la construccion de telescopios.

En un espejo plano se ve la imagen del objeto detras del mismo espejo á la misma distancia á que se halla realmente el objeto por delante. Sea $c d$, *fig. 291*, un rayo que cae sobre el espejo $a b$: aquel rayo es reflejado segun $d e$, y el ojo colocado en e le percibe en la direccion $e f$, porque juzga siempre un objeto en la direccion del rayo recto que llega á él; pero la luz que llega de un punto luminoso al ojo no es un simple rayo, sino un hazecillo de luz. Un punto luminoso p , *fig. 292*, envia un hazecillo sobre el espejo $a b$, es reflejado á o en donde el ojo le recibe: este juzga el punto luminoso en p' , es decir, en la estremidad del hazecillo que recibe detras del espejo al mismo lado que p , y tan lejana como lo está p por delante: asi vemos los objetos por detras tan separados como lo están por delante; y si nosotros mismos nos observamos delante de un espejo, nuestra imagen se adelanta cuando avanzamos, retrocede cuando retrocedemos; mas lo que está á la derecha con res-

pecto á nosotros, está á la izquierda con relacion á nuestra imagen; de ahí la dificultad de conducir las manos por de pronto engañados por la posicion de las imágenes, pues vamos á buscar en un lado lo que realmente se halla en el otro.

Cuando estan dispuestos convenientemente unos espejos puede una imagen repetirse en ellos muchas veces, pero cada vez aparece mas lejana, resultando este efecto de la reflexion sucesiva y alternativa del mismo hazecillo sobre uno y otro espejo. Pues como este hazecillo va ensanchándose mas y mas, el ojo que lo percibe juzga el objeto mas lejano, á medida que la sensacion es producida por un cono cuyos rayos están mas separados é irian á reunirse á la mayor distancia: un ejemplo notable de estas repeticiones de imágenes nos ofrece una sala adornada con araña, cuya imagen se repite en los espejos alejándose mas y mas.

Reflexion en las superficies curvas. La reflexion sobre las superficies curvas es conforme con la ley general de reflexion: para concebir sus efectos es necesario considerar á la superficie curva (tomando por ejemplo una esfera) compuesta de multitud de puntos, cada uno de los cuales puede ser considerado como un plano, ó como centro de un pequeño plano sobre el cual vendria á caer perpendicularmente un rayo recto que partiera del centro de la esfera: así la circunferencia de la esfera, *fig. 293*, puede ser representada por pequeños planos sucesivos *a b c d* inclinados los unos á los otros, y cortados perpendicularmente por los rayos que parten del centro de la esfera. Sobre cada uno de aquellos planos será reflejado el rayo que llegue del exterior ó del interior conforme á la ley de reflexion sobre las superficies planas; y de esta reflexion particular de cada rayo sobre muchos planos proximados resultarán los efectos producidos por los espejos cóncavos ó convexos sobre un hazecillo de rayos: los rayos *e f*, por ejemplo, *fig. 294*, que caen sobre los dos planos *p p'* que hacen parte de una superficie cóncava son reflejados formando cada uno un

ángulo de reflexion igual al de incidencia , y siguen las nuevas direcciones $e' f'$ que los reunen en g .

El efecto general de los espejos cóncavos es hacer los rayos mas convergentes que lo eran en el momento de su incidencia, asi como se puede juzgar por la *fig. 294*.

Un espejo cóncavo, formado por una porcion de esfera, presenta algunas propiedades que son consiguientes á la curva de este espejo: 1.^o Los rayos que parten del centro de la curva del punto c , *fig. 293*, serán reflejados en $a b c d$, y volverán á su punto de partida. 2.^o Los rayos que salgan del punto f situados á una distancia média entre la superficie del espejo y el centro de su curvatura c , *fig. 296*, se harán paralelos; y si van paralelos entre sí al espejo, todos vendrán á reunirse en el punto f ; este punto es llamado por esto el foco principal del espejo: un objeto luminoso colocado en él envia hacia el espejo rayos divergentes que por la reflexion se convierten en paralelos, y van á perderse en el espacio infinito, mientras que los rayos paralelos que caen en la superficie del espejo , los del sol por ejemplo, se hacen convergentes y vienen al foco f , en donde darian fuego á un cuerpo combustible colocado allí. Los rayos inclinados al horizonte tendrian su foco colocado oblicuamente siempre á igual distancia de la superficie de reflexion: cuando acontece que los rayos enviados por un punto luminoso no se reunen todos exactamente en el mismo foco, la reunion de los puntos en que se cortan produce una superficie que se llama *cáustica por reflexion*. 3.^o Un punto luminoso colocado en f , *fig. 295*, entre el espejo y el foco principal despide hacia el espejo rayos divergentes que nunca pueden encontrarse despues de su reflexion; se encontrarian si se les prolongase por detras del espejo, y su foco ficticio f' recibe el nombre de foco virtual. Un objeto así colocado entre el foco principal y el espejo produce por detras del espejo una imágen lejana y aumentada, *fig. 297 y 298*: el punto luminoso l , *fig. 297*, forma reflejando un hazecillo me-

nos divergente o , y el ojo que recibe este hazecillo juzga el punto luminoso en l' detras del espejo, y mas lejano que lo está l por delante. Considerese, por ejemplo, la llama de una vela b en vez del punto luminoso, *fig.* 298, y sus rayos extremos, únicos representados se reflejan sobre la superficie del espejo, forman los dos conos menos divergentes c o d o, y el ojo que los percibe juzga la punta de la llama en $o b'$, y su base en $o b''$; la imagen le parece pues separada y aumentada. 4.º Un punto luminoso colocado mas acá del foco f en l , *fig.* 299, reproduce su imagen delante del espejo en l' : los rayos que se han hecho convergentes despues de su reflexion se cruzan en l' ; el ojo colocado en o verá en l la imagen del objeto. Considerando, no un punto luminoso, sino un objeto de alguna estension, *fig.* 300, los hazecillos extremos vendrán á cruzarse en $l' l''$, y el ojo colocado en o percibirá delante del espejo la imagen del objeto al través.

La reflexion sobre los espejos convejos se verifica siguiendo las mismas leyes que sobre los espejos cóncavos, pero el efecto es inverso; los rayos se hacen siempre mas divergentes despues de la reflexion; se ven, *fig.* 301, dos rayos paralelos $e f$, que sobre los dos planos inclinados $p p$ son rechazados formando el ángulo de reflexion igual al de incidencia, y son divergentes despues de la reflexion. Un punto luminoso p colocado delante de un espejo convejo, *fig.* 302, dirige á él un hazecillo de luz que se hace mas divergente; el ojo desde o ve la imagen de p en p' detras del espejo y mas aproximada que lo está por delante en el punto que iria á converger el hazecillo o si continuase por detras del espejo atravesandole. Un objeto abultado p , *fig.* 303, envia de todas sus puntos hazecillos luminosos, haciéndose mas divergentes los que llegan al espejo despues de la reflexion; y el ojo que los recibe en o lleva la imagen á la estremidad de estos hazecillos, y ve el objeto detras del espejo en p' mas pequeño y aproximado.

Mirado un objeto en un espejo convejo aparece desfigurado,

porque no hallándose cada uno de los puntos de aquel á igual distancia de la superficie de este, su imagen no conserva las mismas relaciones de posicion. Sin embargo, cuando el objeto es observado de muy lejos y el espejo es poco convexo, las diferencias son bastante pequeñas para que puedan ser apreciables: un dibujador que recibe la imagen de un objeto sobre un espejo convexo tiene exacta representacion de aquel en pequeño volumen: (todo lo dicho es muy fácil de comprender si se atiende á la ley de reflexion de la luz.)

DIOPTRICA.

La dióptrica se ocupa en el estudio de las circunstancias en que la luz se desvia en su marcha de la línea recta.

Cuando la luz pasa de un medio á otro, parte es reflejada, y otra parte es desviada. Se llama refraccion la propiedad que tiene la luz de separarse así de su direccion primitiva cuando pasa de un medio á otro de densidad diferente. Los cuerpos que producen la separacion se llaman refringentes.

Todos los fenómenos de la refraccion se hallan comprendidos en algunas leyes muy sencillas.

1.^o *El rayo incidente y el refractado estan siempre comprendidos en un mismo plano normal á la superficie comun de los dos medios.*

2.^o *El seno del ángulo de refraccion se halla respecto al seno del ángulo de incidencia en una relacion constante bajo todas las incidencias en los mismos medios.* Esta relacion se llama índice de refraccion (21): cuando la luz pasa del aire al agua, por ejemplo, la relacion es de 4 á 3.

3.^o *Todo rayo que cae perpendicularmente sobre la superficie comun de los dos medios no es refractado y sigue su marcha en línea recta.*

4.º *La refraccion es mayor á medida que el rayo cae mas oblicuamente.*

5.º *Un rayo que pasa de un medio menos denso á otro mas denso se aproxima á la normal.* Un rayo ab , *fig.* 304, pasa del aire al agua, se refracta segun ac , y se aproxima á la normal ó perpendicular al horizonte n .

6.º *Un rayo que pasa de un medio mas denso á otro menos denso se separa de la normal.* Un rayo ab , *fig.* 305, que pasa del agua al aire, se refracta segun ac separándose de la normal n .

Los efectos de la refraccion se demuestran en algunas experiencias muy sencillas. Un cuerpo a , *fig.* 306, se halla en un cubo vacío, y colocado un ojo en o no puede ver los rayos extremos segun la direccion ao ; vertiendo agua en el cubo, el mismo ojo verá distintamente á a , porque el rayo al penetrar en el aire se refracta segun ao . Un palo metido en el agua aparece roto: sea d el palo, *fig.* 306, y r la posicion del ojo; consideremos un rayo r que parte de la estremidad del palo, y llegando á la superficie del agua, este rayo es refractado mudando de medio, y va á manifestarse en r' , el ojo le recibe y juzga el extremo del palo en la direccion $r'r''$: la figura manifiesta aun el efecto sobre un hazecillo luminoso que parte de la estremidad c . El ojo juzga del extremo del palo por la direccion segun $r'r''$, y por la distancia al punto en donde irian á reunirse los rayos que componen el hazecillo r' . Un objeto visto en el agua aparece pues mas aproximado y en distinta direccion de aquella en que realmente se halla; un pez se nos representa mas cerca de la superficie; una fuente ó un rio claros no nos parecen tan profundos como efectivamente son. Vemos á los astros á su salida antes del momento en que los rayos que despiden pudieran llegar directamente á nosotros, y es porque aquellos rayos experimentan en el aire una refraccion que continúa hasta que los astros hayan llegado á su zenit, pues entonces caen sus rayos perpendicularmente sobre la atmósfera. La aurora y el

crepúsculo son producidos, la primera por la refraccion de los primeros rayos del sol, y el segundo por la de los últimos

La refraccion nos hace ver los objetos sumergidos en el agua mayores de lo que son y á veces disformes. Una moneda *a*, *fig.* 307, sumergida en el agua pudiera enviar al ojo todos los rayos comprendidos en el hazecillo *a b*; pero una porcion de ellos que son refractados á su entrada en el aire llegan al ojo que recibe realmente el hazecillo *b r r*, y hace este juzgar á la moneda mayor y mas aproximada. Una viga *p p*, sumergida en el agua, *fig.* 308, en vez del hazecillo *p p b* envia realmente al ojo el *b c c* que hace aparacer á la viga mayor y encorvada *c c*. Los efectos de las refracciones se observan de un modo curioso por medio de un prisma de vidrio ó cristal: el punto luminoso *p*, *fig.* 309, envia al ojo los rayos directos *p o*; pero otros rayos vienen á caer en *a* sobre un prisma, se refractan en él, vuelven á refractarse en *a'* á su salida, y llegan igualmente á *o*; el ojo colocado en *o* ve distintamente dos imágenes del objeto, una en la direccion *o p*, otra en la de los rayos refractados *o p'*.

Haciendo girar un prisma al través del cual se mira un objeto, la imagen de este objeto muda de lugar, partiendo primero de un punto extremo, despues se detiene para ser desalojada nuevamente y volverse á detener: el momento del reposo corresponde á la menor desviacion, en este momento los ángulos de incidencia y de emergencia son iguales.

Todos los fenómenos de refraccion no se producen sin una pérdida de luz cuya cantidad difiere de un medio á otro: la pérdida proviene de la luz apagada, de la reflejada á la entrada, de la reflejada á la salida. Una lamina de vidrio de tres pulgadas de espesor solo transmite la mitad de los rayos de luz que caen sobre ella, al paso que son necesarios tres metros de agua del mar para interceptar los $\frac{2}{5}$, y unos 1500 metros de aire para interceptar $\frac{1}{3}$ de los mismos rayos,

Toda la luz que se dirige á una superficie bajo de ciertas incidencias es reflejada, y ninguna porcion refractada; este efecto tiene lugar en el momento en que el seno de la incidencia interior contado desde la normal es igual á la unidad dividida por la relacion de la refraccion. Este es el único caso de que la luz sea reflejada en totalidad, y recibe el nombre de fenómeno de reflexion total: esta reflexion bajo de ciertas incidencias es la causa del fenómeno conocido por *espejeo* ó *espejismo* que se manifiesta frecuentemente en Egipto; alli vastas llanuras de arena inundadas por el Nilo en ciertas épocas presentan de trecho en trecho algunas isletas sobre las cuales se construyen edificios: cayendo el sol sobre esta tierra arenosa la calienta fuertemente; el calor se comunica al aire por capas; y si la atmósfera está tranquila, las capas de aire mas inmediatas al suelo son las mas calientes, y aumentan de densidad al paso que se alejan de él por lo menos hasta cierta altura. En este estado los objetos elevados en el horizonte, al mismo tiempo que son vistos directamente por el ojo, se dejan percibir por rayos reflejados que manifiesta la imágen de los objetos al revés y situada bajo de ellos. Estos objetos, por consiguiente, parece que se hallan en medio de un lago, error cruel en las llanuras en donde el viajero fatigado por el calor abrasador del aire y del sol ve delante de sí la imágen del agua que se va marchando á medida que él se aproxima. Un rayo que parte del punto *a*, *fig.* 310, llega directamente al ojo del observador en *o*, pero otro rayo que va en la direccion *a b* atraviesa sucesivamente las capas de aire *b c*, *c d*, *d e*, *e f*, y pasando asi de medios mas densos á otros menos densos se refracta y se separa de la normal, hasta que en fin sea tal su inclinacion, que se refleja en *f* para llegar á *o*; el observador percibirá entonces la imágen de *a* situada en *a'* y al revés. El espejismo se presenta algunas veces en el mar; en este caso la masa de aire inferior es la mas densa, y la curva formada por los rayos refractados marcha en sentido inverso; el observado ve por la luz directa los barcos

que estan en el horizonte y sobre ellos su imágen invertida.

Para medir la refraccion de un sólido se observa la desviacion que experimentan los rayos al pasar á el través de un prisma hecho con este sólido; el índice de refraccion es obtenido dividiendo el seno de incidencia por el seno del ángulo de refraccion (vease la pág. 308) Si se trata de líquidos, se los debe observar en cavidades prismáticas de vidrio. En cuanto á los gases, son observados en un tubo cuyas estremidades esten cortadas muy oblicuamente y cerradas por láminas: un barometro permite apreciar su presion. Cuando se trata de sólidos ó de líquidos puede despreciarse la influencia del aire sobre la refraccion, y no en cuanto á los gases, porque el índice de surefraccion es muy débil.

Las observaciones sobre la refraccion pueden ser generalizadas de la manera siguiente: las sustancias inflamables en general tienen un poder de refraccion grande; los líquidos le tienen mayor que su vapor, y en cuanto al poder refringente de un mismo gas es proporcional á su densidad; pero no parece que hay igualdad variando las sustancias. La potencia refractiva de un compuesto químico gaseoso no es la suma de las potencias refractivas de sus elementos.

Indice de refraccion de algunos sólidos y líquidos (pasando la luz del aire á la materia sólida ó líquida.)

Yelo.	1,31	Cristal de roca. . . .	1,547
Agua.	1,336	Fling-glass (cristal)..	1,576
Eter rectificado. . . .	1,36	Súlfuro de carbono. .	1,678
Alcol sulfúrico. . . .	1,372	Azufre.	2,
Acido sulfúrico. . . .	1,44	Fósforo.	2,1
Aceite de olivas. . . .	1,47	Diamante.	2,44
Esencia de trementina. .	1,48	Cromato de plomo. . .	2,67
Vidrio.	1,5		

LENTES.

Los lentes son discos de forma variable, que sirven para refractar los rayos luminosos: un rayo r que penetra en una esfera transparente, *fig.* 311, se refracta en ella y continúa marchando según su nueva dirección por toda la extensión de la esfera, experimentando á su salida nueva refracción. El medio que separa las dos superficies estingue ó amortigua gran cantidad de rayos, y no produce efecto útil para la refracción, pues que esta se verifica solamente á la entrada y á la salida. Se puede, pues, no conservar mas que los dos segmentos superiores é inferiores $a b a' b'$, y tener aun un lente tan refringente, que apague menos rayos y sea mucho mas manual porque pese menos. El nombre de lente (lenteja) viene precisamente de la forma que resulta de la sobreposición de dos segmentos de la esfera. Se distinguen muchas suertes de lentes, á saber: el lente biconvexo, *fig.* 312, el plano convexo, *fig.* 313, el menisco convergente, *fig.* 314, el lente biconcavo, *fig.* 315, el plano cóncavo, *fig.* 316, el menisco divergente *fig.* 317. Los tres primeros hacen mas convergentes los rayos de luz, y por eso los llaman lentes convergentes: los tres últimos que los hacen divergentes son los lentes divergentes. Se puede ver en la *fig.* 318 y 319 cómo producen su efecto los lentes biconvexo y biconcavo: $r r$ son los rayos incidentes, $r' r'$ los refractados, $n n$ las líneas normales á los puntos de incidencia.

Lentes convergentes. Los rayos del sol $r r$ que caen sobre un lente biconvexo, *fig.* 320, vienen todos á pasar al punto f situado detras del lente, y que se llama su foco principal: en rigor todos los rayos no llegan al mismo punto, forman sí series de líneas que se reúnen en puntos aproximados, y que han recibido el nombre particular de caústica. Pero si el lente solo comprende un pequeño número de grados, entonces todos los rayos llegan sensi-

blemente al foco principal; y si los rayos caen oblicuamente sobre el lente, *fig.* 321, el lugar del foco cambia y se halla en f' ; mas los focos particulares que pueden nacer de la oblicuidad de los rayos todos estan colocados á igual distancia del centro del lente. Se reconoce el lugar que ocupa el foco de un lente presentando este á los rayos solares, y observando en qué parte se pinta la imagen mas pequeña y brillante, pues alli está el foco. Sin embargo, cuando los rayos oblicuos hacen con el eje que pasa por el foco principal un ángulo de mas de diez á quince grados, los rayos del hazecillo no convergen ya exactamente en el mismo punto; hay aberracion de esfericidad.

La concentracion de los rayos se verifica mas exactamente por un lente á medida que pasan mas cerca del eje. En los instrumentos de óptica se cubren muchas veces los bordes del lente para no admitir mas que los hazecillos poco inclinados al eje, á fin de tener mas limpieza en las imágenes.

La marcha de los rayos no paralelos puede establecerse teóricamente sin dificultad, sabiendo que el centro del lente es un punto c , llamado centro óptico, *fig.* 322, cuyo carácter consiste en que todo rayo que pase por él siga su direccion primitiva; y como todo rayo luminoso, cualquiera que sea su inclinacion, pasará siempre al mismo foco que el rayo que le es paralelo y que atraviesa el centro óptico del lente, se puede asegurar que al salir del vidrio tomará la direccion que debe conducirlo á este foco. Conociendo el rayo del foco de un lente, viene á ser muy fácil hallar que llegará á ser otro rayo de cualquiera incidencia: por ejemplo, $f f'$, *fig.* 323, es la línea de los focos del lente cuyo centro óptico es c , que llegará á ser pues el rayo r á su salida del lente; figurando el rayo r' paralelo á r , y pasando por el centro óptico del lente irá á cortar la línea de los focos en f'' , el rayo r pasará necesariamente por el mismo foco f'' y tomará en consecuencia la direccion $r f''$.

He aquí cuales son los principales efectos producidos por el lente biconvexo.

1.º El objeto está colocado á una distancia infinita: los rayos que caen entonces sobre el lente son sensiblemente paralelos, y la imagen se representa en el foco principal bajo del mismo ángulo que el objeto, *fig.* 320 y 321.

2.º El objeto está colocado en el foco principal, los rayos salen paralelos del otro lado del lente, y la imagen va á perderse al infinito, *fig.* 320 y 321.

3.º El objeto está colocado delante del lente, la imagen se representa siempre detras quanto mas lejano esté, mas aproximada y mas pequeña, ó vice versa. Consideremos el efecto producido en algunos casos, no ocupándonos mas que de rayos estrechos: hallándose el objeto á doble distancia que la focal f , *fig.* 325, la imagen tendrá igual magnitud que él; los puntos p b se reproducen en p' b' en donde la imagen se verá al revés y de la misma magnitud que el objeto. Estando este mas que doblemente separado de la distancia focal, la imagen se aproxima y se aminora á medida que el objeto se halla mas lejos, *fig.* 324; los hazecillos extremos p b convergen detras del lente en p' b' y suministran una imagen pequeña y al revés. Si el objeto está entre el foco f y el lente, *fig.* 329, se ve su imagen recta y abultada que retrocede y crece mas á medida que el objeto se aproxima al vidrio. El hazecillo p al salir del lente da origen al hazecillo refractado p' p' : el hazecillo b suministra el otro refractado b' b' . El ojo colocado delante del lente percibe la imagen en la direccion de los rayos r r' , y ve por consiguiente el objeto mucho mayor de lo que es.

Lentes divergentes. El efecto del lente divergente es hacer mas divergentes los rayos que le atraviesan: los rayos paralelos r r vienen á caer sobre un lente semejante, *fig.* 326, salen divergentes y se separan mas y mas unos de otros; dicho lente no tiene pues en realidad foco sino ficticio, llamado foco virtual, es el punto f en don-

de vendrian á reunirse todos los rayos que se han hecho divergentes si marchaban en la direccion f .

Colocado un punto luminoso p , *fig.* 327, delante de un lente igual al anterior, los rayos saldrán por la otra superficie mas divergentes, segun $r r'$, y su foco virtual estará situado en f' : el ojo colocado detras del lente en el hazecillo divergente $r r'$, y que recibiria estos rayos, traeria el punto luminoso á f , y le creeria mas aproximado. Examinemos este efecto sobre un objeto estenso sin considerar mas que los rayos extremos que los comprenden á todos, *fig.* 328: el hazecillo p formará detras del lente el mas divergente $p' p''$, el hazecillo b formará el nuevo $b' b''$, el ojo recibirá estos dos hazecillos, y conducirá la imagen de p á f , y la de b á f' ; la del objeto será vista pues mas cerca del lente, recta y disminuida; pero á causa de la pequeñez de la imagen, y por una falsa apreciacion la juzgaremos mas lejana. La distancia á que debe colocarse el ojo detras del lente varía para cada individuo, porque para ver bien es preciso que los rayos caigan sobre el ojo segun cierta incidencia, que no es la misma para todos los ojos.

DESCOMPOSICION DE LA LUZ.

Quando se hace caer un rayo de sol sobre el ángulo triangular de un prisma, cuyo ángulo debe ser por lo menos de $60.^{\circ}$, el rayo en vez de seguir la línea recta é ir á producir una imagen en i , *fig.* 330, se refracta y va á formar en s sobre un cartoncito blanco colocado á cierta distancia una imagen comprendida entre dos líneas rectas paralelas, y redondeada en sus dos estremidades; esta imagen está compuesta de fajas diversamente coloradas, y dispuestas en el orden siguiente: violado, ó índigo, azul, verde, amarillo, naranjado, rojo. Esta esperiencia capital de Nevvton prueba que la luz del sol está compuesta de rayos diferentes, que producen

cada uno una especie particular de iluminacion : dichos rayos diversamente refrangibles son separados por el prisma colocándose de arriba á bajo en el orden de su menor refrangibilidad: la imagen formada lleva el nombre de espectro solar; es mas larga que ancha, porque los rayos refractados todos se hallan comprendidos en el mismo plano que los incidentes. Se consigue un prisma cuyos colores son mas puros por medio del mecanismo siguiente, recomendado por Nevvton, *fig. 331* : á 4 metros del agujero o que da paso al hazecillo luminoso se pone un lente *l* que tiene un foco de dos metros, y delante de él el prisma refringente *p*: la luz del espectro que se forma en *s* es mas brillante, porque el lente ha contribuido á reunir en un mismo espacio mayor cantidad de luz. Sirviéndose de rayos de luz que se hayan hecho exactamente paralelos y de un prisma de grande limpieza ó claridad, Fraunhofer ha obtenido una imagen rectangular, *fig. 332*, surcada por gran cantidad de rayas obscuras, verticales, negras, muy estrechas y desigualmente repartidas por el espectro. Fraunhofer ha contado unas seiscientas; su número no varía aunque se use otro prisma diferentemente refringente, pero sí el espacio que ocupan. La luz de los planetas se comporta como la luz solar; la de las estrellas produce otra distribucion y muchas veces se ve predominar en esta uno de los colores; con la luz eléctrica el espectro es surcado de rayas brillantes; tambien se han observado con la luz artificial de nuestras llamas blancas: el violado domina en las llamas azules, el rojo en las rojas &c., de donde se sigue que cada origen ó foco luminoso suministra rayos diferentes.

Los rayos que forman las diferentes partes del espectro se llaman rayos rojos, amarillos, verdes &c; no quiere decir esto que son colorados ellos mismos, sino que producen en nuestros órganos la sensacion de los colores: cada uno de los del espectro está compuesto de rayos diferentemente refrangibles; se distingue, por ejemplo, el rojo extremo, el rojo medio, el rojo límite del naranja-

do que tienen matizes diferentes, lo que prueba que en vez de los siete colores hay en realidad una multitud extraordinaria de ellos.

Los rayos tienen colores fijos é inalterables; no experimentan cambio ya se les haga pasar de nuevo al través de un prisma, ya se refracten al través de uno ó muchos lentes, de ningun modo son alterados por el color de los objetos sobre que caen; así los rayos rojos nos hacen ver los objetos rojos cualquiera que sea el color perteneciente á estos objetos, lo que se comprende fácilmente, pues un objeto sobre el cual solo caen rayos rojos no puede enviar otros de distinta naturaleza.

La luz blanca está formada por la reunion de todos los rayos colorados: un cuerpo nos parece blanco cuando nos envia al mismo tiempo todas las especies de rayos de luz. Se recibe sobre un prisma, *fig. 333*, un rayo de sol, y se coloca un lente á bastante distancia para que los rayos del espectro caigan en él muy separados; el lente hace converger á todos estos rayos; así es que en el foco *f* en donde son reunidos forman una imagen blanca. Esta imagen aumenta y se decolora á medida que se separa del foco hácia delante ó hácia atras: el espectro volveria á formarse en *r' v'* sobre un plano, y aun pudiera obtenerse en *r' v'* si se reflejasen los rayos refractados sobre un espejo *m*. Si en esta experiencia se intercepta una parte de los rayos colorados interponiendo una pantalla entre el prisma y el lente, la imagen que se forma en el foco tiene menos brillo y es diversamente colorada. Haciendo girar con rapidez, *fig. 334*, á un disco de carton que tenga bajo la forma de rayos todos los colores del espectro, cada uno en el orden y con la estension que ocupa proporcionalmente en el espectro mismo, siendo negras la porcion *z* del disco y la faja *c c* de la circunferencia, el disco colorado aparece blanco: esto consiste en que el ojo conserva la impresion de los colores algun tiempo despues que la ha recibido, y las impresiones se suceden con bastante

rapidez para que experimente al mismo tiempo la sensacion de todos, y por consiguiente la del blanco.

Todos los matices (variedades de color) estan formados por la mezcla de los colores primitivos, y todos pueden ser obtenidos mezclando los rayos que los componen. Antes de recibir sobre el lente, *fig.* 353, los rayos que salen del prisma refringente, si se interceptan algunos por medio de una pantalla que cubra mas ó menos el hazecillo, la imágen producida en el foco no es mas blanca, pero tiene la tinta que produce la mezcla de colores no interceptados. Se nota que cada color primitivo puede ser imitado por la mezcla de los dos inmediatos; pero la tinta compuesta que resulta no soporta la experiencia del prisma, sino que es descompuesta en sus dos colores originales. Todo matiz puede ser transformado en blanco si se le añaden los colores que no han entrado en su formacion: estos colores que añadidos á otro forman el blanco, se llaman complementarios, así, pues, añadiendo el rojo á la tinta compuesta que resulta de la mezcla de todos los demás colores del espectro se reproduce el blanco. La mayor parte de los verdes tienen por complementarios á violados mas ó menos rojizos, índigos mas ó menos violados: pudiendo variar al infinito el color de los matices, el número de los colores complementarios es igualmente infinito.

El color de los cuerpos depende de la accion que ejercen sobre la luz blanca: si se dejan atravesar igualmente por todos los rayos, ó si los reflejan todos igualmente, la luz que enviarán al ojo producirá la sensacion del blanco; si por el contrario todos los rayos de luz son absorbidos ó estinguidos, los cuerpos serán negros, resultando el negro de la ausencia de todo color, y el blanco de la presencia de todos los rayos. Los cuerpos que ejercen una accion diferente sobre los diversos rayos de luz que estingen á los unos y reflejan á los otros, tienen el color de los rayos reflejados; y si estos son de muchas especies, los cuerpos tienen el matiz re-

sultante de la mezcla de los mismos rayos diferentemente colorados. El ojo ve un cuerpo rojo si este cuerpo tiene la propiedad de extinguir todos los rayos escepto el rojo; le percibirá verde si el rayo de este color ó bien el azul y amarillo han sido únicamente reflejados.

Se utiliza la estension de los rayos de luz por ciertos cuerpos para obtener hazecillos luminosos diversamente colorados, por ejemplo: haciendo pasar un hazecillo al través de un vidrio colorado de rojo por el protóxido de cobre, se estinguen todos los rayos escepto el rojo; una capa algo gruesa de disolucion de amoniuuro de cobre no deja pasar mas que el violado; los vidrios azules ordinarios absorven todo el rojo; una solucion de cromato de potasa solo transmite el rojo y el amarillo &c. Si se quiere impedir que la luz llegue hasta un cuerpo, se la intercepta por medio de una pantalla negra que estingue todos los rayos. Los químicos han reconocido hace mucho tiempo que ciertas sustancias muy alterables por la luz se conservan bien metidas en frascos de vidrio negro, ó cubiertos de papel negro.

Mezclando colores artificiales puede obtenerse toda especie de matices; pero las tintas resultantes nunca tienen la intensidad ni la vivacidad de las que provienen de la mezcla de rayos de luz primitiva.

Se observa que ciertos cuerpos no tienen la misma coloracion vistos de dia, ó á la luz artificial; esto consiste en que siendo diferentes los colores de la luz artificial de los que componen la del sol, tambien lo es la accion que ejercen sobre ellos los cuerpos, y la naturaleza de los rayos enviados al ojo no puede ser la misma.

La descomposicion de la luz se nos manifiesta en multitud de circunstancias, vamos á examinar en particular algunas.

Un rayo del sol que cae oblicuamente sobre un vaso de agua deja ver todos los colores primitivos, siempre que la luz refractada pueda estenderse algo lejos despues de su emision; de

otro modo los rayos luminosos no serian suficientemente marcados.

Un diamante refracta fuertemente la luz y resplandece con un brillo vivo y particular, porque penetrando por las numerosas facetas que la talladura ha dado al cristal diamantino, la luz se divide en muchos dardos que se subdividen al caer en las caras diversamente inclinadas del fondo, y que reflejándose experimentan aun una nueva descomposicion. Los colores son menos vivos con el cristal comun ó con el vidrio, porque siendo estos menos refringentes que el diamante separan menos perfectamente los rayos colorados.

Un objeto iluminado mirado al través de un prisma se presenta guarnecido y á veces salpicado de los mas vellos colores; cuando el objeto es grande y visto de cerca, los colores solo aparecen en los bordes, á un lado están el amarillo y el rojo, á otro el azul y el violado. Para concebir esta iluminacion supongamos un objeto *a*, *fig* 335, que envíe un hazecillo luminoso *f* sobre un prisma, los rayos vendrian á reunirse en *f'*, pero experimentan de la parte del prisma una refraccion diferente para cada uno de ellos, de donde resulta que considerando aquí solo los rayos extremos, los violados mas refractados llegan á *v*, y los rojos menos refractados á *r*: el ojo ve por consiguiente la imagen *a* coloreada de violado en *v'* y en *v''*, y de rojo en *r'* *r''*. El espacio ocupado por los rayos intermedios no aparece colorado, porque no estando los rayos suficientemente separados resulta una mezcla de todos colores que produce la sensacion del blanco; la separacion mas limpia de los mismos colores haria aparecer la imagen galoneada en toda su estension.

El arco iris es un fenómeno que resulta de la descomposicion de la luz en las gotas de agua que la atmósfera tiene en suspension: se produce en las nubes que descargan agua cuando son iluminadas por el sol elevado en el orizonte á cierta altura; no es visible para el observador sino cuando este vuelve la espalda al sol. Representemos una de las gotitas de agua que componen la nube,

y dará lugar á la formacion de luz coloreada que recibirá el ojo si los rayos llegados á ella forman con los que vienen del sol un ángulo de $40.^{\circ} 17^1$, á $42.^{\circ} 2^1$, ó de $50.^{\circ} 59^1$ á $54.^{\circ} 9^1$. Si el ángulo es de 50, *fig.* 336, llegando del sol el rayo r , se refracta en a , refleja por primera vez en b , por segunda en c , y se refracta de nuevo al salir de la gota en d ; el ojo colocado en v recibe en v el rayo violado mas refractado, en r el rayo rojo, y entre los dos los intermedios: ve pues una imagen violada en v^c , una roja en r^c y otras diferentemente coloreadas entre ambas; pero si el rayo de luz llega segun r , *fig.* 337, (formando los rayos que vienen del sol con los que llegan al ojo un ángulo de $40.^{\circ}$ á $42.^{\circ}$,) r se refracta en a , experimenta una reflexion en b , se refracta segunda vez en c , y el ojo percibe el violado segun el rayo v v^c , el rojo segun r r^c .

El observador colocado en o , *fig.* 339, mira una nube tocada por los rayos del sol s s^c s^c s^c : tiremos desde el glóbulo v una línea hasta o , y formará con los rayos del sol s un ángulo de $40.^{\circ} 17^1$; el glóbulo tendrá la posicion requerida para que el ojo perciba el color violado; de otro glóbulo colocado superiormente tiremos la línea r o , el ángulo formado con s^c será de $42.^{\circ} 2^1$, y el ojo verá una imagen roja. Los glóbulos intermediarios presentarán los colores del espectro dispuestos en su orden ordinario: la latitud ocupada por los colores será la diferencia de $40.^{\circ} 17^1$ y $42.^{\circ} 2^1$, ó $1.^{\circ} 45^1$, ocupando el violado la parte inferior y el rojo la superior.

En los glóbulos situados de modo que el ángulo formado por los rayos del sol y los que vienen al ojo del observador sea de $50.^{\circ} 59^1$, como en r o , y de $54.^{\circ} 9^1$ como en v^c o , la luz experimenta dos reflexiones, y el ojo vela imagen roja segun o r^c , y la violada segun o v^c ; por consiguiente la primera abajo y la segunda arriba, estando ocupado el espacio intermedio por los rayos medianamente refrangibles.

Como el sol no es solamente un punto luminoso, sino que su diámetro aparente puede ser estimado en 30^1 , suponiendo formados

los efectos precedentes por los rayos partidos de su centro, serán reproducidos por los que parten de los dos lados, y llenarán las mismas condiciones con referencia al ojo del observador; todas las líneas se hallarán comprendidas en un círculo igual al disco aparente del sol, y de esto resultará que en vez de un punto coloreado de violado ó rojo se formará una faja de cada color.

Lo que tiene lugar con respecto á los glóbulos de agua estudiados se verifica igualmente con todos los glóbulos colocados en situacion que realice las mismas condiciones. Si el ojo se halla enfrente de una estensa nube se reproducen efectos idénticos sobre todas las gotitas que ofrecen igual relacion entre los rayos del sol y el punto o: el ojo llega tambien á ser la punta de un cono de luz cuya base está ocupada por los círculos colorados.

El arco iris inferior nos muestra el azul en lo bajo, el rojo en la parte alta, y el superior en orden inverso; es siempre mas pálido á consecuencia de las dos reflexiones que los rayos han experimentado, y que han estinguido gran número de ellos.

ACROMATISMO.

La refraccion es la desviacion que experimenta el rayo verde colocado en el centro del espectro: la dispersion es por el contrario el esceso de la refraccion del rayo violado sobre el rojo.

Cuando hay refraccion, la disposicion relativa de los colores es siempre la misma, pero diferente el espacio ocupado por cada uno de ellos. Por ejemplo, el espectro dado por un prisma de Flint (ingles) tiene mas violado y menos rojo, al paso que otro prisma de Crown tiene mas rojo y menos violado: este fenómeno está enlazado con la magnitud de los índices de refraccion; tomando la diferencia de estos índices para el rojo y el violado se obtendrá lo que se llama la dispersion de la luz, y tanto mas dis-

persiva será una sustancia, cuanto mayor sea esta diferencia.

El acromatismo es la destruccion del color de los objetos, y resulta de la dispersion de la luz: Nevvton habia creido que la refrangibilidad era siempre proporcional á la dispersion, de donde resultaba que debia ser imposible destruir esta dispersion sin destruir al mismo tiempo los efectos de la refraccion. Dullond, célebre óptico ingles, probó que habia errado Nevvton en este caso, y dió los medios de obtener al mismo tiempo una luz refractada y sin color. Un hazecillo R R, *fig.* 338, es refractado primeramente en un prisma de agua, despues en otro de cristal, ambos colocados con los ángulos en sentido inverso: la primera refracción en el prisma de agua lleva el rayo violado á v , y el rojo á r ; la segunda conduce el violado á v' , el rojo á r' , los dos rayos coinciden en $v'' r''$, y salen paralelos segun R''. El efecto de la dispersion ha sido anulado, pero la refraccion no lo es, pues que R'' forma un ángulo con el rayo primitivo R R. Los efectos de la coloracion han desaparecido, aunque la luz queda refractada; se ha realizado el acromatismo. Cuando se quiere obtener el acromatismo se determina el ángulo de los prismas, y tiene lugar teóricamente cuando los ángulos refringentes estan en razon inversa de su coeficiente de dispersion.

El acromatismo se obtiene tambien con lentes. Cuando algunos rayos solares llegan al foco de un lente convergen hácia puntos diferentes del eje, y dan una imágen blanca en el centro rodeada de colores. Dullond obtuvo el acromatismo aplicando un lente biconcavo de Flint-glass contra un lente biconvexo de Crown-glass. El poder refringente de las dos sustancias es diferente, pero el poder dispersivo del flint es mayor; de esto resulta que los rayos rojos y violados llegan á ser paralelos al salir del lente: se obtienen resultados semejantes por otras asociaciones de lentes y de prismas. El acromatismo casi nunca puede ser obtenido de una manera perfecta con dos vidrios; se consigue bastante facilmente hacer con-

cordar dos colores, y son necesarios tres vidrios si quiere operarse al mismo tiempo sobre tres especies de rayos. Mr. Amici ha llegado aun con un sistema de siete vidrios á hacer coincidir los siete colores; pero llevando á mas de tres el número de los vidrios hay demasiada luz estinguida, y no se obtienen imágenes bien distintas. En la práctica cuando se ha llegado á compensar el violado y el rojo, ó el violado, el rojo y el verde, la destruccion de la luz por los intermedios es suficientemente aproximativa para que el ojo no perciba los colores.

RAYOS CALORIFICOS Y QUIMICOS.

Además de los rayos luminosos el espectro contiene rayos caloríficos, y otros que se distinguen por la accion que ejercen sobre ciertas combinaciones, lo que ha hecho designarlos bajo el nombre de rayos químicos. Un thermómetro muy sensible colocado en las diferentes partes del espectro prueba que no tienen la misma temperatura, el calor aumenta desde el violado hasta el rojo y aun mas allá. Los observadores han variado mucho sobre el parage ocupado en el espectro por el máximo de calor, pero Mr. Melloni ha visto que cambia con toda sustancia: resulta de las observaciones de este habil fisico que los rayos caloríficos del espectro no son todos de la misma naturaleza, que los unos son comparables á los que emanan de la llama, y los otros á los procedentes de cuerpos de baja temperatura. Las sustancias muy diatermanes que dejan pasar muchos rayos (tambien poseen un gran poder refringente) hacen experimentar proporcionalmente menos pérdida á los rayos menos refrangibles: de esto resulta que con un prisma hecho con alguna de dichas sustancias el límite de los rayos caloríficos que el prisma estingue está muy lejano. Con un prisma de agua ha visto Mr. Melloni el máximo de temperatura sobre el amarillo, con

prisma de ácido sulfúrico sobre el naranjado, con otro de crown-glass sobre el rojo, con el de flint-glass mas allá del rojo, y con un prisma de sal gema mucho mas allá; de modo que el máximo de temperatura se halla situado mas lejos, á medida que para el experimento se usa un prisma de sustancia mas diatermana.

Los rayos químicos se denotan por la accion que ejercen sobre cierto número de sustancias : determinan la combinacion del cloro y del hidrógeno, la del cloro y del óxido de carbono; destruyen ciertos compuestos, tal como el acetato de mercurio, el ácido hidrociánico; de todas las sustancias conocidas la mas impresionable es el cloruro de plata, que pierde su color blanco y se transforma en un compuesto violado.

Se puede decir en general que la accion química es mas fuerte en los rayos mas refrangibles: se muestra activa en el violado, casi nula en el rojo y amarillo. El máximo de accion no siempre ocupa el mismo lugar : este puede variar con la naturaleza de los prismas y con la de la sustancia sometida á la accion: he aqui algunas pruebas: sirviéndose de un prisma de flint, el máximo de accion está mas allá del violado, en donde no existen rayos caloríficos ni rayos luminosos (Wollaston y Seebeck). Aquel máximo es transportado mas lejos en el exterior si se usa un prisma de aceite de casia, segun Hessler. Un prisma de agua lleva el máximo de accion en medio del violado, un prisma de alcol cerca del azul. Para el papel impresionable obtenido con el cloruro de sodio y el nitrato de plata el máximo se halla al final del rayo azul, el violado tiene una accion mas débil; generalmente se manifiesta la alteracion por la luz en los cuerpos que contienen cloro, bromo ó yodo, y en ella está fundado el empleo del daguerrotipo: una lámina de plata bien pulimentada se espone á la accion del yodo hasta que sea cubierta de una capa delgada de yoduro de plata con color amarillo de oro. En este estado se la espone á la accion de la luz en una cámara oscura por tiempo variable segun

la intensidad de la misma luz. Uno ó dos minutos de esposicion al sol son suficientes; algunas veces es preciso prolongar la esposicion por media hora: la lámina impresionada sobre la que no se percibe ninguna imágen es espuesta á la accion del mercurio en una caja cerrada, debiendo durar la operacion el tiempo necesario para que una lámpara de espíritu de vino eleve 1 kilógrama de mercurio á 75.º, y para que el metal se enfrie á 45.º. Se saca la placa y se lava rápidamente con una disolucion de hiposúlfito de sosa, que separa todo el yoduro de plata escedente. El mercurio no ha podido tocar las partes cubiertas de yoduro, pero ha penetrado en las que la luz habia alcanzado: se ha depositado en ellas en forma de gotitas microscópicas que forman los blancos, al paso que la plata resplandeciente forma los negros, no mirándolos en la direccion en que reflejarian regularmente los rayos de luz.

VISION.

El ojo está conformado de manera que refracta los rayos de luz, los hace convergentes, y los reúne sobre la retina en puntos luminosos que retratan la imágen del objeto.

El ojo, *fig. 340*, colocado en el centro de una cavidad huecosa, es un órgano de forma globulosa que recibe en el fondo la estremidad *n* del nervio óptico. Su cubierta exterior *s s* se llama la *cornea ó esclerótica*: en su mayor estension es una membrana densa que no deja paso á los rayos de luz, y toma el nombre de *cornea opaca*; delante del ojo hay una membrana delgada *m m* llamada *cornea transparente*: la *coroida* está aplicada en el interior de la *cornea opaca*, es una membrana celulovascular que contiene materia de color subido. Sobre la *coroida* se halla la retina *r r*, membrana delgada transparente, blanquecina, formada por la expansion del nervio óptico. Delante del ojo en el punto de

union de las corneas opaca y transparente hay una telilla compuesta de dos láminas, una mas exterior y coloreada *ii* se llama el *iris*, tiene en su centro una abertura *p* que forma la *ntña* ó *pupila*, y limita el número de rayos luminosos que pueden penetrar en el ojo. El iris parece que es muscular, se contrae ó se dilata para aumentar ó disminuir la abertura de la pupila, su color determina el del ojo. La membrana que existe detras del iris ha recibido por su forma el nombre de *corona ciliar*, tiene suspendido el humor cristalino *c c*, especie de lente convergente: el espacio entre el iris y la córnea transparente está lleno por el *humor acuoso*, y el espacio entre el cristalino y la retina ó cámara posterior del ojo está lleno por el *humor vítreo* que tiene la consistencia de una jalea transparente.

El efecto general del ojo es hacer convergentes los hazecillos luminosos. La cornea transparente por su forma convexa puede recibir un gran número de rayos aun de los objetos colocados lateralmente: el humor acuoso puesto detras hace experimentar á la luz la primera refraccion, cuyo efecto es introducir en el ojo rayos que no hubieran podido penetrar en él directamente: la pupila mide la cantidad de rayos luminosos que debe entrar en el ojo; se contrae si la luz es muy viva, se dilata si esta es muy débil: algunos animales, y en particular los nocturnos, tienen una membrana singular que estienden como un velo para defenderse de la luz del dia, y que abren por la noche para recibir mas rayos luminosos. El cristalino está compuesto de capas de densidades diferentes, cuyo poder refringente aumenta desde la circunferencia al centro: es mas llano por delante que por detras; y como es mas denso que el humor acuoso, aumenta una vez mas la convergencia de los rayos luminosos; su densidad mayor tambien que la del vítreo, hace que los rayos experimenten al penetrar en este una nueva refraccion que los reúne en el fondo del ojo, *fig. 340*.

El ojo está provisto de algunos órganos accesorios, cuyo ob-

El principal es protegerle : la orbita huesosa le defiende de los choques exteriores, está envuelta así como él en tejidos grasos y flexibles que no pueden moverse en la parte mas delantera del ojo forman los párpados una especie de velo que le cubre enteramente en las necesidades ; las pestañas que los guarnecen se oponen siempre á la entrada de los cuerpos ligeros que flotan en el aire ; y las cejas barnizadas de una materia grasa detienen las gotas de sudor y las echan á un lado. Algunos músculos dirijen el ojo hácia los objetos exteriores; la glándula lagrimal vierte en su superficie un líquido que le conserva húmedo y pulimentado; en fin, si algun cuerpo exterior se introduce en él, llegan las lágrimas en abundancia para separarle.

Un punto luminoso A situado delante del ojo, *fig. 340*, envia un hazecillo de luz que viene á caer sobre la cornea transparente, penetra en el humor acuoso, se refracta en él, atraviesa el cristalino en donde se refracta de nuevo, pasa al vítreo y experimenta aun nueva refraccion viniendo á formar su imágen en el fondo del ojo en A'. Un objeto iluminado emite de cada punto de su superficie un hazecillo que se comporta lo mismo; resulta de esto que se forma en el fondo del ojo una imágen del objeto trastornada ó invertida, así como se puede ver en la *fig. 341*; esta imágen invertida se forma realmente, se la ve con distincion quando despues de haber separado un ojo de buey de sus envolturas se le pone delante una vela encendida : el efecto es sobre todo notable en los animales albinos que tienen la cornea opaca trasparente.

El ojo siempre juzga de un objeto por la direccion del rayo central que llega al fondo del órgano; si este rayo ha experimentado en el camino alguna desviacion á consecuencia de reflexion ó de refraccion, el órgano es incapaz de apreciar lo que ha pasado fuera de él, y cree siempre al objeto en la direccion de la parte de rayo que ha recibido.

El ojo estima la magnitud de un objeto por la de la imagen que se pinta en la retina; esta imagen está siempre en relación con la abertura del ángulo que hacen entre sí los rayos extremos partidos del objeto y que van á cruzarse en la pupila: se llama aquel ángulo visual ú óptico, *fig.* 342. Una consecuencia necesaria de este modo de apreciacion es que un objeto mismo es juzgado mas pequeño ó mayor segun su distancia, lo que confirma por otra parte nuestra experiencia diaria. Asi el mismo objeto *ff* colocado á distancias diferentes del ojo es visto bajo de ángulos ópticos diversos; el mas lejano *f* parece mas pequeño, porque es menos abierto el ángulo óptico.

Se juzga de la distancia de los objetos por la conciencia del movimiento que se imprime á los ojos para fijarlos ambos en el mismo punto, *fig.* 343; cuanto mas lejano está el objeto tanto mas pequeño es el ángulo que forman entre sí los dos ejes ópticos; y cuanto mas aproximado está el objeto el ángulo es mas abierto. A cada instante tenemos que corregir por el juicio las indicaciones inexactas dadas por el ojo: magnitud, distancia, forma, todo debe ser rectificado: un animal visto á lo lejos representa la estatura de un carnero aunque su forma sea la de un caballo ó de un buey, pero le asignamos su verdadera talla. La presencia de un objeto de tamaño conocido nos sirve tambien para asegurar nuestro juicio: nos seria, por ejemplo, difícil decir cual es la magnitud de una torre ó de un arbol mirados desde lejos; pero si hay un hombre al lado, este es un punto de comparacion que utilizamos para juzgar con seguridad. Los objetos lejanos son vistos por nosotros bajo una forma diferente: asi una porcion de agua *a b c d*, *fig.* 344, nos parecerá mas estrecha en su parte mas lejana, porque esta parte será vista por nosotros bajo el ángulo óptico mas pequeño *b d c*; por la misma razon una avenida de árboles ó una galería nos parece mas estrecha y rebajada en su estremidad. Los árboles que terminan una forma de media luna nos parecen desde lejos dis-

puestos en línea recta, porque vistos á distancia no pudiera ser apreciada por el ojo la diferencia del ángulo óptico para cada uno de ellos. A la misma causa debe referirse la apariencia bajo la cual se nos presentan el sol y la luna; los vemos como discos aplastados en razon de su lejanía, y apenas es sensible la diferencia del ángulo óptico de las partes visibles de su superficie.

La distancia á que ve el ojo distintamente un objeto en sus detalles es generalmente de 30 centímetros: los rayos vienen á converger exactamente sobre la retina *a*, *fig.* 345; y alejando ó aproximando el objeto, la vista queda aun bastante clara hasta cierto límite. La distancia de la percepcion distinta varía un poco en cada individuo: hay algunos que tienen los humores del ojo dotados de una refraccion mas fuerte; los rayos partidos de la distancia de la vista distinta se cruzan antes de llegar al fondo del ojo *b*, *fig.* 345; se llaman miopes las personas que tienen los ojos así conformados. Aproximando los objetos *c*, *fig.* 345, los rayos caen mas divergentes sobre la pupila, y el esceso de fuerza refringente del ojo es necesario para hacerlos cruzar sobre la retina; tambien los miopes ven distintamente de cerca. Para corregir el defecto de los miopes se les pone ante los ojos lentes convexos divergentes *d*, *fig.* 345, el lente hace diverger los rayos luminosos, y estos ya mas divergentes van á cruzarse al fondo del ojo. Los présbytas, por el contrario que los miopes, tienen los humores del ojo muy poco refringentes, de modo que los rayos partidos del punto de la vista distinta solo se cruzan detras del ojo *e*, *fig.* 345. Para los présbytas la imágen no se forma claramente sobre la retina sino cuando el objeto está mas lejano *f*, *fig.* 345, porque entonces los hazecillos que llegan, siendo menos divergentes, son suficientemente reunidos por el ojo sobre la misma retina. Los présbytas ven pues distintamente los objetos lejanos, pero como estos envian una luz débil, no pueden aquellos percibir los detalles. Se corrige el defecto de los présbytas con anteojos de vidrio convergente *g*, *fig.* 345,

deben ser elegidos de modo que colocado el objeto á la distancia de la vista distinta haga el vidrio en los rayos la porcion de efecto que el ojo no puede realizar. En la enfermedad llamada catarata el cristalino llega á ponerse opaco y no deja paso á la luz: para curar aquella enfermedad es preciso separarle, á cuyo efecto se practica una abertura en el humor vítreo con una aguja, se separa el cristalino y ó se le estrae, ó se le obliga á caer al fondo del ojo. Los rayos de luz pueden entonces reunirse en la retina por el efecto de la refraccion que producen el humor acneo y el vítreo; pero como esta refraccion es muy débil, debe ponerse ante el ojo una luneta bastante convergente.

La refraccion de la luz que se verifica en el ojo no produce imágenes coloradas: algunos físicos lo atribuyen á que las diferentes capas que componen el cristalino hacen el ojo acromático; segun otros, la ausencia de imágenes coloradas provendria de que los hazecillos luminosos que penetran en el ojo tienen poca latitud, y de que siendo muy pequeña la distancia focal del ojo, los rayos no pueden estar muy separados unos de otros.

Las impresiones de la luz sobre el ojo persisten por algun tiempo. Mr. Plateau ha concluido de sus esperiencias que para que una impresion fuese completa era necesario que la luz obra-se algun tiempo. La impresion dura tanto mas tiempo, cuanto mas viva ha sido y menos prolongada; pero permanece por mas tiempo la misma cuando la luz ha sido menos intensa: la persistencia de las impresiones produce algunos fenómenos curiosos: asi cuando se hace girar un carbon candente se percibe un círculo de fuego; un poliedro que gira vivamente sobre sí mismo tiene la apariencia de una esfera: vemos á una cuerda que vibra como si fuera un losange ó rombo prolongado; no percibimos los radios de una rueda que voltea con celeridad, y se ve á un cohete dejar largo rastro de luz en su marcha, porque la impresion producida sobre el ojo persiste aun cuando los puntos iluminados han mudado

de lugar; el ojo ve en el mismo instante el punto iluminado por la sensacion que nace y por las que aun no estan estinguidas.

El ojo percibe en algunas circunstancias además de las imágenes ordinarias otras accidentales que suceden á la vista del objeto real; tienen estas siempre un color contrario al de las imágenes que resultan de las impresiones primitivas. Mr. Plateau ha dado una teoría sobre la formacion de estas imágenes, la cual tiene la ventaja de ofrecer una esplicacion fácil. La retina que recibe una impresion es separada de su posicion, vuelve á ella, pasa de la misma, y oscila asi por algun tiempo. El movimiento de la retina se comunica á sus inmediaciones, y va debilitándose mas y mas. Las partes mas lejanas se establecen en un estado opuesto por un efecto análogo al que produce las ondas condensadas y dilatadas.

Fijos los ojos sobre un objeto colorado colocado sobre fondo negro, la impresion se establece gradualmente; si despues se dirige la vista á un carton blanco, se ve una imagen del color complementario de la primera; muchas veces el color accidental desaparece y renace. Sale muy bien la esperiencia operando de la manera siguiente, indicada por Plateau: se cierra un ojo y se le cubre con un pañuelo; con el otro se mira por un tubo enegrecido de 0,5 metros de longitud y 0,03 m. de diámetro á un carton rojo bien iluminado; se separa rápidamente el tubo y el carton, y se percibe en el techo del aposento una mancha circular verde que se vuelve roja, despues verde, y asi repetidas veces disminuyendo siempre de intensidad. Estos efectos pueden referirse á los cambios de posicion sucesivos que resultan de las oscilaciones de la retina.

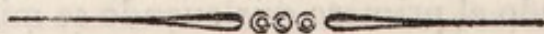
Buffon ha notado el primero que cuando se mira largo tiempo un objeto colorado puesto sobre un carton blanco, se ve por último al redor del objeto una auréola de su color complementario; el mismo fenómeno se produce si pegando una tira de carton negro sobre

un papel colorado, transluciente, se la pone entre el ojo y el sol, pues aparece teñida del color del papel.

La impresion producida sobre la retina está rodeada tambien de una auréola accidental, pero precedida de otra auréola mas estrecha del mismo color que el objeto; la causa de esto debe hallarse en la pequeña porcion de la retina arrastrada en el movimiento que la impresion de la luz determina; por esta auréola debe explicarse el fenómeno de irradiacion que consiste en que los cuerpos blancos ó de colores vivos aparecen mayores que los negros y oscuros: si, por ejemplo, se comparan dos discos iguales, el uno blanco sobre fondo negro, y el otro negro sobre fondo blanco, el primero aparece mayor que el otro, porque la impresion blanca está rodeada de una auréola del mismo color que se estiende sobre lo negro y agranda la imágen.

Las auréolas que se estienden por la vecindad de los cuerpos colorados modifican los colores de los cuerpos inmediatos cubriéndoles de su tinta complementaria; asi el rojo produce un tinte verde en su alrededor, el azul le produce naranjado, y el amarillo violado. Resulta de esto que los colores diferentes se avivan si son complementarios uno de otro; el rojo y el verde colocados uno allado del otro son mas brillantes; lo mismo puede decirse del azul y del naranjado: se perjudican por el contrario cuando vierten uno sobre otro tintas opuestas; todo color puesto cerca del rojo tomará un tinte verdoso, y cerca del violado le tomará amarillo. Es importante tener en cuenta los efectos de los colores complementarios en la pintura y la tapicería.

INSTRUMENTOS DE OPTICA.



Los instrumentos de óptica resultan de diversas combinaciones de espejos y de lentes; tienen por objeto proporcionar imáge-

nes limpias y esmeradas de los cuerpos. Cuando estos estan muy lejanos se reunen los rayos paralelos y poco intensos que emanan de ellos para concentrarlos por medio de espejos ó lentes, de modo que se obtenga una imágen bastante iluminada; cuando son los objetos muy pequeños se producen imágenes aumentadas vivamente iluminadas.

Cámara negra. La cámara negra ú oscura, *fig.* 346, se compone de una caja cerrada provista en su parte anterior de un tubo móvil *t* en el cual se halla engastado un lente convergente. Los rayos partidos de un objeto situado delante del lente van á pintar en el fondo de la caja la imágen del objeto invertida. El fondo de la caja está formado por una lámina de vidrio deslustrado, detras de la cual puede calcarse la imágen; y para mayor comodidad se pone en la caja un espejo *m* bajo la inclinacion de 45° . Los hazecillos de luz se reflejan en él y vienen á formar la imágen en *g*: la cubierta *c* está guarnecida ó pegada sobre los lados para dejar en la oscuridad á la lámina que recibe la imágen. El tubo *t* es movable porque la imágen no se produce siempre en el mismo lugar, segun la distancia de los objetos, y asi se aproxima ó se separa el lente hasta que se obtenga una imágen perfectamente limpia. Se emplea tambien la disposicion de la *fig.* 347, en la que el espejo *m* ocupa el exterior de la caja y la luz, despues de haber atravesado el lente *l* viene á formar la imágen sobre el plano *p*. Esta disposicion es mas cómoda para el dibujador.

Cámara clara. Ha sido imaginada por Wollaston para tener la imágen de un objeto ó de un paisaje, y despues ha sido modificada por Amici: se compone, *fig.* 348, de una lámina de vidrio inclinada *g g* y de un prisma triangular *p*, de ángulo recto, con una de sus superficies perpendicular á la lámina, y con la hypotenusa vuelta hácia abajo. Los hazecillos desprendidos de los objetos caen sobre el prisma en *p*, se refractan, despues reflejan en *p'*, salen del prisma, y van á hacerse paralelos y verticales

en r , reflejándose sobre la lámina de vidrio. El ojo recibe estos hazecillos, percibe el objeto en la direccion $r r'$, y la imágen se diseña sobre una hoja de papel en donde se la puede trazar con el lapicero.

Lentes. El lente ó microscopio simple, *fig.* 329, se reduce á un lente ó luneta sencilla de foco corto; el objeto que se quiere ver agrandado se halla colocado en $p b$ mas cerca que el foco de el lente; el ojo recibe los hazecillos divergentes $p' p' b' b'$, y ve la imágen virtual aumentada y separada á distancia que difiere poco de la vista distinta. Cada observador debe buscar el punto en que ve bien distintamente, y el aumento del objeto es tanto mayor, cuanto mas corto sea el foco del lente.

Linterna mágica. La caja de hoja de lata, *fig.* 349, contiene una lámpara; en la parte posterior se halla un espejo m cóncavo, y en la anterior un lente convergente L . Esta parte del aparato tiene por objeto aclarar vivamente un cuerpo $o o'$ puesto al lado del lente; delante se hallan otros dos lentes $L' L''$ movibles en un tubo de modo que se pueda aproximarles ó alejarles. El diafragma $d d$ colocado entre ellos está destinado á no dejar paso mas que á los rayos de luz regularmente refractados. De el objeto o , fuertemente iluminado por detrás, parten rayos de luz que se convierten en hazecillos paralelos cuando salen del lente L , los forman convergentes al salir del lente L'' , y van á pintar en la pared la figura del objeto $o' o'$ invertida y amplificada. Debe tantearse aproximando ó alejando uno á otro los lentes $L' L''$ hasta que se haya hallado el punto en que la imágen es suficientemente limpia é iluminada; se ve facilmente por la marcha de los rayos, porque aparece invertida, y se sabe que en efecto son colocados al revés, lo de abajo arriba, los vidrios en donde se hallan pintados los personajes de la linterna mágica.

Microscopio solar. Es propiamente hablando una linterna mágica iluminada por el sol; y como se dispone de una luz muy

intensa, puede amplificarse mucho la imágen de los objetos sin dejar de ser perfectamente distinta. Los rayos paralelos del sol $r r$, *fig.* 351, son reflejados sobre una lámina g , concentrados por un lente l , y diseminados despues de haberse cruzado detras de un segundo lente de foco convergente l' , van á representar una imágen fuertemente iluminada $i i$. Los objetos que se quieren ampliar estan colocados bajo de un vidrio entre los dos lentes en e muy cerca del foco de la primera, y reciben alli una luz intensa. Se usa el microscopio solar para obtener grandes imágenes de animales muy pequeños. Si se examina un líquido en el que existe una sustancia cristalina, se puede seguir la marcha de la formacion de los cristales.

Microscopio. Este se compone esencialmente de dos lentes de foco corto: la primera a , *fig.* 352, va á formar detras de ella en i' una imágen aumentada del objeto i , con la condicion que este se halla colocado delante del lente y un poco mas lejos que la distancia focal. El segundo lente b está situado á tal distancia de la imágen, que esta se halla entre aquel lente y su foco. El mismo lente b obra sobre esta imágen á la manera de un microscopio simple, y la amplifica aun dando la imágen i'' . El aumento obtenido con el microscopio proviene, pues, de una primera amplificacion que resulta de la posicion del objeto un poco delante del foco del primer lente, despues de una segunda amplificacion que es la consecuencia de la posicion de la imágen mas cerca que el foco del segundo lente. El microscopio asi construido produce una descomposicion de los rayos luminosos que perjudica á la claridad de las imágenes. Como no se pueden acromatizar facilmente lentes tan pequeños, se ha procurado llegar por otros medios al mismo resultado, y se ha conseguido introduciendo en el microscopio otro tercer vidrio convergente. El microscopio está compuesto de tres tubos metidos unos en otros; tiene el porta-ocular, el porta objetivo y un anillo circular que avanza ó retrocede á voluntad.

y que lleva el objeto, sirve para ponerle en la posición mas favorable para la visión distinta. Se ilumina el objeto por medio de una lámina ligeramente cóncava, que recibe la luz del cielo, ó con una bujía por medio de un vidrio convergente; si el cuerpo es transparente se le ilumina por debajo, y si es opaco por la parte superior.

Anteojo astronómico. Es el microscopio con un objetivo de foco muy largo, *fig.* 350: está destinado á suministrar la imagen de los objetos muy lejanos; los rayos que caen sobre el objetivo *o* son casi paralelos, de modo que la imagen se forma invertida en el foco principal; el objetivo es muy grande para reunir mas luz, y puede ser acromático. Los hazecillos que han formado la imagen *i* van á caer sobre el ocular *l* que obra en ellos á la manera de un microscopio simple, y forma una imagen virtual aumentada *i'* á la distancia de la vista distinta. El ocular es aproximado ó separado á voluntad, hasta que el observador cuya vista es mas corta ó mas larga percibe una imagen del objeto perfectamente limpia.

Anteojo de Galileo. El anteojo de Galileo, *fig.* 353, se parece mucho al astronómico, pero produce imágenes rectas de los objetos. El objetivo *o* es tambien un lente convergente, y los objetos son vistos á una distancia lejana de su foco: la imagen va á formarse en *r r'* invertida, mas pequeña y detras del objetivo. Delante del punto en que se formaria esta imagen se halla el ocular *l*, que consiste en un vidrio bi-cóncavo; recibe los hazecillos que deberian formar la imagen y los hace divergentes; el ojo ve entonces una imagen virtual del objeto á la distancia de la vista distinta, pero aumentada y recta. No es indispensable acromatizar el objetivo del anteojo de Galileo; si sirve principalmente por la tardecita para el espectáculo, pues la luz es poco viva, los colores poco perceptibles: sin embargo se ponen en él á veces vidrios acromáticos, y aun puede obtenerse el acromatismo sirviéndose de un ocular y un objetivo hechos con materia diferente; la separa-

cion de los rayos colorados es poco perceptible entonces á causa de las refracciones en sentido contrario, que son producidas por los dos vidrios. Por lo demás, cada observador adelanta ó retrasa el ocular hasta hallar la posicion mas conveniente para su vista.

Catalejo. El catalejo, *fig.* 354, anteojo de larga vista ó terrestre difiere en sus efectos del astronómico en que hace ver los objetos rectos, y del de Galileo en que ofrece un campo mas estenso. Se compone de cuatro vidrios viconvexos: el uno *o* sirve de objetivo, el otro *l* de ocular; un tercero *l'* se halla colocado detras del objetivo de modo que tenga su foco principal en el mismo lugar en que se forma la imágen *i*; los rayos salen de alli paralelos, se cruzan, y van á caer paralelos tambien sobre el cuarto vidrio *l''*. La nueva imágen *i'* que se forma está invertida con relacion á la precedente, y por consiguiente recta con respecto al objeto; el ocular *l* recibe los rayos que emanan de él, los hace diverger así como un microscopio simple, y es causa de que se vea una imágen recta y aumentada en *i'' i'''*.

Telescopios. El telescopio mas sencillo, *fig.* 355, se compone de un espejo cóncavo *m*, y de un lente convergente *l*. Los rayos paralelos *r r* que llegan de un astro caen sobre el espejo cóncavo *m*, y vienen á cruzarse en su foco *f*. A alguna distancia hay un lente convergente *l*, dispuesto de modo que la imágen del astro esté entre ella y su foco, y el ojo colocado delante del lente percibe con distincion una imágen aumentada.

Teloscopio de Nevvton, *fig.* 356. Difiere del instrumento precedente en que los rayos antes de concurrir á formar la imágen son reflejados por un espejito plano *p* inclinado $45.^{\circ}$ sobre el eje del telescopio: la imágen es trasportada entonces hácia el lado, y puede ser observada por medio de un ocular *o* cuyo eje es perpendicular al del espejo encorvado. Como la segunda reflexion produce una pérdida considerable de luz, Nevvton la reemplazó despues por un prisma de ángulo diedro recto, sobre cuya hipote-

nusa se opera la reflexion total de los hazecillos luminosos.

Telescopio de Gregory. Los dos telescopios precedentes tienen el inconveniente de producir imágenes que no se hallan colocadas del mismo modo que el objeto. No se le conoce ya en la disposicion imaginada por Gregory, *fig.* 357. Los rayos *rr* despues de haber sido reflejados, en vez de caer sobre un espejo plano, son dirigidos hácia el espejito cóncavo *o'* que los vuelve á su centro, en donde se ha practicado una abertura para dejarlos pasar; allí son recibidos sobre el objetivo *o*, y el ojo puesto en el eje mismo del telescopio puede ver los objetos en su verdadera posicion.

INTERFERENCIAS, DIFRACCION, POLARIZACION DE LA LUZ.

En la teoria de las ondulaciones el éter que ocupa el vacío tiene una densidad constante y una elasticidad igual en todos sentidos; el que llena el intervalo entre las partículas materiales de los cuerpos puede no tener siempre igual densidad, y su elasticidad varía segun las direcciones en los cristales, cuya forma primitiva no es un poliedro regular. Las vibraciones del éter que producen la luz son escesivamente rápidas; el amarillo que resulta de las vibraciones medias corresponde por lo menos á quinientas sesenta y cuatro mil vibraciones por millonésima de segundo. El movimiento de una molécula de éter se transmite con igual velocidad á todas las demas que ejecutan cierta sucesion de vibraciones de la misma duracion que las producidas en el origen. La longitud de la ondulacion es la distancia que separa dos moléculas de éter animadas de la misma velocidad de vibracion, y tal que la molécula anterior esté atrasada sobre la otra una oscilacion completa. Estas vibraciones de la luz se hacen perpendicularmente á los rayos luminosos, y por consiguiente en distinta direccion que la propa-

gacion de la luz. Dos moléculas de éter situadas sobre un mismo rayo á la distancia de un número entero de medias ondulaciones tienen vibraciones de la misma velocidad y del mismo signo, mientras que cuando la distancia de las moléculas entre sí difiere en un número impar de medias ondulaciones tienen la misma velocidad pero en sentido contrario. Una molécula de éter que recibe al mismo tiempo muchos sacudimientos obedece á todos; y conforme al principio de la coexistencia de los pequeños movimientos, las ondas se sobreponen sin perjudicarse. Cuando acontece que dos sistemas de ondas obran á la vez sobre una molécula etérea, su accion se acumula ó reúne, y la luz es mas viva si las dos ondas tienen un número par de medias ondulaciones, ó en otros términos, si las moléculas etéreas vibran en el mismo sentido; pero si las ondas tienen un movimiento vibratorio en sentido opuesto, imprimen á la molécula etérea velocidades iguales pero de signo contrario, y queda en reposo; *la luz añadida á la luz produce la oscuridad*: he aqui el principio de las interferencias descubiertas por Young, y la esperiencia prueba su exactitud cuando dos hazecillos poco inclinados se encuentran bajo un ángulo muy pequeño. Fresnel ha ejecutado esta esperiencia con la luz reflejada sobre dos espejos planos, inclinados de modo que forman entre sí un ángulo muy obtuso, y obtuvo imágenes alternativamente coloradas y oscurecidas; con una sola luz, la roja por ejemplo, se producen cintas ó tiras rojas y negras, y la luz blanca las da irisadas.

La difraccion de la luz pertenece al mismo orden de fenómenos: consiste en la modificacion que experimenta la luz á su paso por el corte de los cuerpos. Asi dos hazecillos de luz introducidos en una cámara oscura por una abertura muy pequeña, en vez de sombras bien marcadas detras de un obstáculo, las dan con placas coloradas en los bordes; y si el cuerpo interpuesto es muy estrecho habrá aun franjas en el interior de su sombra.

Doble refraccion. Al atravesar un hazecillo de luz ciertos

cuerpos puede dar origen á dos hazecillos refractados, y los cuerpos que poseen esta propiedad se llaman doblemente refringentes, ó se dice que estan dotados de la doble refraccion, propiedad que no se halla en los líquidos ni en los gases; los sólidos la poseen todos, unos accidentalmente cuando experimentan alguna accion fisica ó mecánica como un enfriamiento repentino ó una compresion desigual, los otros constantemente, tales son los cristalizados regularmente que no tienen por forma primitiva ni el cubo ni el octaedro regular ni el dodecaedro romboidal. La doble refraccion es notable en los cristales romboédricos de carbonato de cal, que tienen el nombre de espato de islandia: mirando al través de un cristal de esta sustancia un alfiler ó una raya trazada en un papel se perciben dos; y si se hace jirar al romboedro vemos que las dos imágenes toman un movimiento regular.

Los cuerpos dotados de la doble refraccion tienen uno ó dos ejes. El eje es la direccion segun la cual un rayo de luz no se divide. Si solo en una direccion hay indivisibilidad, el cristal es de un solo eje; y si se observa en dos direcciones tendrá dos ejes, En el espato de islandia, tomado como ejemplo de cristal con un solo eje, puede ser considerado este cristal como una aglomeracion de moléculas romboédricas, dispuestas paralelamente unas al lado de otras; el eje óptico de cada uno de estos pequeños romboedros es una línea que pasa por los dos ángulos sólidos obtusos; hay pues tantos ejes como moléculas, pero todos esos ejes son paralelos entre sí: en el cristal entero el eje pasa igualmente por los ángulos sólidos obtusos opuestos. Es de notar, que en los cristales de un eje coinciden siempre el eje óptico y el cristalográfico.

Un rayo nunca experimenta la doble refraccion cuando atraviesa un cristal segun su eje ó paralelamente á su seccion principal, es decir, segun un plano paralelo al eje del cristal.

Toda vez que el rayo no se mueve segun el eje del cristal, se divide en otros dos rayos inclinados el uno al otro; uno de

ellos obedece á la ley de la refraccion ordinaria, su plano coincide con el de incidencia; los senos de refraccion y de incidencia estan en una relacion constante, y se le llama rayo ordinario. El rayo seguido ó 'extraordinario no obedece á las mismas leyes, su plano no coincide siempre con el de incidencia, y los senos de refraccion y de incidencia no se hallan en una relacion constante.

Hay en la marcha del rayo extraordinario dos direcciones notables: 1.^a El rayo extraordinario queda en el plano de incidencia siempre que este plano coincide con la prolongacion de la seccion principal, pues esta seccion es un plano llevado por el eje perpendicularmente á una superficie natural ó artificial: en efecto, si se hace girar en su plano un cristal de caras paralelas y le sigue la imagen extraordinaria, se le ve describir un círculo al rededor de la ordinaria, y pasa dos veces el plano de incidencia cuando este coincide con la seccion principal en la cara de entrada: 2.^a El rayo extraordinario tiene el mismo plano de refraccion que el ordinario cuando el rayo natural tiene por plano de incidencia un plano perpendicular al eje del cristal.

En la separacion de los dos hazecillos refractados, el extraordinario se separa mas del eje del cristal como si existiera en este una fuerza repulsiva, pero en otros cristales el hazecillo extraordinario se aproxima por el contrario al eje del cristal. Esto hace dividir los cristales de un eje en repulsivos ó negativos, y en atractivos ó positivos.

En los cristales de dos ejes se ven dos direcciones segun las cuales no se divide el rayo: determinados los ejes para un punto del cristal, las líneas conducidas paralelamente á estos ejes por otro punto son los ejes de este otro punto. Aqui no hay rayo ordinario; ninguno de los dos rayos refractados sigue la ley general de la refraccion.

CRISTALES DE UN EJE.

CRISTALES DE DOS EJES.

<i>Negativos.</i>	<i>Positivos.</i>	
_____	_____	Carbonato de barita.
Espato de Islandia.	Cuarzo.	Nitrato de potasa.
Turmalina.	Circon.	Borato de sosa.
Esmeralda.	Oxido de hierro.	Sulfato de cal.
Mica.	— de estaño.	Carbonato de sosa.
Fosfato de plomo..	Yelo.	Acido tártrico.
Prusiato de potasa &c.	Plata roja.	Azucar &c.

POLARIZACION DE LA LUZ.

Los rayos de luz adquieren en ciertas circunstancias propiedades nuevas, que han hecho decir que estaban polarizados porque en la teoria de la emision se supone que las moléculas luminosas han vuelto entonces todas á un mismo lado, como si tubieran polos que pudieran colocarse á la manera de los de una pila de pequeños imanes. La luz polarizada tiene tres propiedades características.

1.^a Un rayo polarizado da una sola imágen pasando al través de un prisma birrefringente cuando la seccion principal de este prisma es paralela ó perpendicular al plano segun el cual ha sido reflejado y polarizado el rayo.

2.^a Un rayo polarizado no experimenta reflexion cayendo sobre una lámina de vidrio bajo un ángulo de $35^{\circ} 25'$ cuando el plano de incidencia sobre esta segunda lámina es perpendicular al plano de incidencia sobre la lámina en que el rayo ha sido reflejado y polarizado.

3.^a Un rayo polarizado no se trasmite al través de una placa de turmalina, cuyo eje es paralelo al plano de reflexion, y se trasmite entero cuando el eje de la turmalina es perpendicular al plano de reflexion.

Las circunstancias principales que producen la polarizacion de la luz son la reflexion, la refraccion simple y la refraccion doble.

Polarizacion por reflexion. Un rayo de luz que cae sobre una placa de vidrio haciendo con la superficie un ángulo de $35^{\circ} 25'$ es polarizado. Otras sustancias polarizan la luz bajo ángulos diferentes; la mas eficaz es una placa de obsidiana que recibe la luz bajo de un ángulo de $33 \frac{1}{2}$. Por lo demás casi nunca es polarizada toda la luz: el diamante y el azufre en particular solo polarizan una fraccion de la luz incidente.

Se llama *ángulo de polarizacion* el que debe formar el rayo incidente con la superficie reflectante para que el rayo reflejado sea polarizado lo mas completamente posible. Se llama *plano de polarizacion* aquel segun el cual ha sido reflejada la luz que se halla polarizada por reflexion; se averigua siempre facilmente cual es este plano de polarizacion de un rayo dirigiéndole sobre una placa de turmalina; cuando se estingue consiste en que el plano de polarizacion es paralelo al eje de la placa.

Para estudiar las propiedades de la luz polarizada se usa el aparato *fig. 358*; *t t* es un tubo de cobre provisto de un diafragma *d d'* para limitar la cantidad de luz; *g* es una placa de vidrio negro sobre la cual se polariza la luz por reflexion; el eje del tubo forma con ella un ángulo de $35^{\circ} 25'$; *n* es un anillo que entra rozando las paredes en *t y* que puede girar al rededor del eje del tubo; *p p'* es un prisma acromático birrefringente compuesto de un prisma de espato de islandia y de otro de vidrio; *r r* son travesaños que llevan los quicios *a a* sobre los cuales puede girar una placa de vidrio negro. En fin, *m* es una placa de turmalina cuyas dos caras son paralelas al eje. Se pueden adaptar sucesivamente al tubo cada una de estas tres piezas.

Se prueban por medio del aparato descrito las tres propiedades esenciales de la luz polarizada: se coloca desde luego el prisma birre-

fringente, y se hace girar el anillo $n\ n$: el rayo polarizado produce una sola imagen cuando la seccion principal de este prisma (plano paralelo al eje) es paralelo ó perpendicular al plano de reflexion. Esto acontece en cuatro posiciones rectangulares la una con respecto á la otra: al azimut cero, á 90° , á 180° , á 270° . Se reemplaza el prisma birrefringente por la placa móvil, se da á esta placa una inclinacion tal que el hazecillo polarizado le reencontra bajo de un ángulo de $35^\circ 25'$, y se coloca el ojo en una posicion conveniente para ver la imagen reflejada; haciendo entonces girar al anillo, y por consiguiente á la placa, sin cambiar la inclinacion de este, se reconoce que la imagen reflejada es completamente estinguida cuando el plano de reflexion sobre la segunda placa es perpendicular al plano de reflexion sobre la primera.

Polarizacion por simple refraccion. Parte de la luz que cae sobre la lámina de vidrio bajo el ángulo de polarizacion la atraviesa refractándose: otra parte es polarizada segun un plano perpendicular al plano de reflexion, su intensidad es la misma que la del rayo reflejado. Al mismo tiempo una porcion de luz natural penetra al través de la lámina; y si se pone otra lámina debajo de la primera, aquella luz natural sufre aun parcialmente la reflexion y la polarizacion; de modo que con un número suficiente de placas se puede llegar á no dejar paso mas que á la luz polarizada, que puede entonces atravesar un sistema semejante de placas sin experimentar cambios. Resulta de esto que haciendo caer bajo el ángulo de la polarizacion un rayo polarizado sobre un monton de láminas, pasa entero cuando el plano de incidencia es perpendicular al de polarizacion, y se estingue del todo si los dos planos son paralelos. Esta misma propiedad se observa en la turmalina considerada por esta razon como compuesta de láminas reunidas: la luz no es transmitida al través cuando el eje de la turmalina es paralelo al plano de

polarizacion, lo que se puede probar con la placa de turmalina *m* del aparato *fig.* 358.

Polarizacion por doble refraccion. Los dos rayos que han atravesado un cristal birrefringente son polarizados pero en planos diferentes, á saber, el rayo ordinario en el plano de inmergencia, y el extraordinario perpendicular á este plano. De esto resulta que el rayo ordinario tiene todas las propiedades de la luz polarizada por reflexion sobre el vidrio bajo un ángulo de $35^{\circ} 25'$, y que el extraordinario se comporta como la luz polarizada por refraccion bajo un ángulo igual, lo que puede comprobarse estudiando sucesivamente cada uno de estos hazecillos con el prisma acromático birrefringente. El hazecillo polarizado reflejado ó el refractado ordinario son recibidos sobre el prisma; y siendo la seccion principal de este paralela al plano de polarizacion solo se produce una imagen; volviendo un poco el prisma se manifiesta la imagen extraordinaria, si bien algo pálida, su intensidad aumenta á medida que se le hace dar mas vuelta. Las dos imágenes tienen la misma intensidad cuando ha llegado á 45° : desde aqui, como que dicho prisma se aproxima mas y mas al punto en que seria perpendicular al plano de reflexion, y en donde se extinguiria la imagen ordinaria, esta palidece á su turno y es enteramente estinguida á los 90° ; partiendo desde este momento la imagen extraordinaria palidece, y la ordinaria reaparece y aumenta de intensidad hasta los 180 grados en donde queda sola. Efectos análogos pero en sentido inverso para la persistencia de las imágenes se manifestarian si se comenzase la experiencia con el rayo polarizado por refraccion simple, ó con el extraordinario que resulta de la refraccion doble.

Polarizacion circular. Toda lámina de un cristal de un solo eje, tallada perpendicularmente á este eje, y que recibe normalmente un rayo de luz polarizado le trasmite sin alteracion. Solo hace escepcion el cuarzo; la luz que le ha atravesado es tambien polarizada, pero su plano de polarizacion ha cambiado; ha girado

en ciertas ocasiones hácia la derecha, y con otras sustancias iguales hácia la izquierda. Se halla la cantidad de esta rotacion recibiendo el rayo que ha atravesado al cuarzo sobre el prisma acromático birrefringente; para extinguir las dos imágenes, ó en otros términos, para que el plano de polarizacion sea paralelo á la seccion principal del prisma debe hacerse girar á este cierta cantidad á derecha ó á izquierda, pues esta cantidad mide la rotacion que se ha operado en el plano de polarizacion.

Los diversos colores del espectro experimentan en su plano de polarizacion rotaciones tanto mayores cuanto mas refrangibles son. Mr. Biot ha hallado que una lámina de cuarzo de 1 milímetro tiene para el rojo extremo una rotacion de $17^{\circ} 29' 47''$, y para el violado de $44^{\circ} 4', 58''$. De esta gran diferencia resulta que un rayo de luz blanca polarizada se divide en rayos de todos colores polarizados en los planos diferentes. Si aquel hazecillo es en seguida descompuesto en otros dos polarizados de ángulos rectos por su paso al través de un prisma birrefringente, los colores se dividen en proporciones desiguales entre los dos hazecillos que producen imágenes coloradas complementarias la una de la otra. Los colores cambian cuando gira el prisma al rededor de su rayo, de modo que en el curso de media revolucion la imagen extraordinaria que, por ejemplo, era roja llega á ser naranjada, amarilla, verde, verde amarillenta, violada, despues de lo cual se reproducen sucesivamente las mismas séries de tintas. Esta coloracion de las dos imágenes es un indicio cierto de la rotacion.

Cuando la accion rotatoria es muy débil se pudiera desconocerla, y tambien si la materia siendo colorada estingue ciertos rayos; pero cualquiera que sea la cantidad absoluta de la rotacion hay una direccion del prisma, próxima aunque diferente del plano de polarizacion primitiva, para la cual la imagen extraordinaria tiene un minimum de intensidad absoluta; la tinta propia de la imagen extraordinaria en este minimum es purpurea violada

que corresponde al límite del rojo y violado. En las acciones muy débiles la imagen se extingue enteramente; pero antes de extinguirse el *mínimum* es azul, y mas adelante roja, y puede hallarse el grado exacto que le suministra observando el punto en que aparecen el azul y el rojo, y tomando el grado intermedio segun el término medio de las observaciones. Es fácil concebir que si una parte de los rayos habia desaparecido en la materia observada, no se percibirían ya las tintas indicadas; pero siempre habría un *mínimum* de intensidad que se hallaria fuera del plano de polarizacion, y de donde se deduciria la rotacion.

Mr. Biot ha observado además del cuarzo otros cuerpos que poseen la propiedad de desviar los rayos de luz polarizada. La rotacion se verifica con unos hácia la derecha y con otros á la izquierda; es siempre proporcional para cada uno al espesor sobre que se hace la observacion, y por consiguiente al número de partículas; cambiando tambien la distancia de las partículas por una materia inerte, haciendo, por ejemplo, una disolucion con un líquido que no tenga rotacion, la accion queda dependiente de la cantidad de partículas, siendo constante para el mismo número de estas diseminadas en el trayecto del rayo luminoso. Además algunos líquidos de accion contraria no pierden su propiedad cuando se mezclan, el efecto es medio.

Las materias que se separan á la derecha son la destrina, el almidon, los azúcares de caña, de leche, de almidon, de uvas en granos, la esencia de limon y las de otros frutos de esperídeas &c. Se expresa la inclinacion por el signo $+$ y una flecha dirigida á la derecha, y la intensidad por el número de grados; el todo conduce á un espesor de 100 milímetros, y á una densidad 1: ejemplo, Rotacion en la esencia de limon $+ 80,916$.

La goma, el azucar de uvas en los zumos de los frutos, las esencias de trementina, de nebrina, de cubeba, de copaiba &c. desvian á la izquierda el plano de polarizacion; se usa el signo $-$ en

este caso, y de la flecha en sentido inverso: ejemplo, Esencia de trementina - $43^{\circ} 38'$.

He aquí el modo de hacer las observaciones: Saliendo del tubo *t*, *fig.* 358, el rayo de luz polarizado atraviesa la placa de cuarzo en el sentido de su eje, ó pasa al través de un tubo de longitud conocida que contiene el líquido objeto de la observacion. Colocado el aparato en una cámara oscura, el observador hace girar el prisma hasta que haya hallado el *mínimum* de intensidad de la imagen extraordinaria. Operando con una sola luz se consigue un hazecillo de refrangibilidad igual, y el arco de rotacion es sensiblemente el mismo para todos los rayos que le componen; si estaban sobre un mismo plano de polarizacion antes de entrar, lo estan todos tambien al salir. No se trata pues mas que de volver el prisma de modo que siendo paralela á este nuevo plano la seccion principal, la imagen extraordinaria llegue á ser completamente nula. Se hace mover la alidada que acompaña al prisma al rededor de esta posicion á derecha é izquierda de modo que se detenga en donde la imagen vuelva á parecer sensiblemente, y el medio entre las dos posiciones extremas da el *cero* de la imagen ó el *mínimum* de intensidad. Se usa para esta operacion un vidrio colorado de rojo por el óxido de cobre, el de los cristales de las iglesias antiguas: este es el mejor medio de observacion; y no cambiando en nada el resultado, su color particular puede servir para líquidos colorados; si se quiere dirigir la observacion al rayo amarillo, se multiplica la cifra obtenida por $30/23$.

El vidrio rojo tiene para las sustancias de una rotacion débil el inconveniente de debilitar aun el fenómeno al mismo tiempo que fija la medida para el color que tiene la desviacion mas débil.

Se opera en este caso con la luz blanca, aprovechando el hecho de que la debilidad de la rotacion imprime siempre á la imagen extraordinaria variaciones de tintas muy rápidas al rededor del *mínimum* de intensidad. Con un rayo blanco los planos de

polarizacion de cada una de las luces coloradas no son desviados en una cantidad igual, lo son en la relacion de la refrangibilidad de estos rayos colorados. Haciendo girar pues al drisma para oproximar su seccion principal á este arco de polarizacion se extinguirán desde luego los rayos menos refrangibles, cuyo plano de polarizacion se hallará el primero paralelo á la seccion principal del prisma, despues sucesivamente los siguientes, y al fin los mas refrangibles. El minimum de coloracion será obtenido en el medio en el punto en que el prisma estingue el mayor número de rayos; en este momento habiendo girado el prisma de un lado ó de otro, la tinta cambia aumentando su intensidad, pues el minimum es dado por el azul violado muy débil en luz y corresponde á la rotacion media del amarillo del espectro. La ausencia del amarillo, el mas brillante de todos los colores, hace muy sombría la imagen; esta tinta es precedida de un bello azul y seguida de violado purpúreo, de modo que se la reconoce facilmente en que la alidada dirigida hácia atrás produce azul, y rojo dirigida hácia delante. La determinacion, tomada para el rayo amarillo, es conducida si se quiere al rojo, multiplicando por $\frac{23}{30}$ la cifra que la observacion ha suministrado.



NOTAS.

(1) Pág. 17. La teoria de la palanca se esplica de otra manera, aplicando á ella las leyes prescritas en la página 9 sobre la resultante de las fuerzas paralelas. Las dos fuerzas que obran sobre la palanca son paralelas, y tienen su direccion en el mismo sentido; su resultante pasa á un cierto punto; y si bajo este punto se sostiene la palanca, hay necesariamente equilibrio. Si las fuerzas son iguales, cae la resultante al punto *c* en el centro de la palanca, *fig. 3*; si son desiguales cae á tal punto, que su distancia á aquel en que las fuerzas son aplicadas está en razon inversa de estas fuerzas en *cp e*, *fig. 4*, teniendo siempre lugar el equilibrio cuando la resultante pasa por el punto de apoyo.

La accion de las fuerzas en la palanca se llama momento. Se tiene el de la potencia y la resistencia multiplicando cada una de estas fuerzas por un brazo de palanca: sea *P* igual á una kilógrama y su brazo de 5 centímetros, el momento de $P=1 \times 5=5$; sea *R* = 5 kilógramas, y su brazo de palanca de un centímetro, el momento de $R=5 \times 1=5$. La condicion de equilibrio se reduce á la igualdad de momentos entre la potencia y la resistencia.

(2) Pág. 26. Las leyes del movimiento que imprime la gravedad se espresan por las dos fórmulas siguientes, en las que *t* significa el tiempo transcurrido desde la partida del móvil, *g* la gravedad ó la velocidad adquirida despues de un segundo, *v* la velocidad adquirida despues del tiempo *t*, *e* el espacio total recorrido en el tiempo *t*. $v=gt$, $e=gt^2/2$

Se pueden resolver por medio de estas fórmulas las cuestiones siguientes ó sus análogas:

1.^a Qué espacio habrá recorrido un cuerpo que ha tardado 3^{''} en caer? Reemplazando en la fórmula $e=gt^2/2$, g por 9,8088 m y t por 3 elevado al cuadrado $=9$, se tendrá 44,13m por el espacio recorrido.

2.^a Qué velocidad habrá adquirido un cuerpo que ha estado cayendo 3^{''}? Se reemplaza en la fórmula $v=gt$, g por 9,8088 m y por 3^{''} y la velocidad será 29,42m.

(3) Pág. 26. El móvil recibe una impulsión de alto á bajo, cuya velocidad espresada en metros seria a en un segundo, cual será su velocidad en un tiempo dado, y qué espacio recorrerá por la accion combinada de la impulsión y de la gravedad? Para la velocidad se tendrá $v=gt+at$, y para el espacio $e=gt^2/2+at$.

Cierto cuerpo ha recibido un choque que le da la velocidad de un metro por segundo, cual será su velocidad despues de tres segundos? 47,13.

(4) Pág. 26. Se da á un móvil cierta impulsión vertical hácia arriba que le comunica la velocidad a por segundo, á qué altura llegará antes de pararse? qué velocidad tendrá al volver al punto de partida? El espacio recorrido ó la altura á que llegará el móvil se espresa asi: $e=at-gt^2/2$, y su velocidad por $v=a-gt$. Sea $a=40$ m la elevacion por un segundo será 35m 1; por 2^{''} 60,39m. por 3^{''} 75,805; por 4^{''} 81m 53, y la velocidad será para el primer 2.^o 35m 1; para el segundo 25,29; para el tercero 15,415; para

el cuarto 5,725; y volviendo á caer despues de cuatro segundos recorrerá en sentido inverso y en el mismo tiempo igual espacio 81m 53.

(5) Pág. 30. La velocidad que imprime á los cuerpos la gravedad, y que mide á esta misma gravedad, está unida á la longitud del péndulo y á la duracion de las oscilaciones: siendo g la velocidad ó la gravedad, y l la longitud del péndulo de segundos, resulta $g = (3,14159)^2 \times l$.

Para Paris se tiene $g = 3,14159^2$, $0,993846 = g_m$, 8088 que representa la intensidad de la gravedad.

(6) Pág. 35. La unidad de peso es la grama, peso de un centímetro cúbico de agua á 4° centígramas, de aqui se deriban la decígrama, $= 0,1$ de grama, centígrama $= 0,01$ de grama, milígrama $= 0,001$ de grama, decágrama $= 10$ gramas, hectógrama $= 100$ gramas kilógrama $= 1000$ gramas, peso en el vacío de un decímetro cúbico de agua pura á la temperatura de 4° cent. quintal $= 100$ kilógramas, millar $= 1000$ hilógramas, (peso del tonel de mar.)

(7) Pág. 47 En el barómetro de Fortin se hacen las correcciones segun la tabla que sigue.

<i>Diámetro del tubo.</i>	<i>Depresion.</i>	<i>Diám. del tubo.</i>	<i>Depres.</i>
2	4,57	13	0,20 mm
3	2,90	14	0,16

4	.	.	2,05	|	15	.	.	.	.	0,13
5	.	.	1,51	|	16	.	.	.	.	0,10
6	.	.	1,13	|	17	.	.	.	.	0,07
7	.	.	0,87	|	18	.	.	.	.	0,06
8	.	.	0,68	|	19	.	.	.	.	0,05
9	.	.	0,53	|	20	.	.	.	.	0,40
10	.	.	0,42	|						
11	.	.	0,33	|						
12	.	.	0,26	|						

(8) Pag. 48. Se obtiene mas exactamente por medio de la fórmula siguiente: h es la altura observada, t la temperatura observada, α el volúmen á cero a el coeficiente de la dilatacion ($1/5550$.) El volúmen $a +$ es $= 1 + a t$; como los volúmenes en el tubo barométrico son entre sí como las alturas, se tiene la proporcion siguiente: $1 + at : 1 :: h : x x x = h / 1 + at$.

(9) Pág 53. Siendo V el volúmen que se busca, V' el conocido; P la presion buscada, y la conocida P' se tendrá la proporcion siguiente: $V : V' :: P' : P$. ó $V = P' \times V' / P$. Un litro de gas bajo la presion de 0, 38m qué volúmen tendrá bajo la presion de 0, 76m será $V = 38 \times 1 / 76 = 0,5$ litros.

Un litro de gas bajo la presion 0, 76m qué volúmen tendrá bajo la presion 38m será $V = 76 \times 1 / 38 = 2$ litros.

(10) Pág. 62. Como no se puede hacer un vacío perfecto, el peso del balon vacío se compone realmente de el del balon y del que tiene el aire restante. Sea el vacío hecho de 1 centímetro, se calcu-

lará segun la ley de Mariotte cual será el volúmen de este aire, y por consecuencia su peso, si volviera á la presion primitiva, y se separa este peso del de el balon, sean cinco litros la capacidad del balon 0,01m. la presion restante el volúmen de aire traído á 0,76m. es de 0, litros 065, que pesa 0,085 gramas, que habrá que rebajar de la tara del balon.

(11) Pág. 81. La velocidad de un líquido que corre por un agujero practicado en una pared delgada es igual al producto de 9,m. 8088 por la raiz cuadrada de la altura del nivel sobre el centro del orificio dividido por V 4,m 9044. Sea v^1 la velocidad buscada, h el espacio recorrido por un cuerpo en el primer segundo de su caída, (4,m. 9044,) v la velocidad adquirida al cabo de este segundo (9,m 8088), h^1 la altura del nivel sobre el centro del orificio, se tendrá que $v^1 = v \times V h^1 / V h$.

La cantidad de líquido corrida en un segundo es igual á la velocidad multiplicada por la superficie del orificio. Llamando aquella cantidad, v la velocidad y o el orificio, la ecuacion será $d = v \times o$.

(12) Pág. 81. La contracción de la vena líquida disminuye la cantidad de líquido que debe correr, porque su parte estrecha ó contraída es el verdadero orificio. El resultado de la esperiencia es al teórico :: 5 : 8; habiendo valuado el resultado por el cálculo, el real será 5/8 de este.

(13) Pág. 86. La altura del nivel que debe entrar como elemento en el cálculo no es la del gas mismo, sino la de una capa lí-

quida que tendria igual densidad que la gaseosa del orificio, y tal altura que pudiera ejercer sobre esta capa toda la presion que esperimenta. Asi siendo la presion 0,76m de mercurio, ó 10,32 de agua, la densidad del primero 13,59 y la del aire 0,0013, la columna liquida correspondiente á la presion del aire atmosférico deberia tener por altura $0,76 \times 13,59 / 0,00013 = 7945$ metros.

Entrando este aire en el vacío tendrá la velocidad de 279m por segundo.

(14) Pág. 164. Sea v el volúmen á cero; x el que se busca, t la temperatura en el volúmen buscado, se tendrá la formula $X = v + (t \times 0,00375 \times v)$

(15) Pág. 164. Sea v el volúmen á cero, v^1 el conocido, t la temperatura, la fórmula de reduccion será $v = v^1 / 1 + 0,00375 \times t$.

(16) Pág. 164. Sea t la temperatura que se busca, v la capacidad del tubo, v^1 el volúmen del aire que ha quedado despues de calentado, y se tendra $t = v / v^1 - 1 / 0,00375$.

El producto debe ser corregido para la dilatacion del vidrio, y llega á ser v^{11} ; la temperatura dada por el thermómetro de aire es entonces: $t = v^{11} / v - 1 / 0,00375$.

(17) Pág. 183. Siendo la masa del agua m . su capacidad c , t su temperatura, m la masa del cobre, c' su capacidad, t' su

temperatura, τ^1 la temperatura de la mezcla, se tendrá $c^1/c \times (\tau^1 - t) / m \times (\tau - \tau^1)$

Así $462, 28 \times (1742 - 5,17) / 314, 77 \times (98,26 - 17,42.)$

(18) Pág. 185. Siendo m el peso del agua, m^1 el de la sustancia que se ha de estudiar, c el calor específico del agua ó el tiempo de su enfriamiento, o^1 el del enfriamiento de la sustancia, la sola incógnita es c^1 . Sea p el peso del vaso de platino, c'' el calor específico del platino se tendrá la proporción $p c'' + m c : p c'' + m^1 c^1 :: o : o^1$. De donde se deduce: $p c'' + m^1 c^1 / p c'' + m c = o^1 / o$ ó bien $o (p c'' \times m^1 c^1) = o^1 (p c'' + m c)$ de donde se obtiene el valor de la incógnita $c^1 c^1 = o^1 (p c'' + m c) / o (p c'' + m^1)$

(19) Pág. 200. Habian sido introducidas en la ampolla 0,404 gramas de agua, el volumen del vapor á $+100^\circ$ era 0,885 litros, la presión se componia de la del aire marcada por el barómetro, 76 c, y de la indicada por la columna de agua contenida en el cilindro ó cubierta exterior equivalente á 2,4 c, en todo 78,4 c de presión. La elevación del mercurio en la campana graduada era 10 c, quedaba para la fuerza elástica del vapor 68,4. La experiencia ha dado pues 0,885 litros; vapor á 100° P. 68,4 c que equivalen á 0,8 c de vapor á P. 76 c que equivalen por sí mismos á 0,5 litros de vapor á cero; 0,404 gramas de agua han suministrado pues 0,5 litros de vapor á cero y á P. 76: un litro de vapor pesaria 0,808 gramas; y como un litro de aire pesa 1,299, resulta que la densidad del vapor es á la del aire como 0,622 es á 1.

Para tener resultados perfectamente exactos seria menester

ademas tener en cuenta la dilatacion del mercurio y la del vidrio despreciadas en el ejemplo precedente.

(20) Pág. 202. Ejemplo de operacion para una densidad de vapor: Balon lleno de aire á $19,5^{\circ}$ y P. 755 m pesa 200 gramas. Balon lleno de vapor de esencia de limon pesa 201,448. El balon ha sido cerrado á P. 755 m y á 193°

Han entrado en el aparato 441,7 cc de mercurio que representan el aire salido.

El balon lleno contenia 456 cc de mercurio, de donde la diferencia 14,3 cc representa el volúmen del aire restante.

441,7 cc de aire estraído á la temperatura de $19,5$ y bajo la presion de 755 m representan 0,531 gramas de aire á la P. 76 y temperatura 0. Es menester separarlas de la tara del balon, á saber: 200 gramas - 0,531 gramas = 199,469 gramas. Separando esta nueva tara del peso del balon lleno de vapor, á saber: 201,448 - 199,469 = 1979 gramas para el peso del vapor.

El volúmen del vapor se compone de la capacidad del balon menos el espacio ocupado por el aire que no haya sido estraído. Este se ha hallado de 14,3 cc que á la presion de 755 m y á la temperatura de 193° en que ha sido cerrado el balon ocuparia 23,43 cc, cuyo volúmen del vapor era 456 cc - 23,43 = 432,53 cc.

Se tienen 432,53 cc de vapor á 193° t. y P. 75,5 que conducen á 76° P. y 0 temperatura = 249,39 cc, que pesan 1,979.- Un litro de vapor pesaria 7,93 gramas. Un litro de aire pesa 1,299 gramas pues la densidad del vapor de esencia de limon = 6,10. En este género de investigaciones no se tiene en cuenta la dilatacion del vidrio, el procedimiento no permite tal grado de exactitud.

(21) Pág. 308. El ángulo de incidencia es el ángulo formado por el rayo incidente con la normal, y el de refracción es el ángulo que esta normal produce con el rayo refractado. El seno de incidencia y el de refracción son las líneas dirigidas perpendicularmente sobre la normal, de los puntos que encontrarían la circunferencia de un círculo que tubiera por centro el lugar en que penetra el rayo.

Se obtiene el índice de refracción dividiendo el seno de incidencia por el de refracción, según se expresa en la fórmula siguiente: $\sin i / \sin r = n$.



INDICE ALFABETICO.

— 606 —

Acromatismo.	Pág. 323	Calentamiento (ley del)	152
Acústica.	118	Calor.	142
Aeróstatas ó globos.	76	— latente.	175
Aguja imanada.	231	— de los vapores.	198
— astática.	233	— específico.	179
Alcómetro.	72	Calórico.	142
Angulo óptico ó visual.	330	— radiante.	147
Anteojo astronómico.	338	Calorímetro.	180
— de Galileo.	338	Cámara clara.	335
— de espectáculo.	339	— negra ú oscura.	335
Arco iris.	321	Cambio de estado.	171
Areómetros.	67	— de forma.	97
— de volumen constante.	69	Caños	82
— — — — — variable.	70	Campanario eléctrico.	245
Aureola accidental.	334	Capacidad para el calórico	179
Balanza.	35	Capilaridad.	104
— hidrostática.	65	Catalejo	339
— de torsion.	103	Catarata.	332
Barómetro.	44	Catóptrica.	303
Barra imanada.		Centro de gravedad.	32
Batería eléctrica.	252	— óptico.	314
— galvánica.	265	Chimeneas.	89
Bebedero de palomas.	58	Colores complementarios.	319
Bombas.	57	— primitivos.	316
Botella de Leiden.	250	Choque de los cuerpos.	110
Brújula.	236	— de retroceso.	260
— de declinacion.	236	Chorreta.	43
— de inclinacion.	235	Chorros de agua.	84
Cabrestante.	18	Cohesion.	93
Caida de los cuerpos.	22	Compresibilidad.	7

Condensador eléctrico.	248	Dióptrica.	308
— de las máqs. de vapor	214	Divisibilidad.	7
Conductibil. para el calor.	166	Dorado por la electricidad.	296
— para la electricidad.	238	Ductilidad.	95
— para las corrientes eléc- tricas.	275	Dureza.	94
Conductos de agua.	83	Ebulicion.	203
Contraccion de la vena líq.	81	Elasticidad.	101
Corrientes eléctricas.	269	Electricidad.	238
— por los imanes.	282	— atmosférica.	256
— por induccion.	283	— de corriente.	262
— (Conductibil. para las)	275	— disimulada.	247
— de los rios.	84	— galvánica.	262
— thermo-eléctricas.	272	— por influencia.	241
Cristales de un eje.	342	Electrodinámia.	281
— de dos ejes.	343	Electromotores.	262
Cristalizacion.	95	Electróforo.	249
Cuerpos magnéticos.	230	Electróscopo.	246
Daguerrótipo.	326	Embocadura de flauta.	130
Dardo ó pincel de luz.	300	Endósmose.	107
Declinacion.	235	Enfriamiento (ley del)	152
Densidad.	60	Equilibrio de los gases. 44 y 49	
— de los gases.	61	— de los cuerpos flotantes. 67	
— de los líquidos.	61	— de los líquidos.	38
— de los sólidos.	62	— de los sólidos	32
— de los vapores.	199	Escarcha.	154, 225 y 226
Destilacion.	203	Escitador universal.	235
Diapason.	126	Eslabon de aire.	177
Diathermancia.	148	Espectro solar.	317
Difraccion de la luz.	341	Espejismo.	311
Dijeridor.	204	Espejos planos.	304
Dilatacion.	156	— cóncavos.	306
— de los gases.	162	— convexos.	307
— de los líquidos.	159	Estension.	5
— de los sólidos.	156	Evaporacion.	203
Dimorfismo.	96	Fabricacion del hielo.	155
Dinamómetro.	103	Fenómenos moleculares.	93
		Flotador de Prony.	79

Fosforescencia.	287	Lámpara de aceite.	58
Franjas coloradas.	341	— de gas hidrógeno.	55
Fuerza centrífuga.	14	— eléctrica.	250
— elástica de los gases.	50	Ley de Mariotte.	52
— — de los vapores.	190	Lengüeta.	130
— electromotriz.	262	Lentes.	313
Fuerzas.	9	— convergentes.	313
Fusion.	171	— divergentes.	315
Galvanómetro ó reómetro.	270	Licuefaccion de los gases.	174
Galvanoplástica.	295	Linterna mágica.	336
Gases.	99	Líquidos.	98
Gato.	18	Luz	299
Gramma.	6 y 354	— (descomposicion de la)	316
Granizo.	227	— eléctrica.	255
— eléctrico.	245	— (marcha de la)	299
Gravitacion ó pesadez.	20	— (polarizacion de la)	
Hazecillo de luz.	300	— (reflexion de la)	303
— imanado.	231	— (refraccion de la)	308
Hidrodinámica.	78	— (velocidad de la)	300
Hidrostática.	38	Lluvia.	226
Higrometría.	220	— eléctrica.	245
Higrómetro de Saussure.	221	Máquina de Atwood.	24
— de Daniell.	224	— eléctrica.	242
Higróscopos.	221	— neumática.	56
Hilo de plomo ó plomada.	22	— de vapor.	212
Imágenes accidentales.	333	— de alta presion.	216
Iman.	228	— de Newcommen.	212
Imanacion.	231	— de Trevitich y Vivian.	216
— por las corrientes.	282	— de Watt.	213
Imanes artificiales.	231	— de Woulf ó Edvwards.	217
— naturales.	230	Magnetismo.	228
Impenetrabilidad.	6	— terrestre.	234
Inclinacion.	235	Maleabilidad.	95
Inercia.	8	Manómetros.	53
Instrumentos de viento.	129	Máquinas simples.	16
Interferencias de la luz.	340	— para soplar.	55
Isomorfismo.	97	Marmita de Papin.	204

Medidas, unidad de.	5	— de Bunsen.	266
Meridiano magnético.	234	— de corriente constante.	281
Metro.	5	— de corona.	264
Mezclas refrigerantes.	177	— (efectos físicos de la)	281
Microscopio.	337	— (fisiológicos de la)	286
— solar.	336	— (químicos de la)	289
Miopes.	331	— de Hare.	266
Movilidad.	8	— de Peclet.	280
Movimiento.	10	— Seca.	266
— de los gases.	86	— (teoría de la)	277
— de los líquidos.	78	— de VVolaston.	265
— perpetuo de Zamboni.	267	Pirómetro de Brongniart.	156
Neblina.	226	Plano inclinado.	27
Niebla.	225	Polarización de la luz.	344
Nieve.	226	— circular.	347
Notas.	352	— por doble refracción.	347
Nubes.	226	— por reflexión.	345
Oído.	140	— por refracción.	346
Ojo.	327	Polea.	19
Olas ú ondas.	84	Polipastos.	19
— sonoras.	118	Porosidad.	7
Ondulaciones. (teoría de las)	299	Porta voz.	121
Óptica.	299	Precipitación de los metales.	294
Organillo.	126	Prensa hidráulica.	43
Palanca.	16	Présbitas.	331
Pararayos.	261	Presión de los gases.	49
Pasa cartones.	254	— de los líquidos.	40
Péndulos.	29	Principio de Arquímedes.	63
Péndulo eléctrico.	240	Prólogo del editor francés.	3
— correct. para la dilación.	157	— del traductor.	
Penumbra.	302	Propiedades generales de la materia.	5
Permeabilidad.	7	Pulgada de agua.	83
Pescados eléctricos.	288	Rayas del espectro.	317
Peso específico.	60	Rayo.	259
Pie de cabra.	17	Rayos caloríficos.	325
Pila Galvánica ó de Volta.	263	— de luz.	300
— horizontal ó de cajón.	265		

—químicos.	325	Thermómetro.	143
Reflexion de la luz.	303	---de aire.	164
---del sonido.	120	---de Bellani.	165
---total.	321	---de Breguet.	158
Refraccion.	308	---Centígrado.	145
---doble.	341	---diferencial.	146
---(índice de)	312	---de espíritu de vino.	164
Refuerzo de las naves.	295	---de Fahrenheit.	145
Repleto.	78	---de Reaumur.	145
Rocio.	225	Thermóscopo.	147
Romana.	103	Timbre.	121
Rompe vegigas.	50	Tono.	121
Rosca.	28	Torno.	18
Ruedas de agua.	85	Triángulo.	126
Rozamiento.	108	Trompas.	56
Salto.	115	Trueno.	258
Sereno.	155 y 225	Unidad de medida de agua.	83
Sifones.	58	Válvula de seguridad.	55
Sirena.	128	Vapores.	190
Solenoides.	284	Vasija ó frasco de Mariotte.	79
Solidificacion.	172	Vertical (línea)	21
Sólidos.	93	Vibraciones.	118
Sonido.	118	---de las campanas.	127
---(intensidad de)	121	---de las cuerdas.	122
---(música)	121	---de los líquidos.	128
---(reflexion del)	120	---de las membranas.	127
---(transmision del)	128	---de las placas.	126
---(velocidad del)	120	---de las varas.	125
Telescopio de Gregory.	340	Vientos.	87
---de Newton.	339	Violin de hierro.	125
---simple.	339	Vision.	327
Templadura.	95	Volatilizacion.	173
Tenacidad.	94	Voz.	138
Teoria físico-música.	134	Xilocordeon.	126
Theorema de Torricelli.	80		

411	Termómetro	337	—químicos
404	—de aire	303	Reflexion de la luz
403	—de bellani	130	—del sonido
408	—de Finguet	321	—total
405	Centigrado	308	Refraction
406	—diferencial	341	—doble
404	—de espíritu de vino	312	—(índice de)
405	—de Fahrenheit	205	Refuerzo de las naves
405	—de Reaumur	78	Repleto
407	Termoscopio	225	Reojo
401	Timbre	103	Remana
401	Tono	50	Rempe vegigas
401	Tono	28	Rosa
401	Torno	85	Resaca de agua
401	Trángulo	108	Resqueño
401	Trompas	115	Salio
408	Trineo	105 y 225	Sereno
401	Unidad de medida de agua	68	Silencio
401	Valvula de seguridad	128	Sirena
401	Vapores	224	Solenoides
401	Vista a fresco de Waterloo	172	Solidificación
401	Vertical (línea)	63	Solidos
401	Vibraciones	113	Sonido
401	—de las campanas	121	—(intensidad de)
401	—de las cuerdas	121	—(música)
401	—de los líquidos	120	—(reflexion del)
401	—de las membranas	128	—(transmision del)
401	—de las placas	120	—(velocidad del)
401	—de las varas	340	Telescopio de Gregory
401	Vientos	330	—de Newton
401	Violin de hierro	330	—simple
401	Vision	95	Templadura
401	Volatilizacion	94	Tenacidad
401	Voz	134	Teoría físico-musica
401	Xilocorden	60	Theorema de Toricelli

RECTIFICACIONES.

<i>Página.</i>	<i>Línea.</i>	<i>Dice.</i>	<i>Debe decir.</i>
3.	1.	Prólogo del autor.	Prólogo del editor frances.
10.	12	1-X	1X
id.	id.	4-X	4X
id.	14	1. ^o	10
11	18	diferentes	en sentido diferente
13	7	y el punto	y el punto <i>c</i>
14	5	<i>c a'</i> y <i>c b'</i>	<i>c a</i> y <i>c b</i>
15	26	la forma <i>b</i>	la forma <i>a b</i>
19	22	la polea <i>b</i>	la polea <i>B</i>
id.	23	el peso <i>b</i>	el peso <i>p'</i>
25	25	<i>p</i>	<i>P</i>
29	7	y que se maneje por hácia abajo	con el extremo supe- rior libre
id.	26	<i>a' b</i>	<i>a b'</i>
30	8	en <i>b</i>	en <i>b''</i>
33	11	<i>b</i>	<i>b'</i>
33	8	<i>b</i>	<i>b</i> , fig. 40
33	id.	<i>v</i>	<i>v'</i>
39	31	aire	alcol
40	11	, en <i>b</i>	en <i>b'</i>
44	6	<i>u</i>	<i>n</i>
48	2	el peso <i>p</i>	el peso <i>p'</i>
55	4	conocerse; el brazo <i>a</i>	conocerse. Se em- plea tambien muchas veces la forma, fig. 80; la parte ensanchada del tubo sirve de reservatorio al mercurio, la estremidad <i>b</i> comunica con el vaso cuya presion inte- rior se desea conocer y el brazo <i>a</i>
57	19	<i>s</i>	<i>s'</i>
59	19	<i>c</i>	<i>C</i>
id.	id.	<i>p</i>	<i>P</i>
id.	24	<i>b</i>	<i>b'</i>
60	26	volúmen para	volúmen. Para

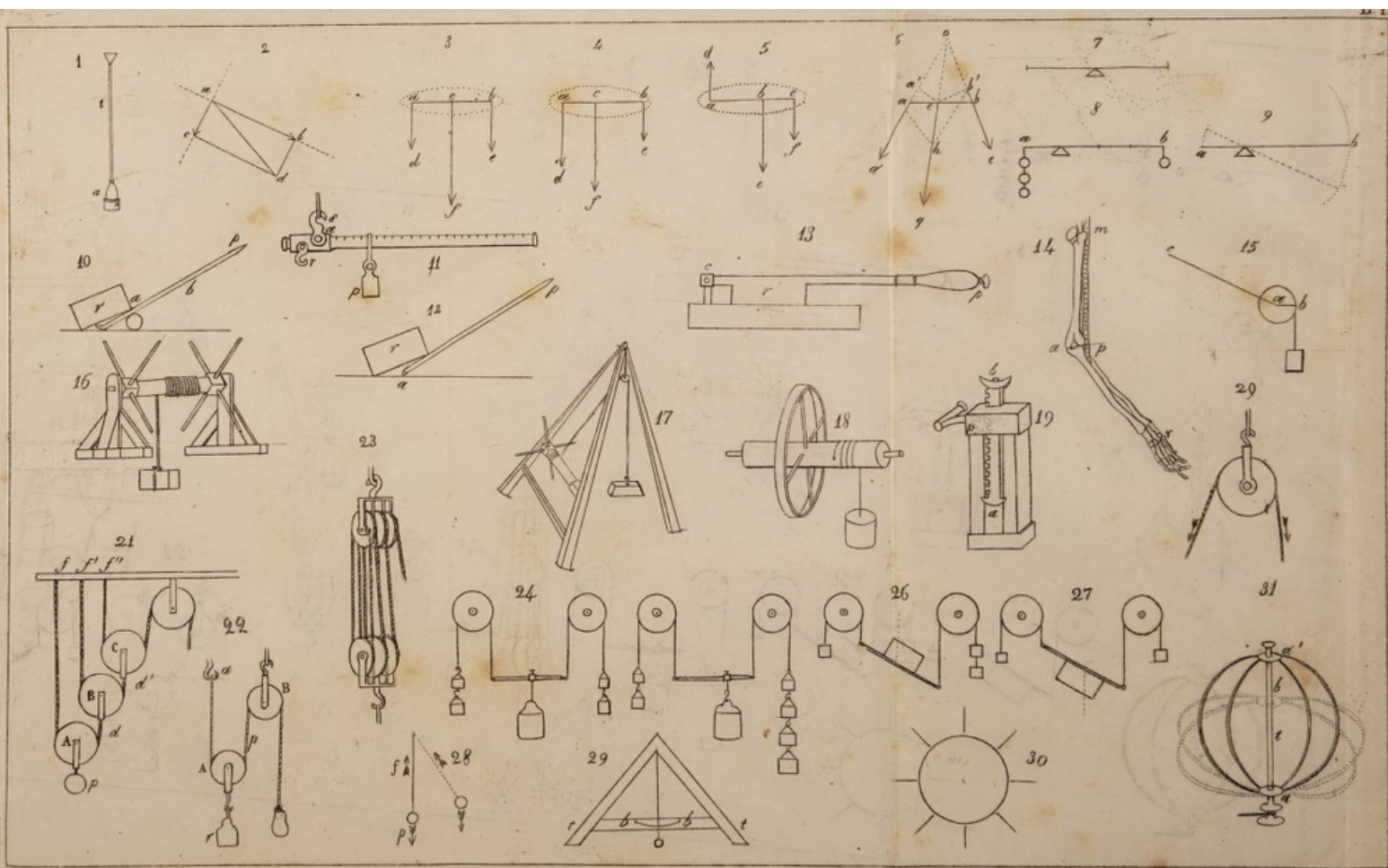
<i>Página.</i>	<i>Línea.</i>	<i>Dice.</i>	<i>Debe decir.</i>
61	. . 14 y 15	84,06656,916	. . 84,066-56,916
61	. . 16	. . 50,504	. . 50,504=1,85
62	. . 6	. . 7,770	. . 7,730
62	. . 21	. . el mismo	. . el número
63	. . 20	. . de agua <i>a</i>	. . de agua <i>A</i>
64	. . 15	. . <i>B</i> , <i>fig.</i> 18	. . <i>b</i> , <i>fig.</i> 98
80	. . 18	. . restado	. . resultado
88	. . 18	. . 4 gram.	. . 2 gram.
111	. . 26	. . 121 + 2	. . 12 + 12
147	. . 6	. . de Rumfort	. . de Rumfort, <i>fig.</i> 170
174	. . 2	. . 36	. . 360
177	. . 12	. . de 44. ^o	. . de--44. ^o
182	. . 5	. . 11,1	. . 11 es á 1; ó bien 11: 1
185	. . 21	. . 68 ¹ / ₃	. . 68 ¹ / ₃
186	. . 3	. . 0,7,15	. . 0,715
187	. . 2	. . 0 967, y 08848	. . 0,967 y 0,8848
193	. . 22	. . -0	. . 0
193	. . 23	. . -1	. . 1
			<u>41,4</u>
197	. . 14	. . 41,4/76	. . 76 ^o
201	. . 24	. . grotá	. . rota
224	. . 16	. . , á mas de 12	. . á + 12
228	. . 13	. . magnéticos en los que.	. . magnéticos que el magnetismo no puede abandonar, y otros no magnéticos en los que...
233	. . 14	. . astálica	. . astática
238	. . 14	. . (sucino	. . (electrum, sucino)
241	. . 21	. . atraído á 0	. . atraído á <i>r</i>
252	. . 17	. . gruesa	. . gruesa, <i>fig.</i> 242
294	. . 8	. . osinio	. . osmio
302	. . 4	. . <i>j</i> .	. . <i>j'</i>
312	. . 30	. . 2,67	. . 2,97
335	. . 29	. . rtceo	. . recto
343	. . 5	. . seguido	. . segundo

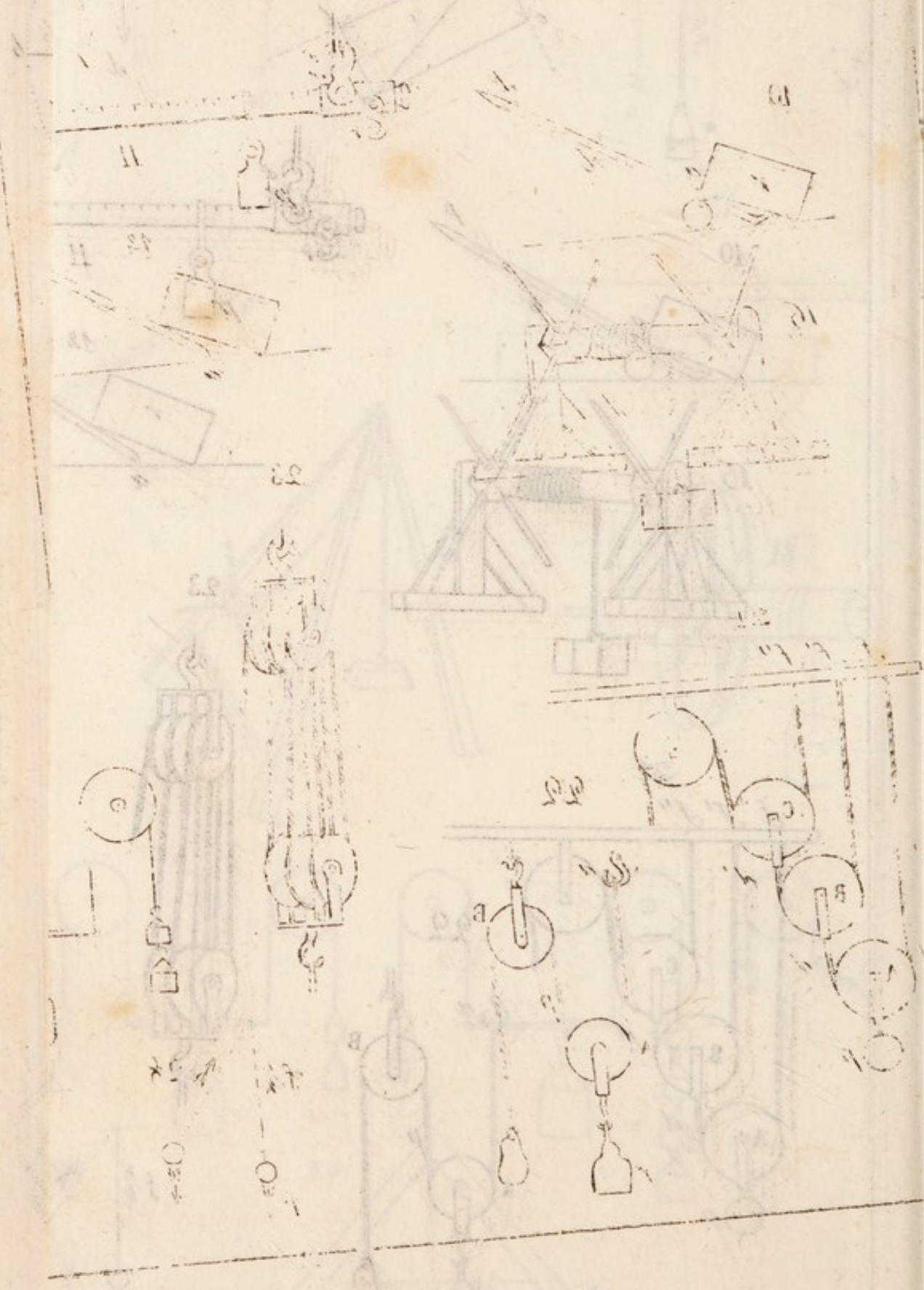
<u>Página.</u>	<u>Línea.</u>	<u>Dice.</u>	<u>Debe decir.</u>
352 . . 3	.	pág. 9.	pág. 12 y 13
353 . . 17	.	47, m 13	32, m 42: ¿qué espacio habrá recorrido después de tres segundos? 47, m 13
353 . . 25	.	81 m 53	81 m, 53
354 . . 12	.	centígramas	centígrados.
355 . . 13	.	el volúmen a $\frac{1}{t}$	el volúmen á t
355 . . 15	.	$x x x = h, / 1 \frac{1}{t} at$	x de donde $x = \frac{h}{1 \frac{1}{t} at}$
355. . . 18	.	$V = P^1 \times V^1 / P.$	$V = \frac{P^1 \times V^1}{P}$
356 . . 10	.	por V	por V^1
356 . . 14	.	$v^1 = v \times Vh^1 / Vh$	$= \frac{v \times Vh^1}{Vh}$
357 . . 6	.	$0,76 \times 13,59 / 0,00013$	$\frac{0,76 \times 13,59}{0,00013} = 7945$
357. . . 14 y 15	.	$v = v^1 / 1 \frac{1}{t} \&c.$	$V = \frac{V^1}{1 + 0,0375 \lambda t}$
357. . . 18	.	$t = v / v^1 - 1 / 0,000575$	$t = \frac{V^1 - 1}{0,00375}$
357. . . 21	.	$t = v^{11} / v - 1 / 0,00375$	$t = \frac{V^{11}}{V - 1}$
358 . . 5	.	6	0
359 . . 16	.	1979	1,979
360 . . 10	.	$s n i / s n t = n$	$\frac{s n i}{s n r} = n$

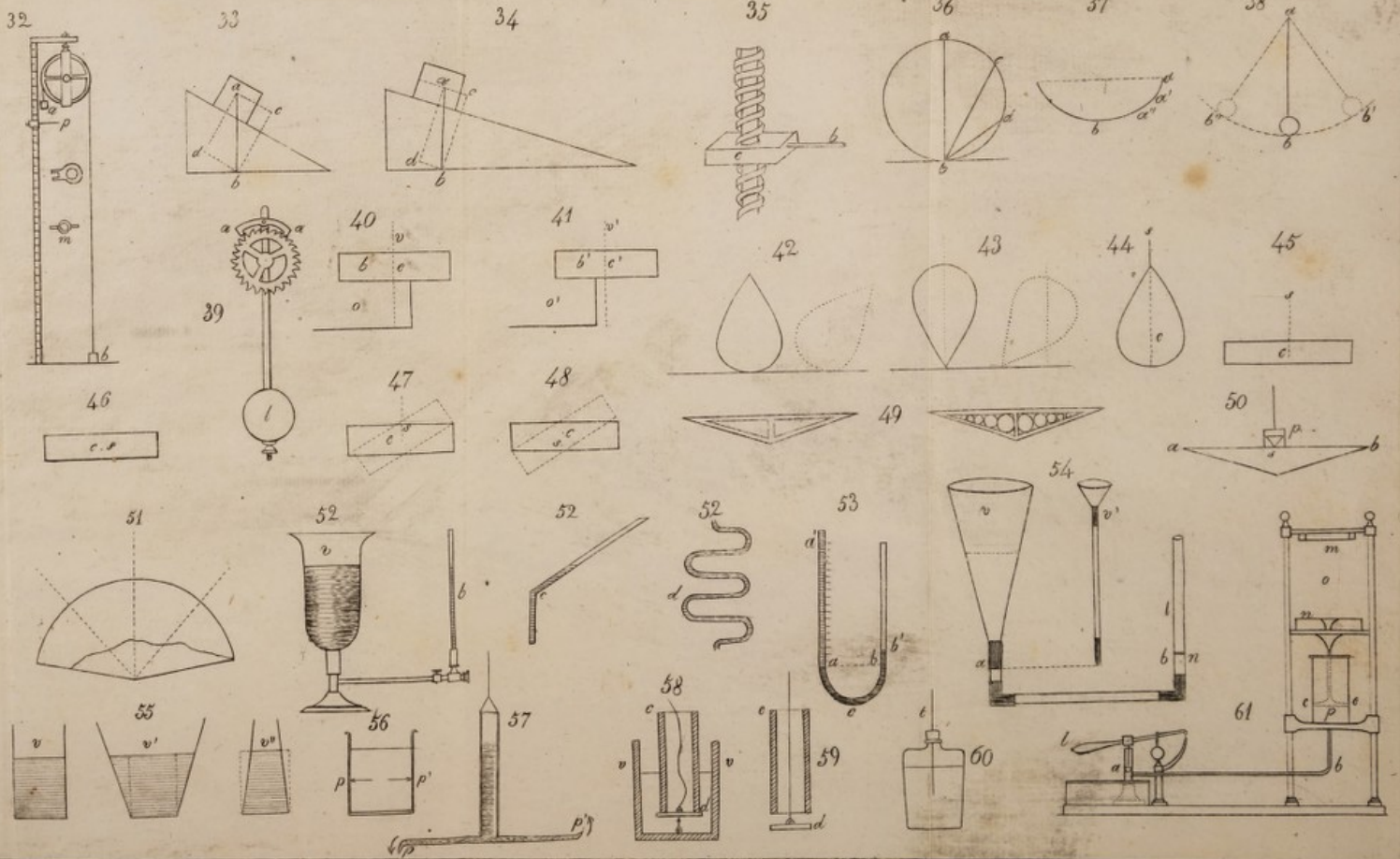
325. ...
 326. ...
 327. ...
 328. ...
 329. ...
 330. ...
 331. ...
 332. ...
 333. ...
 334. ...
 335. ...
 336. ...
 337. ...
 338. ...
 339. ...
 340. ...
 341. ...
 342. ...
 343. ...
 344. ...
 345. ...
 346. ...
 347. ...
 348. ...
 349. ...
 350. ...
 351. ...
 352. ...
 353. ...
 354. ...
 355. ...
 356. ...
 357. ...
 358. ...
 359. ...
 360. ...
 361. ...
 362. ...
 363. ...
 364. ...
 365. ...
 366. ...
 367. ...
 368. ...
 369. ...
 370. ...
 371. ...
 372. ...
 373. ...
 374. ...
 375. ...
 376. ...
 377. ...
 378. ...
 379. ...
 380. ...
 381. ...
 382. ...
 383. ...
 384. ...
 385. ...
 386. ...
 387. ...
 388. ...
 389. ...
 390. ...
 391. ...
 392. ...
 393. ...
 394. ...
 395. ...
 396. ...
 397. ...
 398. ...
 399. ...
 400. ...

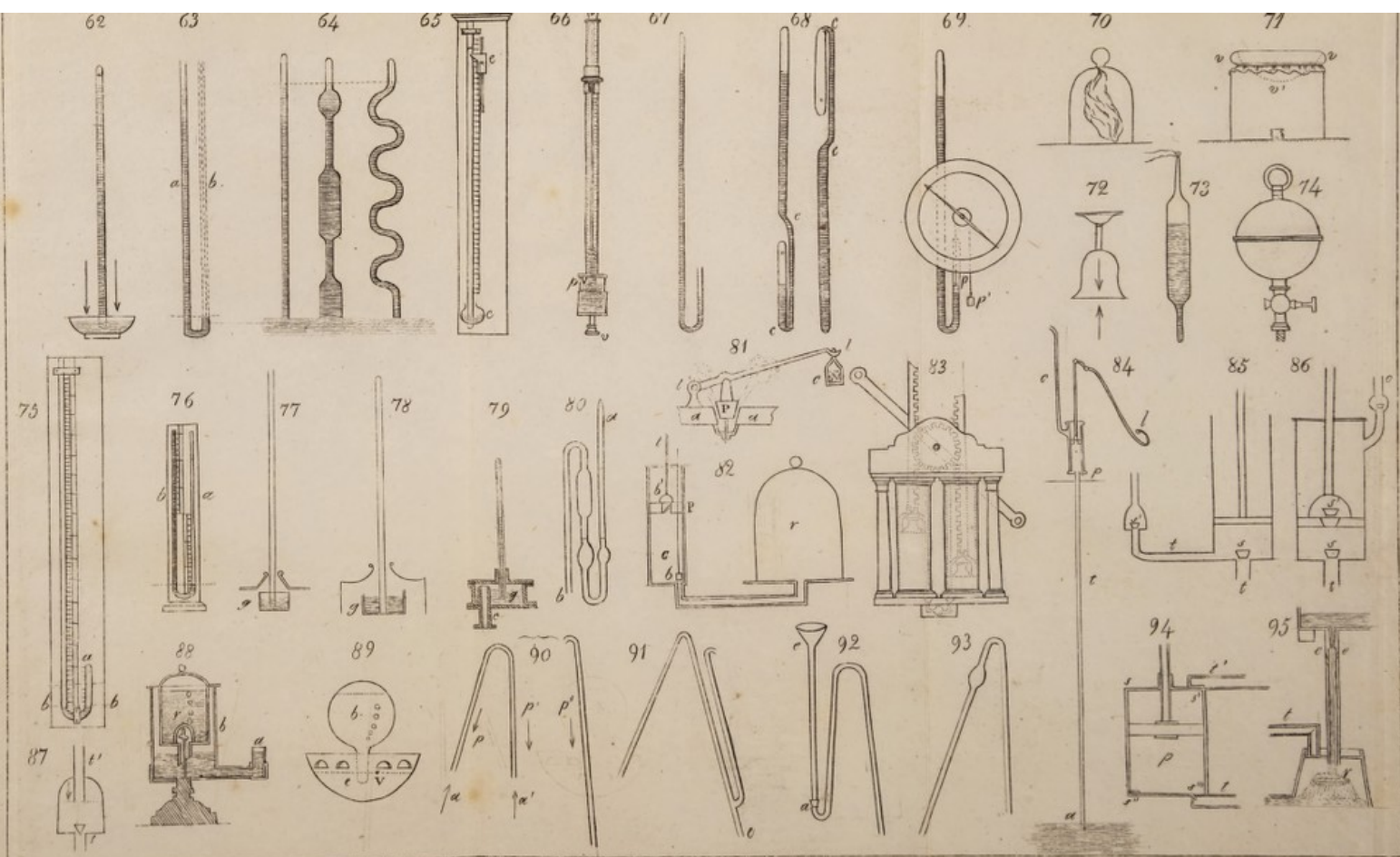
401. ...
 402. ...
 403. ...
 404. ...
 405. ...
 406. ...
 407. ...
 408. ...
 409. ...
 410. ...
 411. ...
 412. ...
 413. ...
 414. ...
 415. ...
 416. ...
 417. ...
 418. ...
 419. ...
 420. ...
 421. ...
 422. ...
 423. ...
 424. ...
 425. ...
 426. ...
 427. ...
 428. ...
 429. ...
 430. ...
 431. ...
 432. ...
 433. ...
 434. ...
 435. ...
 436. ...
 437. ...
 438. ...
 439. ...
 440. ...
 441. ...
 442. ...
 443. ...
 444. ...
 445. ...
 446. ...
 447. ...
 448. ...
 449. ...
 450. ...
 451. ...
 452. ...
 453. ...
 454. ...
 455. ...
 456. ...
 457. ...
 458. ...
 459. ...
 460. ...
 461. ...
 462. ...
 463. ...
 464. ...
 465. ...
 466. ...
 467. ...
 468. ...
 469. ...
 470. ...
 471. ...
 472. ...
 473. ...
 474. ...
 475. ...
 476. ...
 477. ...
 478. ...
 479. ...
 480. ...
 481. ...
 482. ...
 483. ...
 484. ...
 485. ...
 486. ...
 487. ...
 488. ...
 489. ...
 490. ...
 491. ...
 492. ...
 493. ...
 494. ...
 495. ...
 496. ...
 497. ...
 498. ...
 499. ...
 500. ...

501. ...
 502. ...
 503. ...
 504. ...
 505. ...
 506. ...
 507. ...
 508. ...
 509. ...
 510. ...
 511. ...
 512. ...
 513. ...
 514. ...
 515. ...
 516. ...
 517. ...
 518. ...
 519. ...
 520. ...
 521. ...
 522. ...
 523. ...
 524. ...
 525. ...
 526. ...
 527. ...
 528. ...
 529. ...
 530. ...
 531. ...
 532. ...
 533. ...
 534. ...
 535. ...
 536. ...
 537. ...
 538. ...
 539. ...
 540. ...
 541. ...
 542. ...
 543. ...
 544. ...
 545. ...
 546. ...
 547. ...
 548. ...
 549. ...
 550. ...
 551. ...
 552. ...
 553. ...
 554. ...
 555. ...
 556. ...
 557. ...
 558. ...
 559. ...
 560. ...
 561. ...
 562. ...
 563. ...
 564. ...
 565. ...
 566. ...
 567. ...
 568. ...
 569. ...
 570. ...
 571. ...
 572. ...
 573. ...
 574. ...
 575. ...
 576. ...
 577. ...
 578. ...
 579. ...
 580. ...
 581. ...
 582. ...
 583. ...
 584. ...
 585. ...
 586. ...
 587. ...
 588. ...
 589. ...
 590. ...
 591. ...
 592. ...
 593. ...
 594. ...
 595. ...
 596. ...
 597. ...
 598. ...
 599. ...
 600. ...









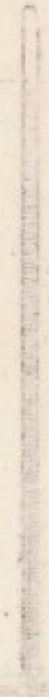
20

40

60

80

100



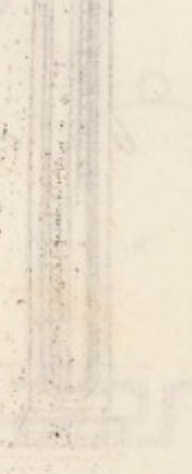
20

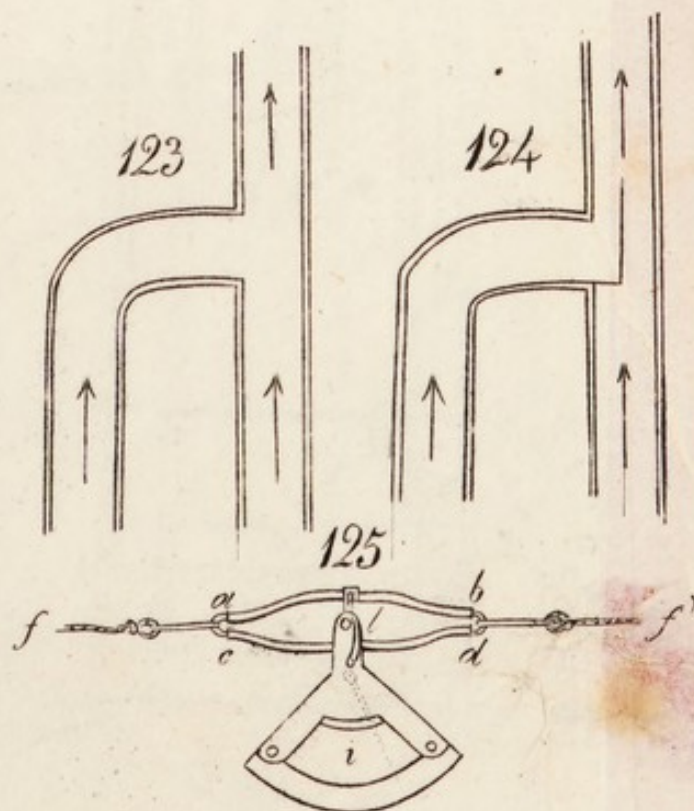
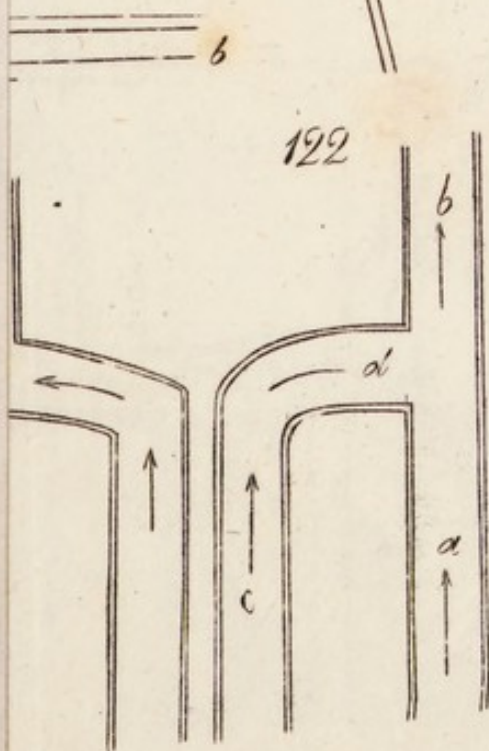
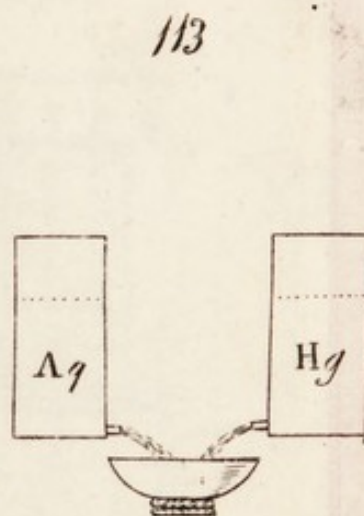
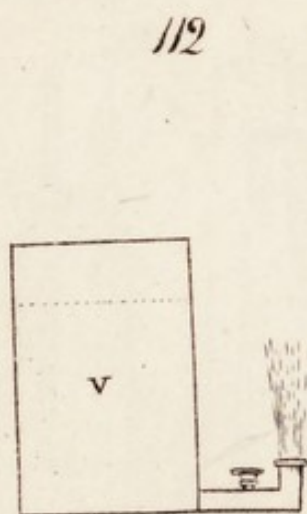
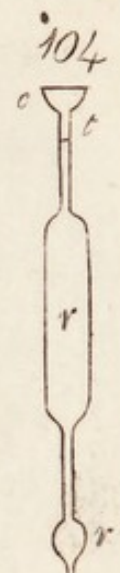
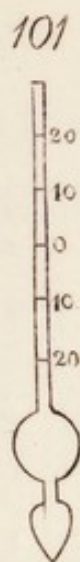
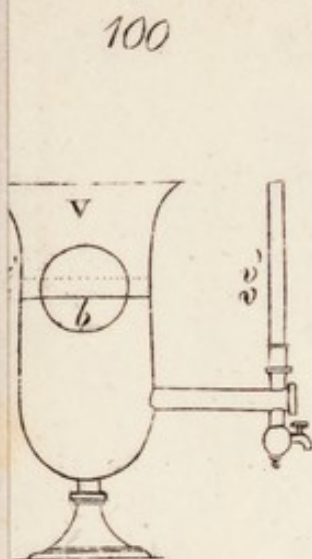
40

60

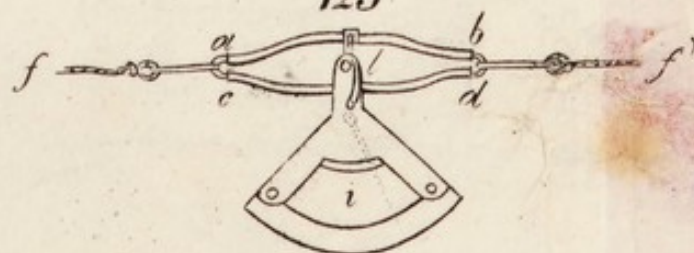
80

100

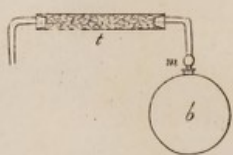




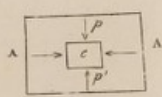
125



96



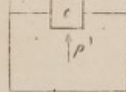
97



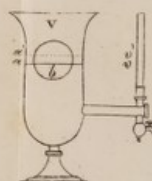
98



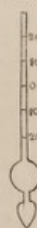
99



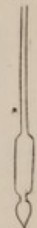
100



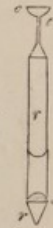
101



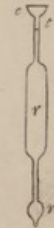
102



103



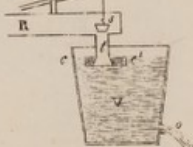
104



105



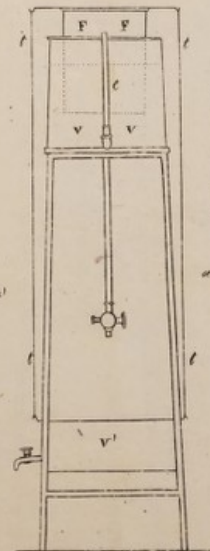
106



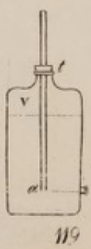
107



108



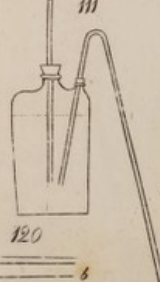
109



110



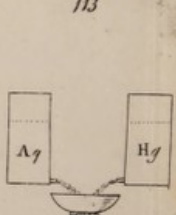
111



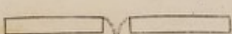
112



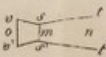
113



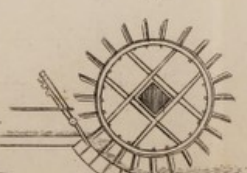
115



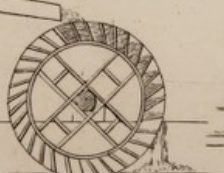
116



118



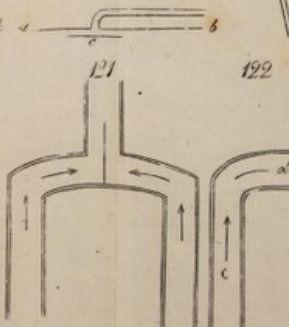
117



119



120



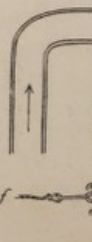
121



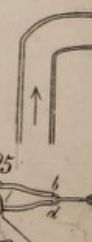
122



123

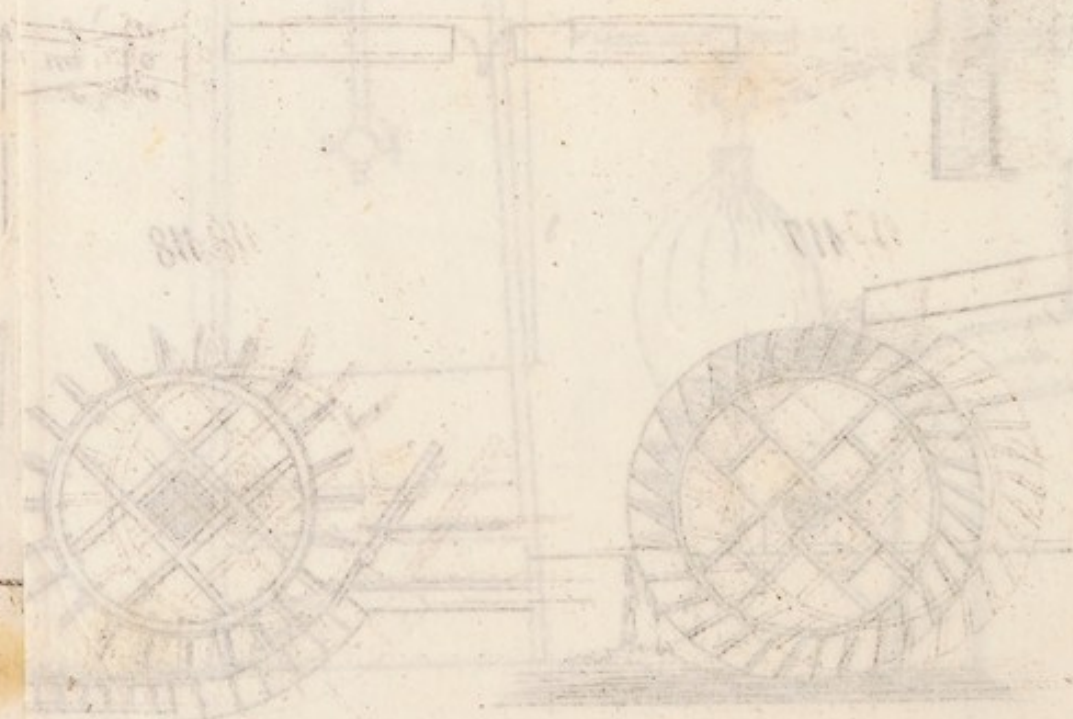
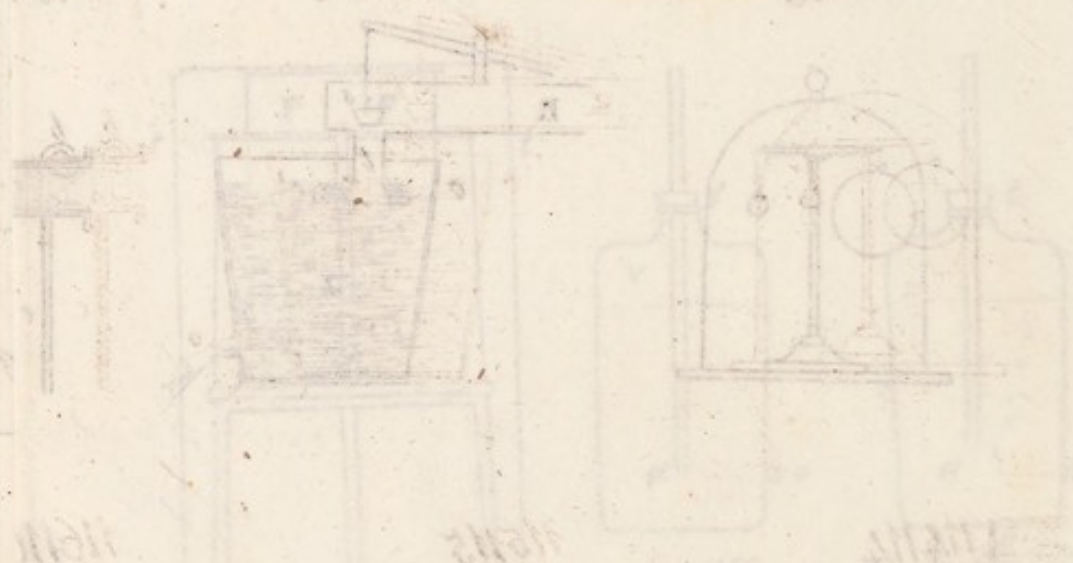
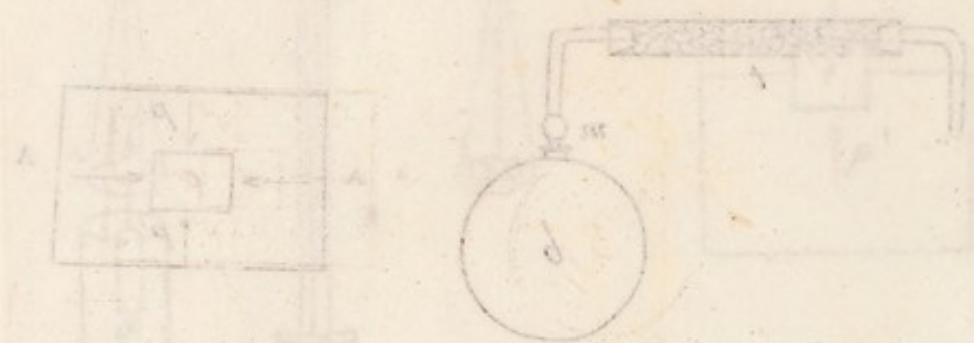


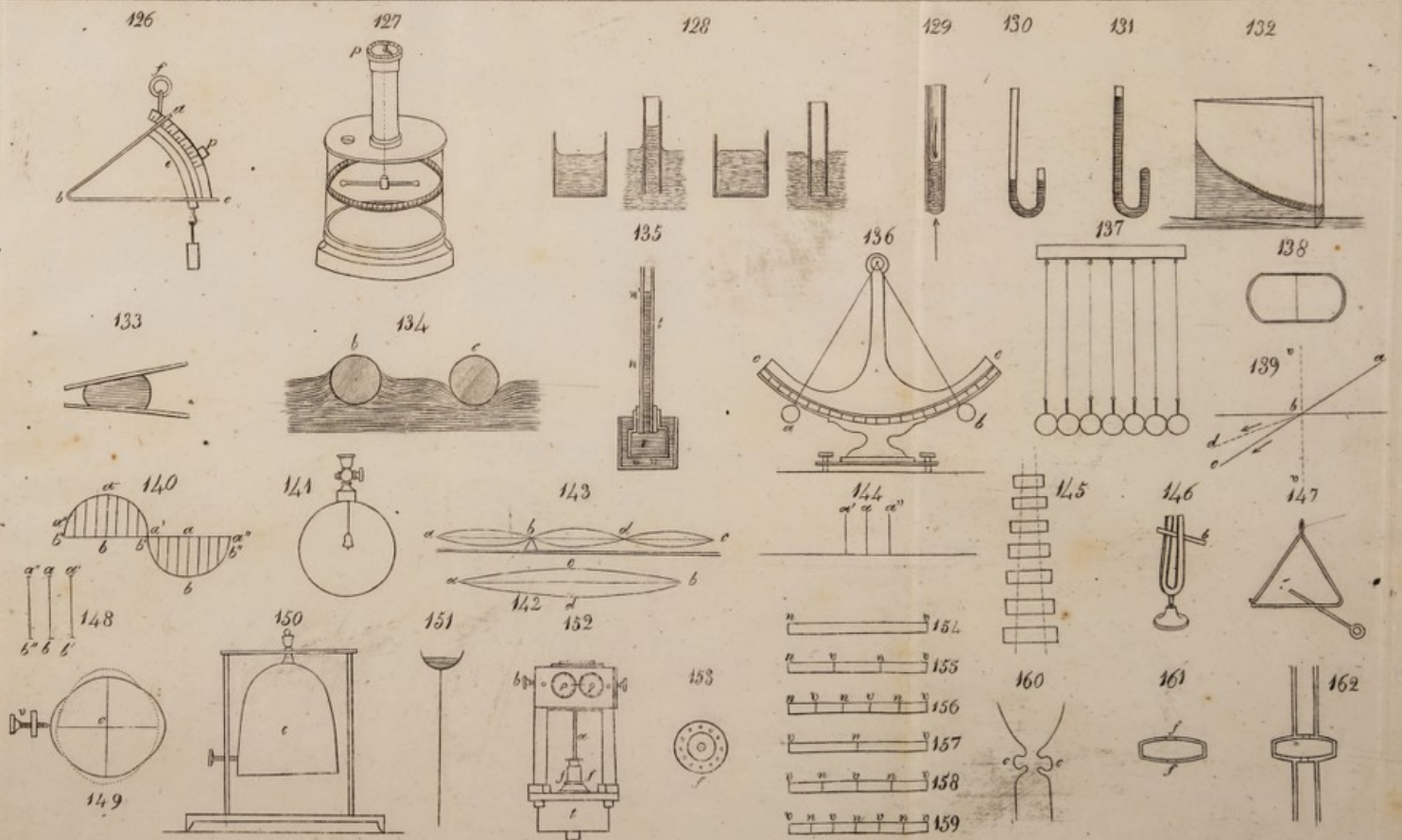
124

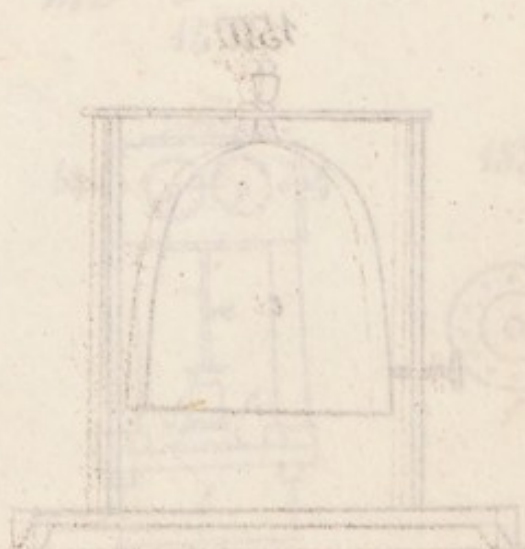
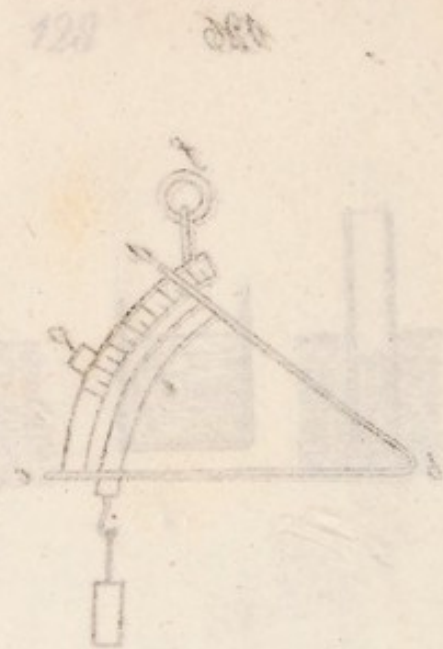
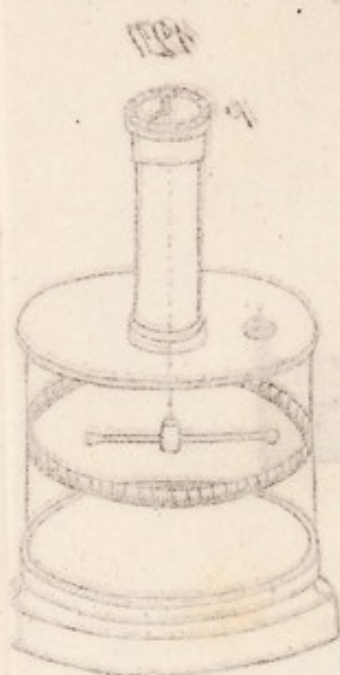


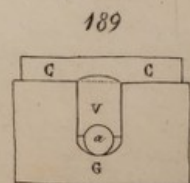
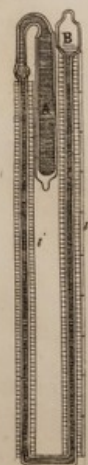
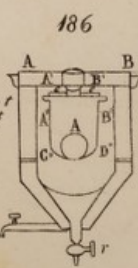
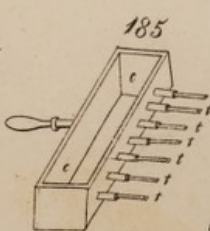
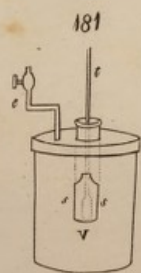
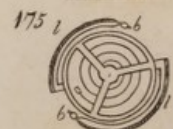
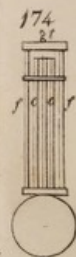
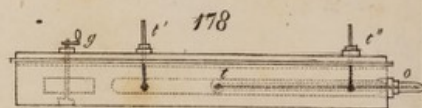
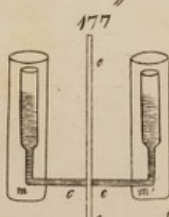
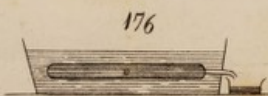
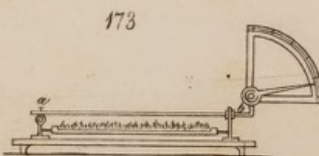
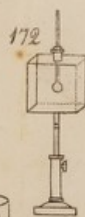
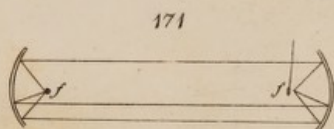
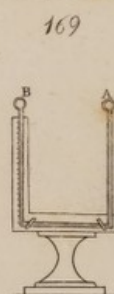
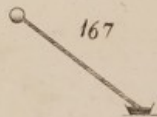
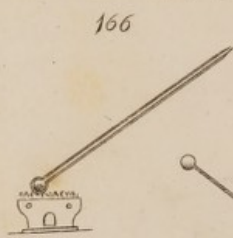
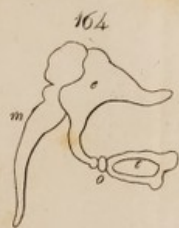
125

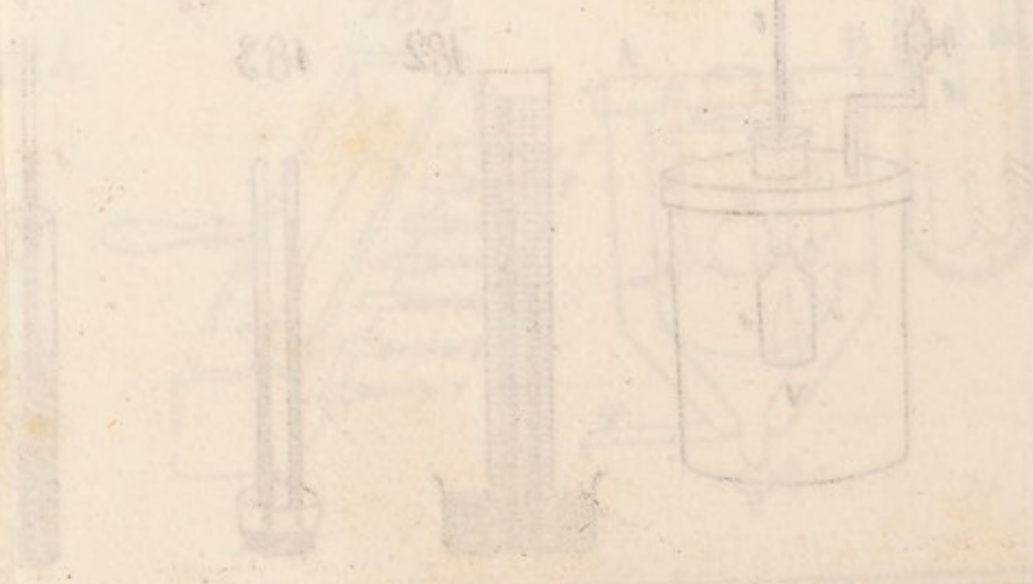
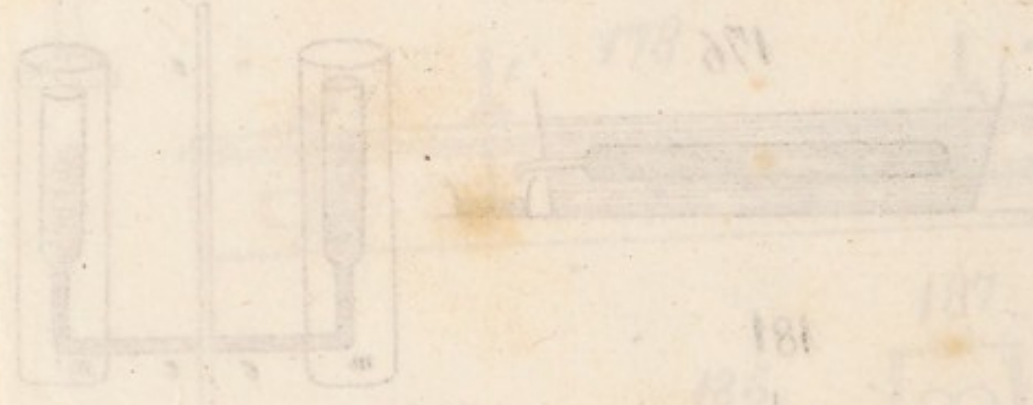
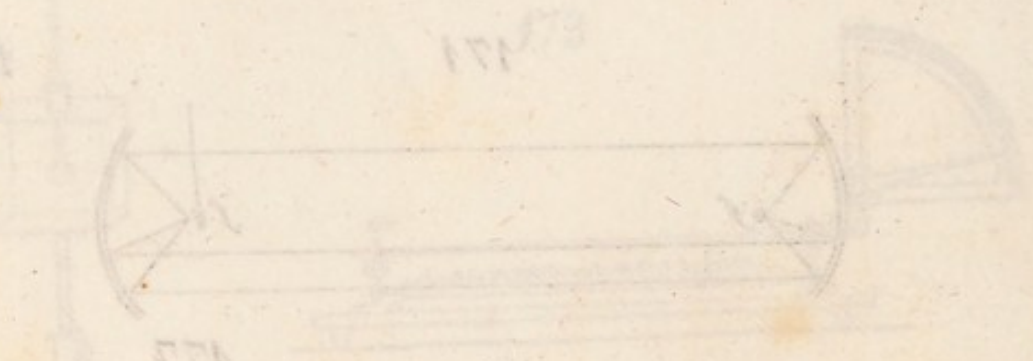
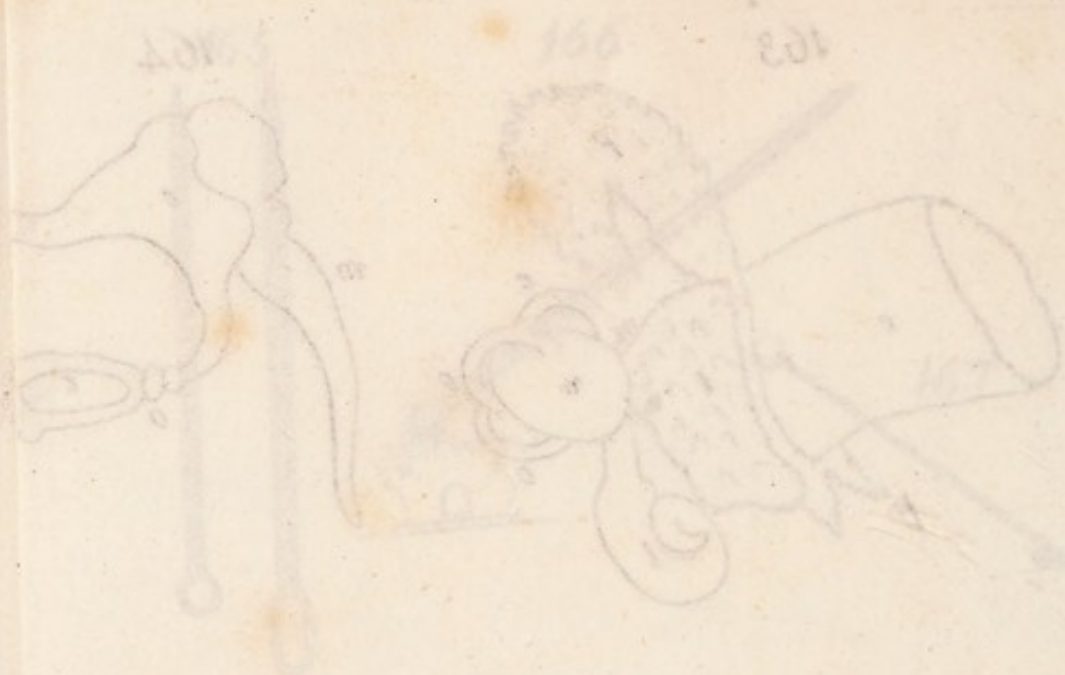


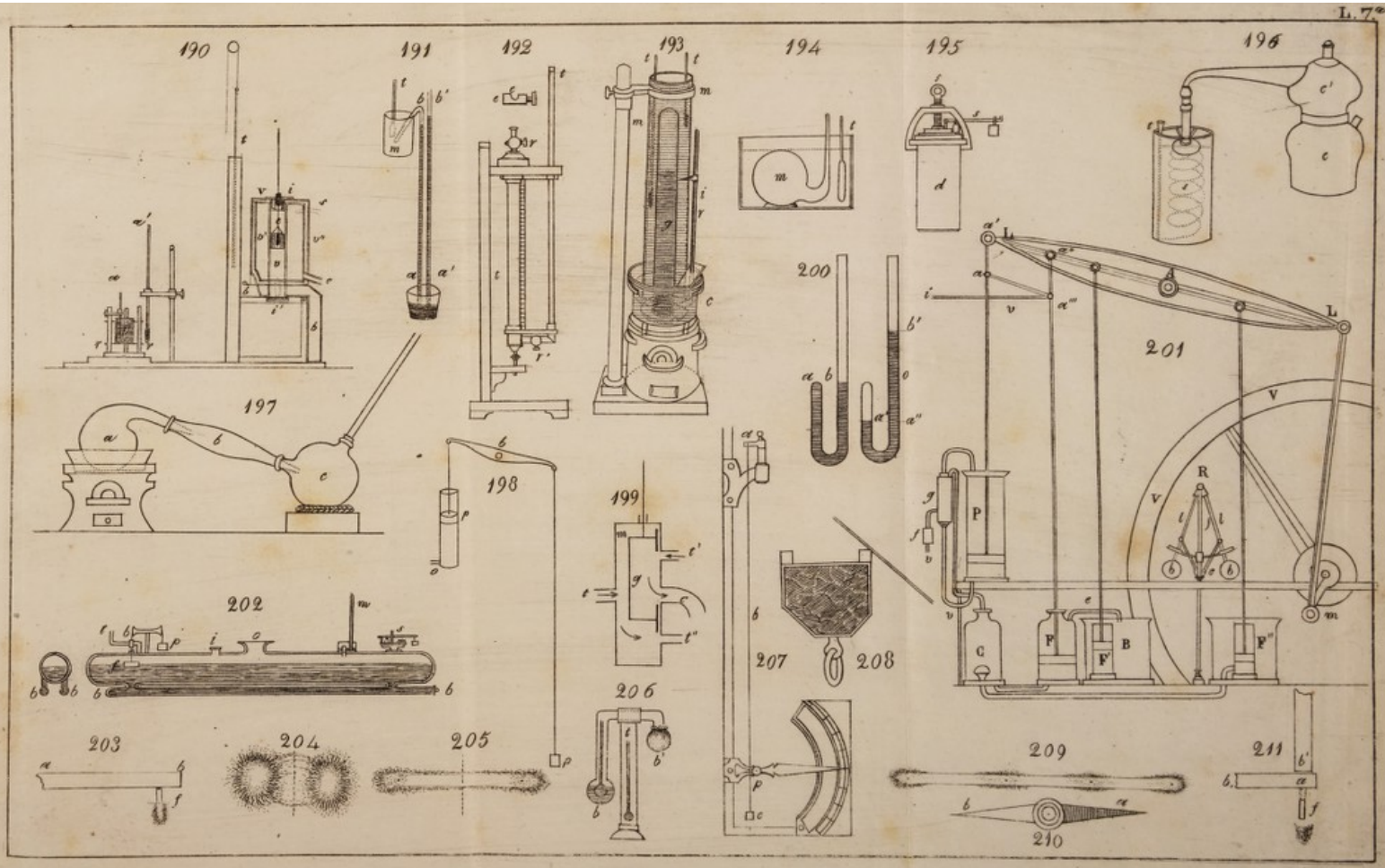


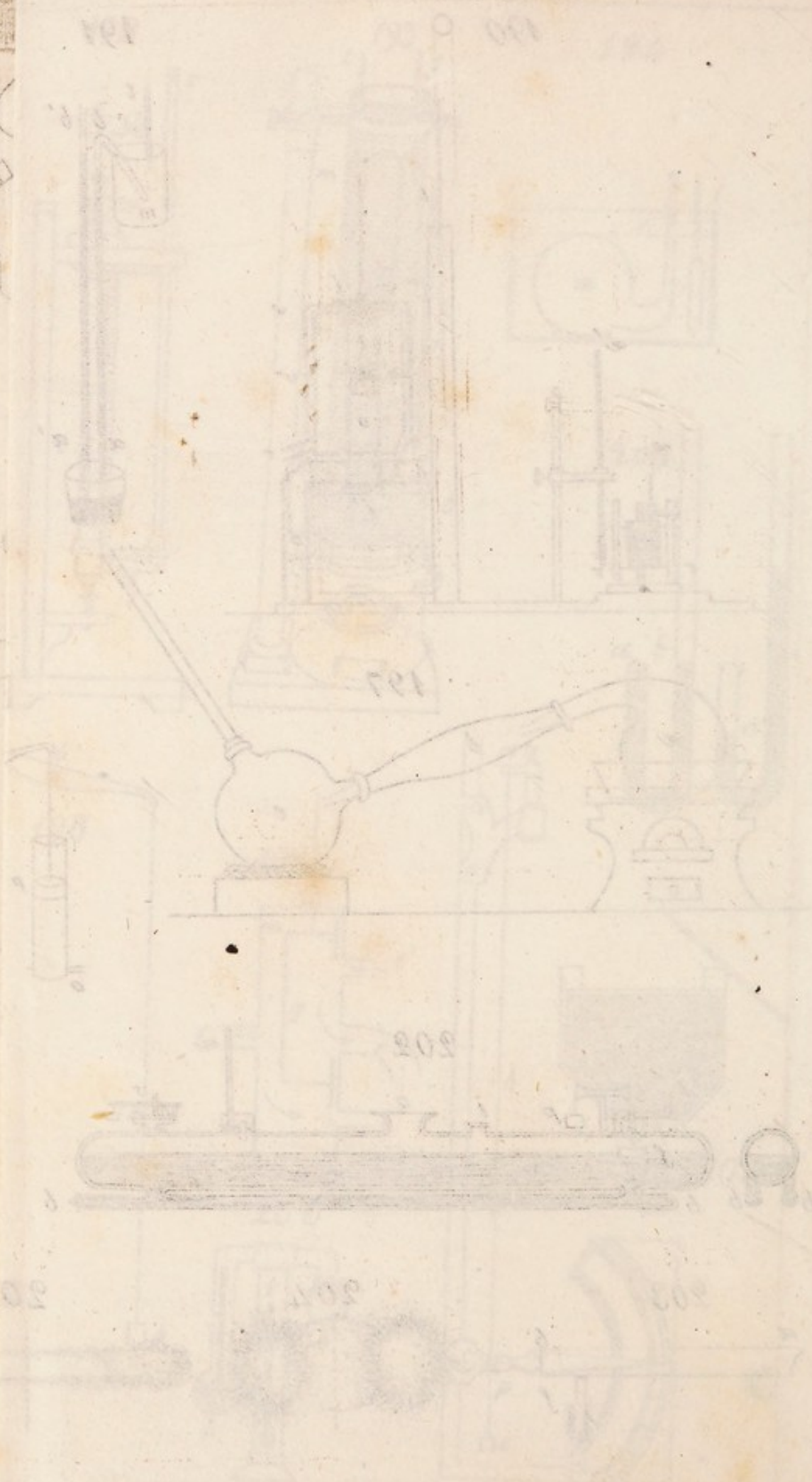


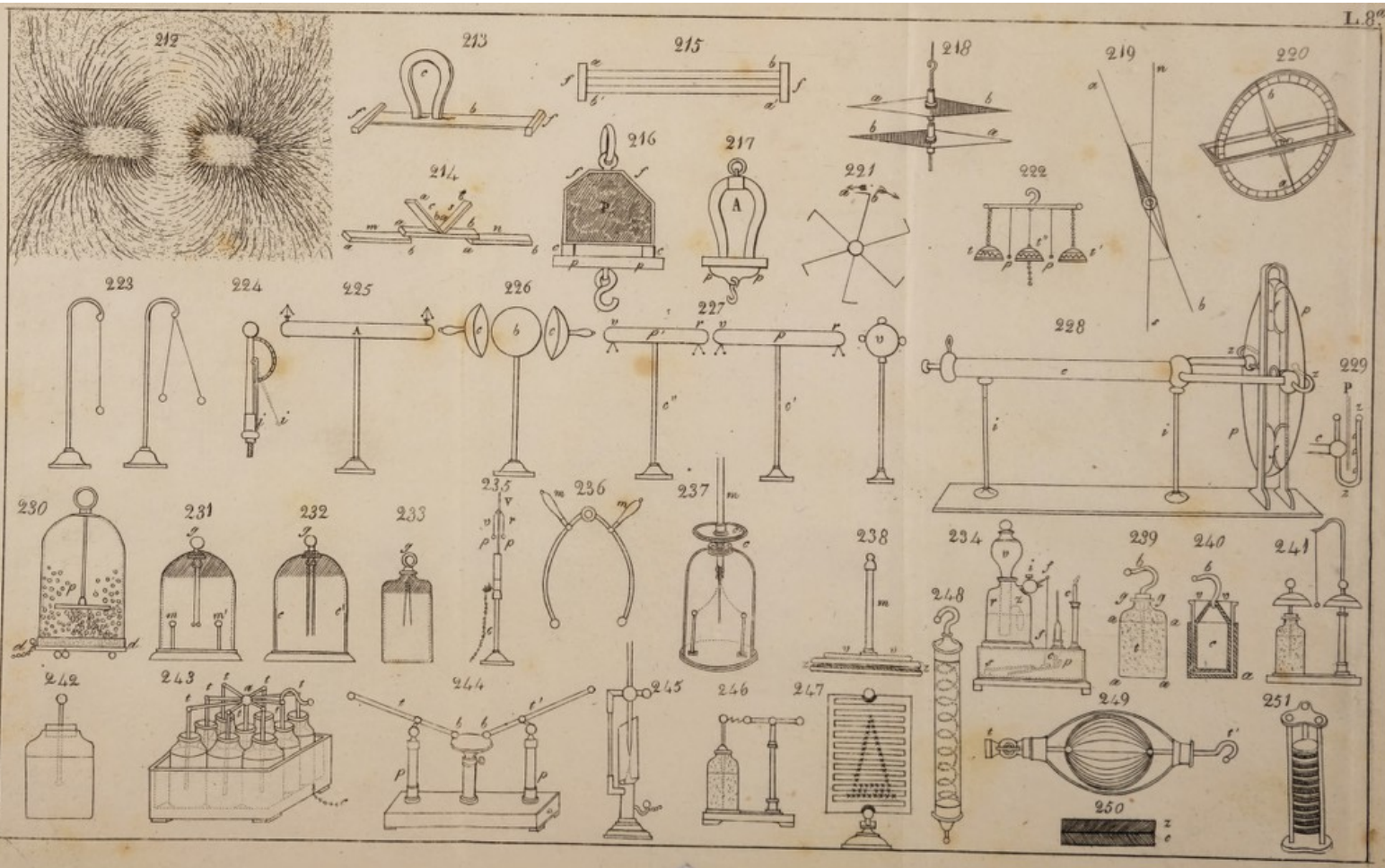


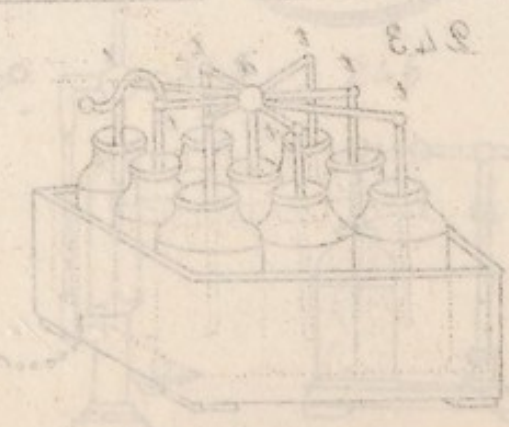
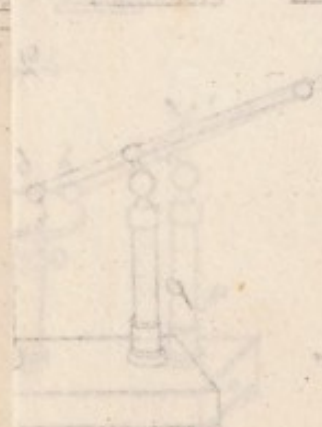
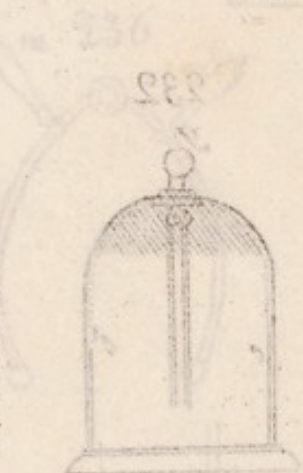
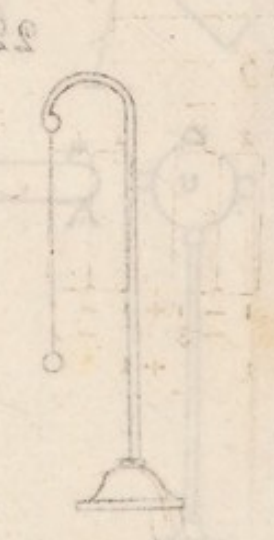
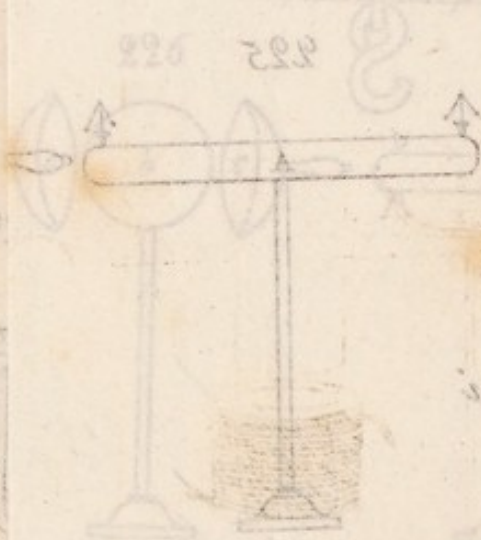
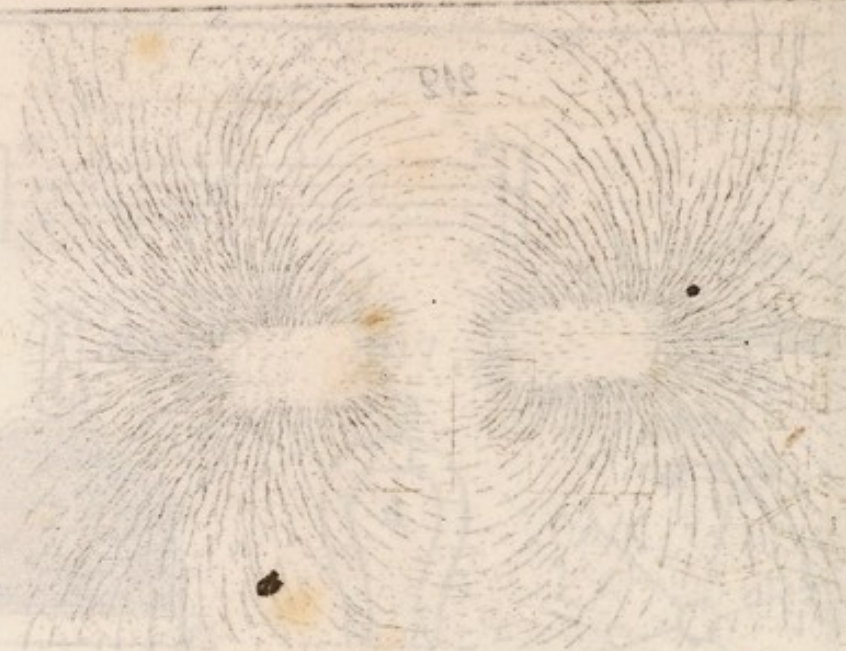








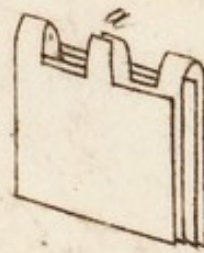
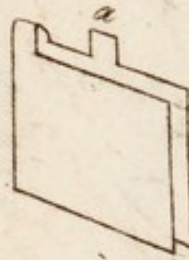
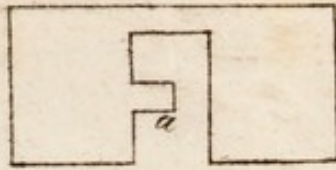
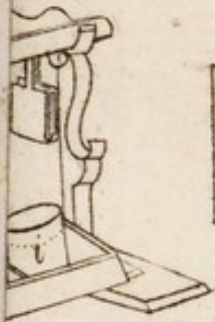




257

258

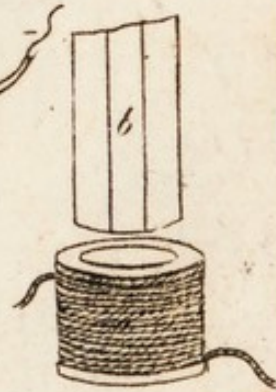
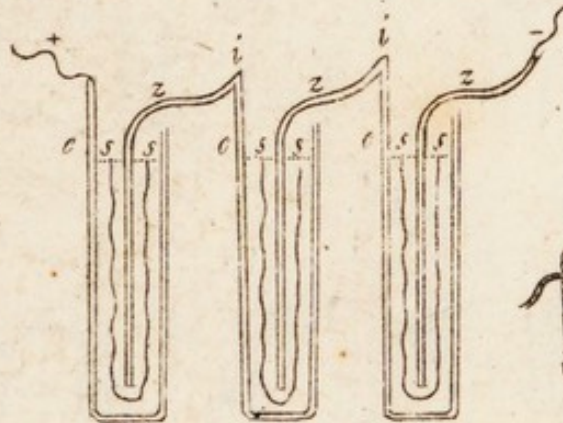
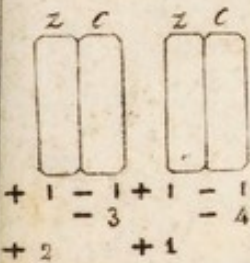
259



65

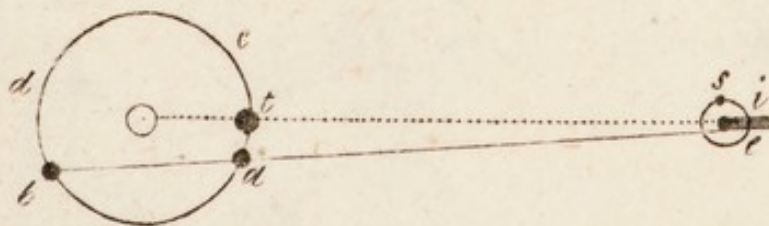
269.

270

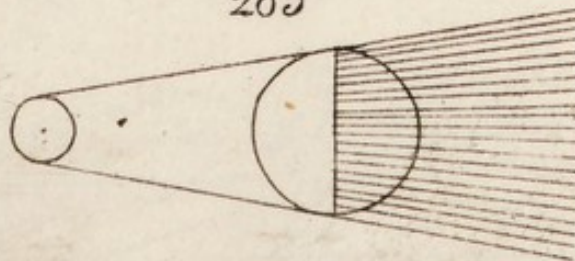


279

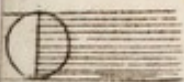
280

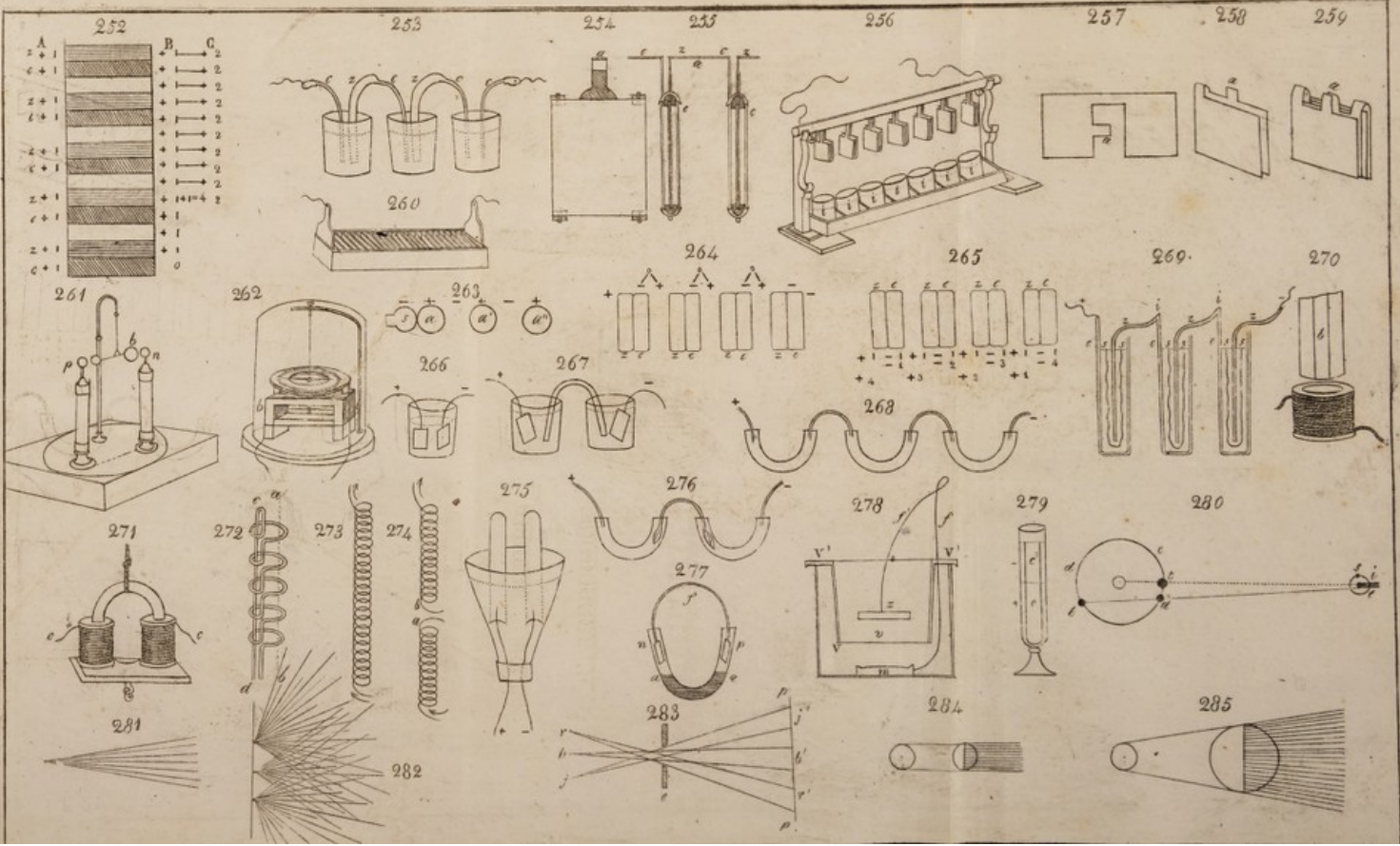


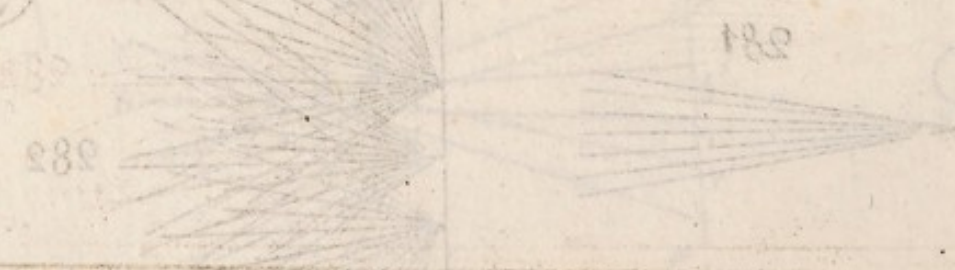
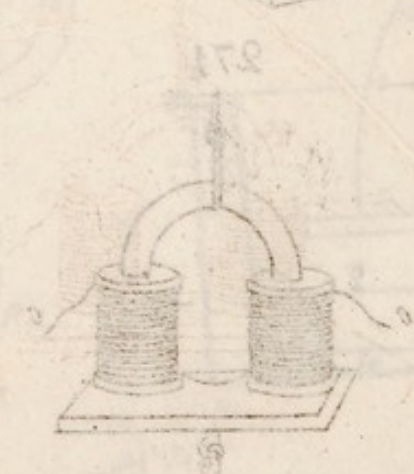
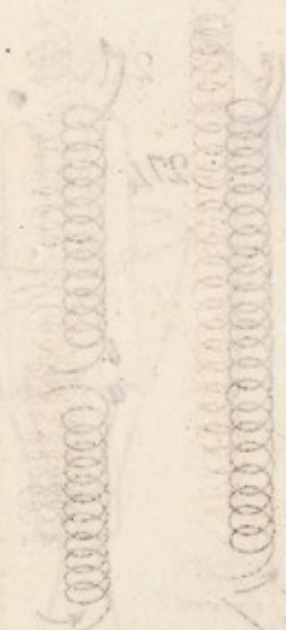
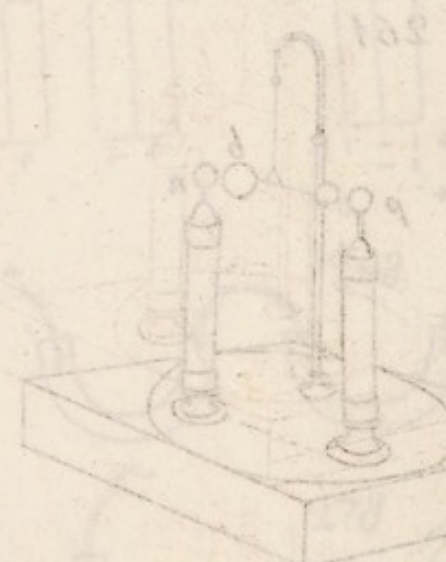
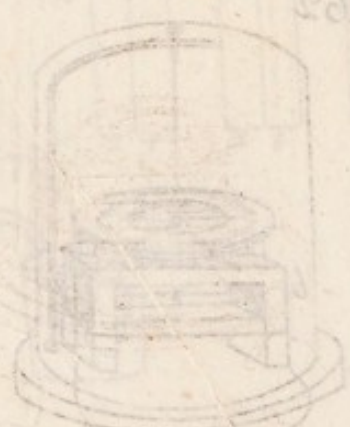
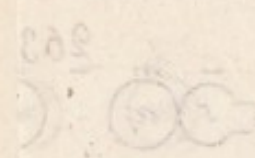
285



4







286



287



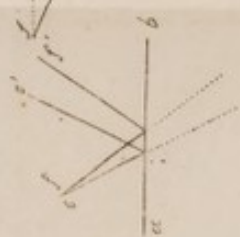
288



289



290



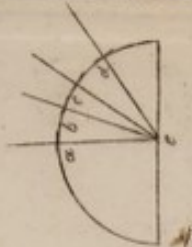
291



292



293



294



295



296



297



298



299



300



301



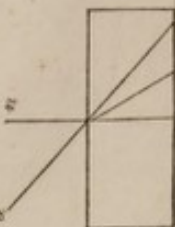
302



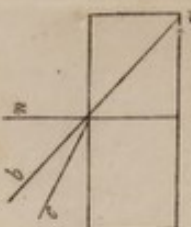
303



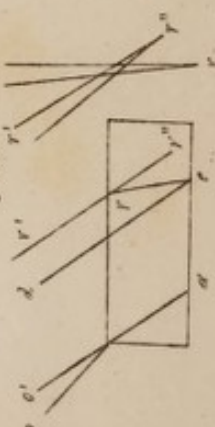
304



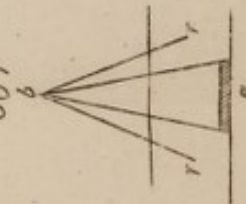
305



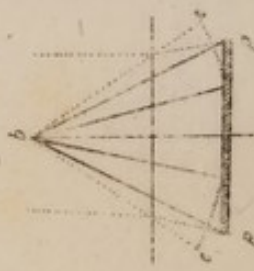
306



307



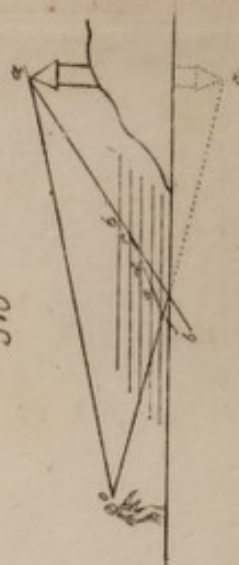
308

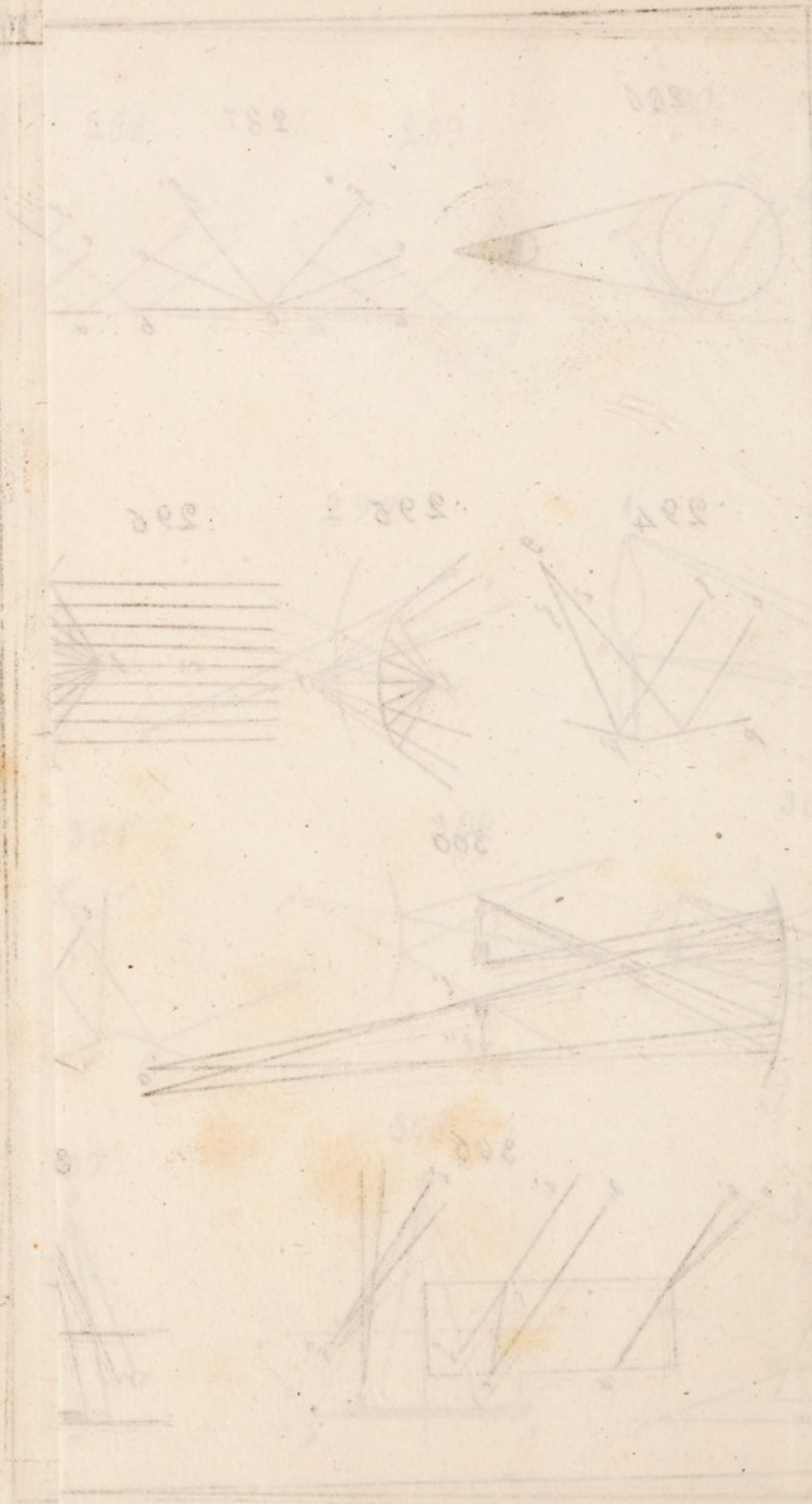


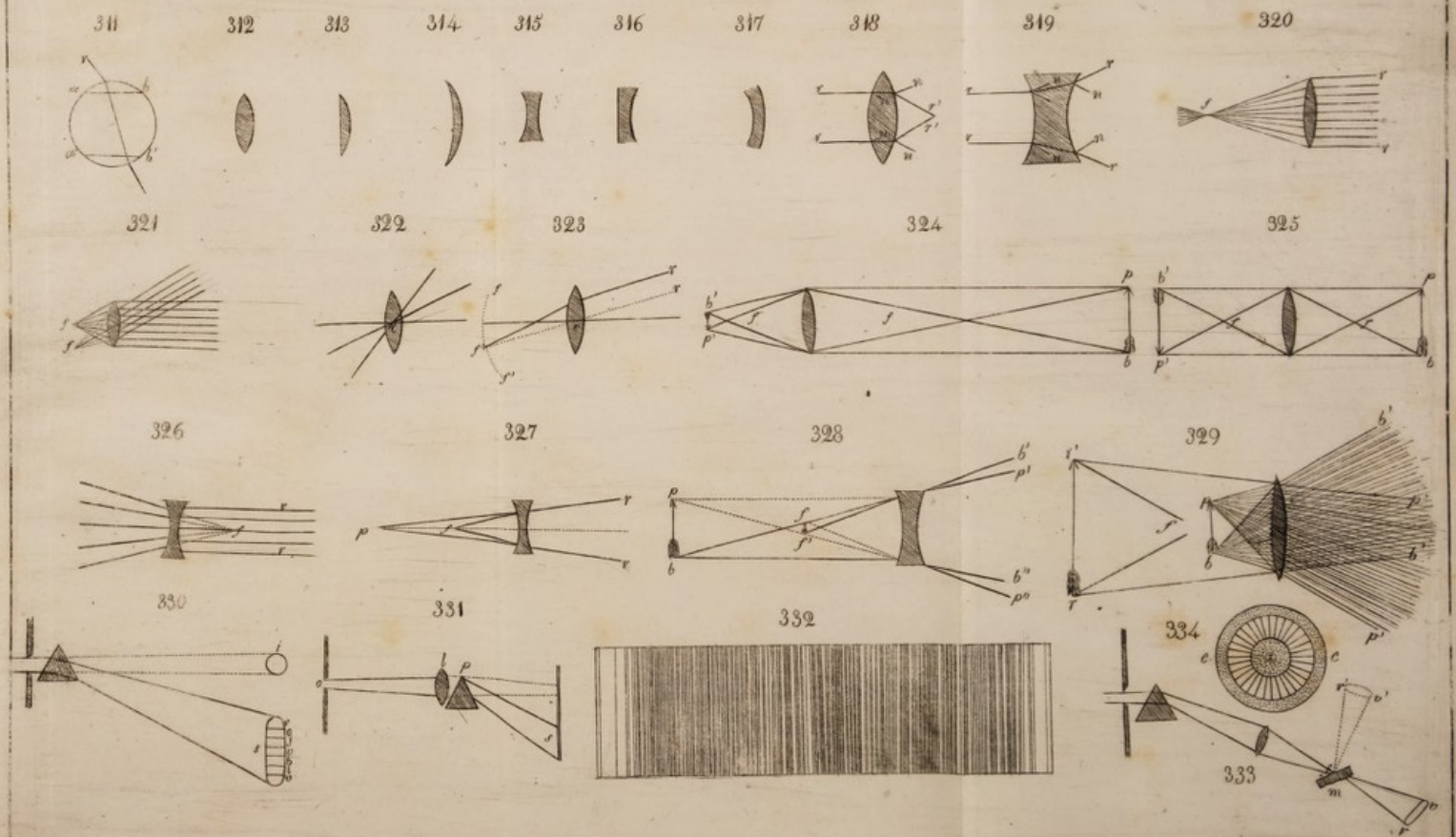
309



310





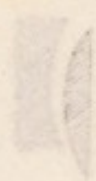
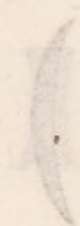


3113

31418

315

31018



32521

188

324



327

326



188

328

332

