RICALDONI

APUNTES
DE
FÍSICA

Al Doctor E. Bose Director de la Escuela Superior de Física homenaje de

APUNTES

DE FÍSICA

AJUSTADOS Á LOS NUEVOS PROGRAMAS

DE

INSTRUCCIÓN SECUNDARIA Y PREPARATORIA

POR

TEBALDO J. RICALDONI

Ingeniero Civil

PROFESOR DE MATEMÁTICAS Y FÍSICA DEL COLEGIO NACIONAL DE LA CAPITAL,
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE FÍSICA
Y DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

TEXTO APROBADO POR EL MINISTERIO DE INSTRUCCION PÚBLICA

Decreto de fecha 28 de enero de 1898

DONACIÓN
MARGARITA H. de BOSE

PRIMERA PARTE

QUINTA EDICIÓN

Ate. -200-78

BUENOS AIRES

"ARGOS" — CASA EDITORA, IMPRENTA Y ENCUADERNACIÓN

657 - Calle Cuyo - 657

1908

ES PROPIEDAD DEL AUTOR

J1869

17 NOV 1942

IMPRENTA «ARGOS». EDITOR

LIBRO PRIMERO

CAPÍTULO PRIMERO

NOCIONES PRELIMINARES

1.—Se llama **Materia** todo lo que es capaz de impresionar nuestros sentidos, con tal que *ocupe* un lugar en el espacio.

Cualquier porción limitada de materia se llama **Cuerpo.**

Al conjunto de los cuerpos que componen el universo se le dá el nombre de **Naturaleza.**

2.—**Sustancias simples y compuestas.**—Entre las sustancias que existen en la Tierra hay algunas, que sujetas á ciertas operaciones más ó menos complicadas, se pueden *descomponer* en dos ó más sustancias distintas entre sí.

Esas sustancias se llaman *Compuestas.*

Ejemplos de *Cuerpos Compuestos* tenemos en el *agua*, que está formada de *Hidrógeno* y *Oxígeno;* en el *Aire* que está formado de *Oxígeno* y *Azoe* y en la mayor parte de los cuerpos que pueblan el Universo.

—En cambio, hay otras sustancias que, por más medios que se empleen, *no pueden ser* descompuestas en otras y á éstas se les da el nombre de sustancias *Simples.*

Ejemplos son el *Oxígeno*, *Hidrógeno*, *Oro*, *Carbono*, *Mercurio*, etc.

—Actualmente se conocen *95 sustancias simples*, pero este número puede día á día aumentar ó disminuir, ya sea porque pueda *desdoblarse* alguna de ellas ó porque se pueda descubrir *alguna nueva* sustancia simple.

3.—Cuerpos orgánicos é inorgánicos.—Entre los cuerpos, hay algunos que poseen la propiedad de *nacer*, *crecer* y *morir*, y que están dotados de ciertas partes, llamadas *órganos* destinados á las funciones de nutrición, reproducción, etc.

Estos cuerpos se llaman **Orgánicos**, y son ejemplos de ellos, los *animales* y las *plantas*.

Se les suele llamar también *organizados*.

—Los que no reunen estas condiciones, se llaman **inorgánicos,** formando ellos, la mayor parte de los que componen la naturaleza.

Los cuerpos orgánicos, constituyen los *Reinos Animal* y *Vegetal;* los inorgánicos forman el *Reino Mineral*.

4.—Fenómenos.—Cualquiera impresión de nuestros sentidos que nos *manifiesta la presencia* de la materia, es un *fenómeno*.

La caída de un cuerpo, la lluvia, un sonido, etc., son *fenómenos*.

De modo, pues, que el fenómeno no es más que *una manifestación* de la materia.

—Todo fenómeno, que como los enunciados *no cambia la naturaleza íntima* del cuerpo se llama *fenómeno físico*.

—En cambio, si el fenómeno altera ó *cambia la naturaleza íntima* del cuerpo, se tendrá un *fenómeno químico*.

Por ejemplo, si dejamos expuesto al aire húmedo, un trozo de hierro, observaremos después de un cierto

tiempo que el hierro se va cubriendo de una capa de una sustancia oscura que es el *óxido de hierro*. Se ha verificado un fenómeno *químico*, pues *se ha variado* la constitución del cuerpo.

—Generalmente, cuando se produce un fenómeno químico va acompañado también de fenómenos físicos.

Así, si se quema el *carbón*, se tendrá la formación de cuerpos distintos de él, como el *óxido de carbono* y *ácido carbónico* lo cual constituye un *fenómeno químico* y al mismo tiempo se habrá observado un desprendimiento de *luz* y un aumento de *temperatura*, que son *fenómenos físicos*.

5.—Objeto de la Física.—*El objeto de la física* es el estudio de los *fenómenos físicos* que nos presentan los cuerpos, describiendo con precisión las circuntancias y particularidades que los acompañan y determinando en qué condiciones, se repetirán dichos fenómenos.

Es, pues, un estudio de *observación* y *experimentación*.

Se suele también definir la física diciendo que es: «la ciencia de las medidas esperimentales».

6.—Ley Física; Teoría Física.—Al determinar en qué condiciones se repetirán los fenómenos observados, se establece *la relación entre el fenómeno y su causa*. Esa relación es una *ley física*.

Cuando se tienen varios fenómenos, *producídos por una misma causa*, y se determinan las *leyes* de esos fenómenos, ese conjunto de leyes constituye una *Teoría Física*.

Por ejemplo, veremos más adelante que se tienen estas *leyes*.

1° *Todos los cuerpos caen con igual velocidad en el vacío.*

2° *Dos cuerpos se atraen proporcionalmente al producto de sus masas y en razón inversa del cuadrado de las distancias.*

La 1ª es una de las *leyes* de la caída de los cuerpos.

La 2ª es la *ley* de las atracciones de dos cuerpos, y estas dos *leyes unidas* á otras más que enunciaremos más adelante, constituyen una *Teoría,* pues son leyes que se aplican á fenómenos producidos por *una causa única*, que es la *Gravitación Universal.*

—Para que una *teoría* sea *buena*, es necesario que ella nos de cuenta minuciosa de *todos* los fenómenos á que puede dar lugar la causa *única* y que los resultados numéricos de los *cálculos* á que la teoría nos conduzca, sean después constatados por la observación.

CAPÍTULO II

CONSTITUCIÓN DE LOS CUERPOS

7.—Átomos.—Si tomamos un cuerpo cualquiera; por ejemplo: un trozo de cal, lo podremos dividir en *dos partes;* cada una de estas partes podrá dividirse en *otras dos* y así sucesiva é indefinidamente.

Racional ó matemáticamente esa *divisibilidad* de la materia debería ser *indefinida*, y así lo sostenían *Aristóteles* antiguamente, y *Descartes* en los tiempos modernos, pero la ley de las combinaciones químicas y un sinnúmero de fenómenos observados han conducido á los físicos á aceptar la teoría de *Demócrito* y *Gassendi*, quienes suponían que la división no podría nunca llegar más allá de *ciertos límites*, no apreciables ni aún por nuestros más poderosos microscópios, dándose el nombre de **átomos** ó *moléculas* á esas partes infinitamente pequeñas *cuya agregación* viene á constituir los *cuerpos*.

—*Su forma* nos es desconocida, y *Pitágoras* suponía que los *átomos* de cada cuerpo tenían *formas distintas*, y de allí se deducían las diferencias de propiedades de uno á otro cuerpo.

Nosotros, por lo contrario, creemos que *todos* los átomos de *todos* los cuerpos *son igules* en forma y substancia, pero que su *agrupación* se hace de una manera distinta y de allí las diferentes propiedades de los cuerpos.

—Las átomos son *simples* si corresponden á una substancia simple, y serán *átomos compuestos* cuando corresponden á una substancia compuesta.

8.—Moléculas.—A los *átomos compuestos*, se les suele dar el nombre de **moléculas**; por consiguiente, la *molécula* es una reunión de átomos de substancias distintas *que se combinan* entre sí.

De modo que no podríamos decir «un átomo de *agua*», sino «una *molécula* de agua», pues por pequeña que sea la cantidad que se considere, siempre deberá contener por lo menos *un átomo* de oxígeno y *dos* de hidrógeno, que son los cuerpos simples cuya combinación da lugar á la formación del agua.

—Otros suelen dar el nombre de *moléculas* á la *reunión* de varios átomos, ya sean de la misma substancia ó substancias distintas, ó que pueden descomponerse en átomos por medios químicos.

Nosotros usaremos indistintamente de uno ú otro nombre, refiriéndonos siempre, á las *últimas partículas* de la materia.

Hagamos notar, que debemos imaginarnos las moléculas tan infinitamente pequeñas que *nunca* podremos llegar á *verlas*. Un célebre físico, *William Thomson*, dice que si *una gota* de agua pudiera agrandarse hasta poderse ver del tamaño de la tierra, *una molécula* de esa agua tendría el tamaño de un grano de arena.

9.—Estados físicos de los cuerpos.—Las *moléculas* que forman un cuerpo no están en íntimo contacto unas con otras, sino que se mantienen á una cierta distancia debido á la acción de *atracciones* y *repulsiones* que se ejercen de molécula á molécula, atracciones y repulsiones que han sido denominadas *fuerzas moleculares*.

Según predomine una ú otra de esas fuerzas, tendremos los tres *estados* de los cuerpos: *sólido*, *líquido* y *gaseoso*.

10.—Caracteres del estado sólido.—El estado *sólido* se caracteriza porque, en identidad de condiciones, *el cuerpo conserva siempre su forma y su volumen* y también

porque hay que hacer un *esfuerzo* más ó menos consi derable para separar sus moléculas ó modificar su *forma*

11.—Caracteres del estado líquido.—El estado líquido está caracterizado porque, en igualdad de circunstancias, *el cuerpo conserva siempre su volumen y puede constantemente variar de forma* y también por la extrema movilidad de sus partes constitutivas, que hacen que las unas puedan resbalar sobre las otras, por la simple acción de la gravedad.

Su *forma* es la de la vasija que lo contiene.

12.—Caracteres del estado gaseoso.—El estado gaseoso se caracteriza porque, en igualdad de circunstancias, *el cuerpo varía de forma y de volumen.*

La movilidad de sus moléculas es mayor que en el estado líquido y *tiende constantemente á aumentar de volumen.*

Su forma y su volumen dependen de la vasija que los contiene.

13.—Estados intermediarios.—Además de estos estados hay otros intermediarios, algunos de los cuales serán motivo de un estudio especial.

—Entre el estado sólido y el líquido, tenemos el estado **Pastoso**, como la manteca, los jarabes, etc.

—Entre el estado líquido y gaseoso se intercala el esdo de **Vapor**.

—Como estados especiales tenemos el Estado **Esferoidal**, que es el estado que toman los líquidos cuando en cantidades pequeñas se les sustrae á la acción de la gravedad, como por ejemplo cuando cae líquido en un suelo con polvo ó en una plancha metálica elevada á cierta temperatura, suele decirse que es la **Forma tipica** de la materia.

—Se tiene además el **Estado radiante** que más adelante

estudiaremos, y es el estado que supone *Crookes* afecta el aire muy enrarecido.

—El estado de **Ion**, que es cada una de las dos partes en que se descompone un líquido ó cuerpo compuesto, disuelto por la acción de la corriente.

—El estado de **Electron**, que viene á ser, en las más modernas teorías, el *átomo de electricidad.*

—Finalmente el estado de átomo de la **materia unitaria**, de cuya materia suponemos que están constituídos todos los cuerpos de la naturaleza.

—Tenemos, pues, los estados: *solido, Pastoso, líquido vapor, gaseoso, esferoidal, radiante, Ion, Electron* y *unitario.*

14.—Fluidos.—A los cuerpos líquidos y gaseosos se les da el nombre genérico de **fluidos**, debido á la movilidad de sus moléculas.

Como los líquidos se comprimen muy poco con relación á la presión que sobre ellos se ejerce, se ha dado el nombre de *fluídos compresibles* á los cuerpos gaseosos. Suele denominárseles también *fluídos aeriformes.*

15.—Cohesión; Fuerza repulsiva.—Dijimos que entre las moléculas de un cuerpo se verificaban atracciones y repulsiones y que, según predominaba una ú otra, se tenían caracterizados cada uno de los *tres estados* de los cuerpos.

A la fuerza de atracción molecular se le da el mombre de *cohesión* y á la fuerza que trata de separar las moléculas se le da el nombre de *fuerza repulsiva.*

Cuando se quieren *separar las moléculas* de un cuerpo, como al estirar una goma ó al marchar dentro del agua, se nota que hay que vencer una fuerza, á veces considerable para poderlo conseguir.

Esto es debido á la fuerza de atracción molecular, ó sea á la *cohesión.*

—Igualmente, cuando se trata de *comprimir* un líquido

ó un gas, también hay que desarrollar un esfuerzo, para *vencer* la fuerza que tiende á mantener las moléculas separadas, es decir, vencer la *fuerza repulsiva*.

16 —Poros.—Luego, la *dilatación* y la *compresión* nos demuestran la existencia de las fuerzas moleculares, y también nos *prueban* que los cuerpos están formados por moléculas que no están las unas á continuación de las otras sino *separadas por espacios más ó menos grandes* que se han denominado *poros*.

Si no existiesen los poros, no sería posible comprimir los cuerpos.

17.—Espansibilidad.—La fuerza *repulsiva* se hace patente sobre todo en los gases, tomando en ese caso el mombre de *fuerza elástica ó tensión* del gas y dando lugar á una propiedad llamada *espansibilidad, que es la propiedad por la cual los gases tratan de adquirir continuamente un mayor volumen*.

—La *espansibilidad* de los gases puede probarse con el siguiente experimento:

Tómese una vejiga desinflada, perfectamente cerrada y humedecida previamente, y colóquese debajo de la campana *(fig. 1)* de la máquina neumática.

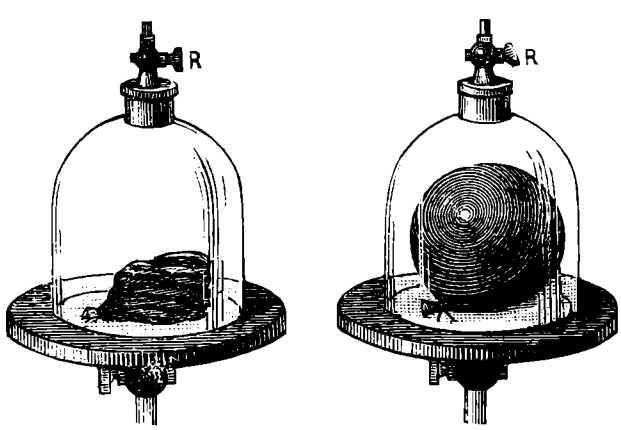


Fig. 1 Fig. 2
Espansibilidad de los gases

Hágase funcionar la máquina y á medida que se extrae el aire veremos que la vejiga se va inflando *(fig. 2)* hasta que, si se extrema la operación, estallará.

Haciendo la operación inversa, es decir, dejando entrar poco á poco el aire, después que la vejiga estaba inflada, se verá que ésta irá disminuyendo de volumen hasta tomar las dimensiones primitivas.

¿Qué ha sucedido?

Cuando colocamos la vejiga desinflada debajo de la campana de la máquina neumática, la pequeña cantidad de aire que contenía en su interior, soportaba como se verá más adelante, la *presión atmosférica*, y cuando hicimos funcionar la máquina neumática, el aire se ha ido enrareciendo en la campana y disminuyendo por consiguiente la *presión exterior*, por cuya razón el aire interior de la vejiga puso de manifiesto su *fuerza elástica* ó *tensión*, desarrollando la vejiga.

En la segunda parte del experimento, cuando hicimos entrar el aire en la campana de la máquina neumática la atmósfera volvió á ejercer presión sobre el aire interior de la vejiga y lo obligó á disminuir de volúmen.

Este experimento no solo nos demuestra la *espansibilidad* de los gases, sino que nos prueba que los gases son *compresibles*.

—La causa de la tensión ó fuerza elástica es debido á que los átomos de los cuerpos están animados de movimientos de rotación alrededor de un eje y al mismo tiempo de movimientos de traslación, el cual es perturbado por los choques entre átomo y átomo.

Las resultantes de todas estas acciones que en los gases se pone de manifiesto contra las paredes de las vasijas que contiene á los gases, constituye *la fuerza elástica de los gases*.

18.—Pruebas de la cohesión.—Si tomamos dos trozos de manteca ó de cera y ejercemos sobre ellos una cierta presión; esos dos trozos se unirán, se soldarán, por decirlo así, en uno solo y eso es debido á la *cohesión*.

—Si se toman dos balas de plomo y se corta un casquete en cada bala, de modo que la sección sea bien plana

y en seguida se juntan los dos planos ejerciendo sobre ellos una presión, las dos balas se unirán y se necesitará un gran esfuerzo para poderlos separar.

Como alguien objetara que ese fenómeno era debido á que se había producido el vacío entre los dos planos y que esa adherencia era debida á la presión atmosférica, se repitió el experimento bajo la campana de la máquina neumática donde se enrareció el aire y el experimento dió el mismo resultado.

—*En los líquidos* se tienen pruebas de la cohesión, en la *forma esférica* que toman las gotas de líquido cuando caen sobre cuerpos que ellos no mojan, como el *agua* sobre los cuerpos grasos, el *mercurio* sobre el vidrio, etc.

Otro ejemplo se tiene en los globos de agua de jabón cuya película líquida se extiende á medida que se sopla y que devuelven por el tubo, el aire interior, una vez que se deja de soplar.

—*Entre sólidos y líquidos* también se tienen ejemplos de cohesión. Efectivamente, *si no existiera* cohesión entre ellos, los líquidos no *mojarían* á los sólidos, es decir, que si introdujéramos un cuerpo en el agua, el cuerpo saldría seco.

Aun *entre los sólidos y los líquidos* que no los mojan, como entre el vidrio y el mercurio, se tienen manifestaciones de la cohesión, y un ejemplo se tiene en que con una punta de vidrio es posible levantar una gota de mercurio.

19.—Cambios de Estado.—Ya dijimos que además de los tres estados, *sólido*, *líquido* y *gaseoso*, pueden considerarse otros *estados intermedios* como el de los *cuerpos blandos y viscosos* entre los sólidos y los líquidos; y el estado de *vapor*, entre los líquidos y los gases.

El estado particular de los cuerpos no es *permanente*, pues vemos que hay cuerpos que pueden afectar los tres estados, teniendo un ejemplo en el *ácido carbónico*, que

al estado natural es *gaseoso* y que por medios especiales se obtiene al estado *líquido* y al estado *sólido*.

Los medios usados para obtener este resultado son las variaciones de la *presión* y *la temperatura*, bastando para algunos cuerpos solo la variación de la temperatura ó la de la presión y para otros haciendo obrar *ambos medios* simultáneamente.

—Con la *variación de la presión*, han obtenido *Thilorier* y *Cailletet* la licuación y solidificación del *ácido carbónico*.

—Con la *variación de la temperatura* tenemos los tres estados con que se nos presenta el *agua* en la naturaleza.

—Finalmente con la *variación simultánea de la presión y temperatura*, se ha conseguido la licuación y solidificación del *hidrógeno* y la del *aire*.

20.—Acción del calor.—Tomemos una vasija con agua y sometámosla á la acción del calor. A medida que aumenta la temperatura veremos agitarse la masa del agua, desprenderse y pasar á la atmósfera burbujas de *aire* primeramente, burbujas de *vapor* enseguida, hasta que si sigue la acción del calor, toda el agua contenida en la vasija habrá desaparecido y se habrá expandido en la atmósfera. ¿Cómo explicar este fenómeno?

Lógico es explicarlo diciendo que la *fuerza* suministrada por el calor ha aumentado la *fuerza repulsiva* de las moléculas del agua venciendo á su fuerza contraria, la *cohesión*, y el predominio de la fuerza repulsiva ha hecho aumentar la *distancia intermolecular* y de allí la formación del vapor.

Ahora bien, si en vez de dejar que el vapor se expanda, se le obliga á pasar por un tubo rodeado de una mezcla frigorífica, el vapor de agua volverá al estado *líquido* y si aún se hace actuar el enfriamiento sobre el agua, veremos que ésta se *solidificará* pasando al estado de *hielo*.

Luego, el *enfriamiento* ha aumentado la *cohesión.*

21.—Acción de la presión.—Análogamente, si colocáramos una vasija con agua destilada dentro de un recipiente que contuviera *aire comprimido*, esta agua no entrará ya en ebullición á los 100°, sino que necesitará una temperatura *mayor.*

Luego, *la presión retarda* la vaporización, es decir, *la presión aumenta la cohesión.*

—Si al contrario se coloca un vaso que contenga agua á la temperatura de 90° debajo de la campana de la máquina neumática y se enrarece el aire, el agua entrará en ebullición, lo cual nos prueba que *la disminución de presión aumenta la fuerza repulsiva.*

22.—De lo dicho se deduce, que el *aumento de temperatura y la disminución de la presión aumenta* la fuerza repulsiva y que la *disminución de la temperatura y el aumento de la presión*, *aumentan* la cohesión.

Luego, el estado de los cuerpos depende de la *temperatura* y de la *presión* á que están sometidos, y creemos que con el perfeccionamiento de los procedimientos de experimentación llegará el día en que *todos* los cuerpos de la naturaleza se podrán obtener en los tres estados.

Cuando predomine la cohesión se tendrá el estado *sólido*, cuando la fuerza de cohesión sea más ó menos igual á la fuerza repulsiva, se tendrá el estado *líquido* y cuando predomine la fuerza repulsiva, se tendrá el estado *gaseoso.*

CAPÍTULO III

PROPIEDADES DE LOS CUERPOS

23.—Al estudiar las propiedades de los cuerpos, debemos dividirlas en tres grupos:

1° *Propiedades esenciales.*
2° *Propiedades generales.*
3° *Propiedades particulares.*

24.—Propiedades esenciales.—Se da el nombre de *propiedades esenciales* á aquellas propiedades sin las cuales no sería posible concebir los cuerpos. Tales son la *Extensión,* la *Indestructibilidad* y la *Impenetrabilidad.*

25.—Extensión.—La extensión *es la propiedad que tienen los cuerpos de ocupar un lugar limitado del espacio.*

Es una propiedad *esencial* porque no es posible concebir ningún cuerpo que no tenga dimensiones.

Para medir la extensión, hay aparatos especiales de los cuales nos ocuparemos más adelante, como el *Metro*, el *Nonius* ó *Vernier*, el *Esferómetro*, el *Catetómetro*, etc.

26.— Indestructibilidad—Otra de las propiedades *esenciales* de la materia es la *indestructibilidad*, ó sea la propiedad que tiene de no poder ser *destruida.*

Todos los cuerpos compuestos de la naturaleza, pue-

den *descomponerse* por medios más ó menos complicados, pero la materia no *desaparece.*

Así, podremos hacer desaparecer *aparentemente* una gota de agua, descomponiéndola por medio de la electricidad. El agua habrá desaparecido, pero el *Oxígeno* y el *Hidrógeno* que son sus componentes los podremos recoger, y volver á formar con ellos la gota de agua.

Es decir, pues, que podemos *transformar* la materia, pero nunca *destruirla.*

27.—Impenetrabilidad.—Se llama impenetrabilidad la *propiedad por la cual dos ó más cuerpos no pueden ocupar simultáneamente el mismo lugar en el espacio.*

Esta es una propiedad esencial también, y si los líquidos y gases nos presentan el fenómeno de la *penetración* de un cuerpo dentro de su masa, este fenómeno es sólo *aparente*, pues lo único que se verifica es una *separación* de las moléculas, separación que cesa una vez que se retira el cuerpo.

Así, al introducir la mano en una vasija que contenga agua, observaremos inmediatamente que el líquido ha elevado su nivel, lo cual nos prueba que la mano *no* ha ocupado *simultáneamente el mismo espacio* que el agua, pues ese espacio ha debido aumentar de tanto, cuanto era el volumen de la mano.

28.—Propiedades generales.— Se llaman propiedades *Generales* aquellas propiedades de que están dotados *todos* los cuerpos de la naturaleza.

Estas son: *Divisibilidad*, *Porosidad*, *Compresibilidad*, *Elasticidad*, *Movilidad é Inercia.*

29.—Divisibilidad.—Se da el nombre de divisibilidad á la *propiedad que tienen los cuerpos de poder dividirse en partes.*

Si tomamos una piedra y la dividimos en *dos* fragmentos y cada uno de éstos en otros *dos* y así sucesivamen-

te, se llegará á un límite en el que ya no será *mecánicamente posible* seguirlo dividiendo; á pesar de lo cual, la razón nos dice, que esa división podrá llevarse aún más allá *indefinidamente.*

Sin embargo, los químicos (**7**) basados en la constitución *íntima* de los cuerpos, afirman que la divisibilidad *es limitada.*

—Ejemplos de extrema divisibilidad podrían citarse un gran número. Por ejemplo:

1º Se pueden hacer láminas ú *hojuelas de oro*, tan delgadas que se necesitan 20.000 de ellas, superpuestas para que den el espesor de *un milímetro.*

2º Un grano de almizcle puesto en una habitación en que *se renueva* contínuamente el aire, sigue desprendiendo *partículas* olorosas y éstas son tan ténues, que pesado el almizcle al cabo de un año, *no se nota variación sensible* en su peso.

Ahora bien ¿cuántos milímetros cúbicos, de aire se renovaron en ese tiempo? ¿Cuántas partículas de almizcle contenía cada milímetro cúbico?

3º *Wollaston* ha llegado á construir *hilos de platino* tan delgados que se necesitaban próximamente *¡20.000 metros!* para formar el peso de *un gramo.*

4º Las materias colorantes y los *microbios* con sus *órganos* se encuentran á millones en una gota de agua, constituyendo otros tantos ejemplos de la extrema divisibilidad de la materia.

30.—Porosidad.—La porosidad es la *propiedad que tienen los cuerpos de tener espacios de separación entre molécula y molécula.*

Al hablar de los poros (**16**) indicamos cual era la razón de esta propiedad.

Los poros se dividen en *físicos y sensibles* ó *accidentales.*

Los *poros físicos*, son los espacios que existen *entre molécula y molécula:* no son visibles.

Los *poros sensibles*, son los espacios que separan *porciones* del mismo cuerpo, como se nota en la *piedra pomez*, las *esponjas*, etc.; por lo tanto son visibles.

—Como *prueba* de la existencia de los poros físicos se tiene el fenómeno del *aumento y disminución del volúmen* de los cuerpos con el variar de la temperatura.

—Otro ejemplo notable se tiene en el *experimento de Reamur* que consiste en lo siguiente:

Se echa agua en un tubo de vidrio y sobre él, alcohol concentrado. Estos líquidos no se mezclan si se ha tenido la precaución de verter el alcohol sobre el agua, es decir, por orden de densidades.

Se marca la altura á que ha llegado el alcohol en el tubo y si enseguida, se agita el tubo y se vuelve á medir la altura de la columna líquida, se verá que *es menor*.

¿Cómo explicar ese fenómeno sino por la *porosidad?*

—El mismo experimento puede repetirse usando, *agua y ácido sulfúrico; agua y agua salada,* etc., y siempre se notará el mismo fenómeno.

—Si se sumerje en una vasija que contiene agua, un trozo de metal cualquiera y enseguida se coloca debajo de la campana de la máquina neumática donde se enrarece el aire, se verá desprenderse en el líquido algunas burbujas de aire que antes ocupaban los *poros* del metal.

—Finalmente indicamos un experimento que se practica en todos los gabinetes.

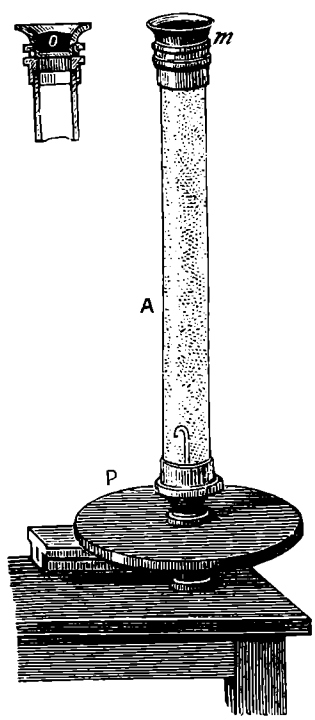


Fig. 3
Lluvia de Mercurio

Un tubo de vidrio *A* (*fig. 3*), terminado en su parte inferior por un pié que puede atornillarse en el platillo

P de una máquina neumática y en la superior por un vaso *m* cuyo fondo puede estar constituído por un disco de cuero ó de madera cortado transversalmente á sus fibras y en cuyo vaso se echa una cantidad de mercurio.

Atornillado el tubo en la máquina neumática y enrareciendo el aire, la presión atmosférica actuará sobre el mercurio y éste, empujado, se verá obligado á pasar á través del cuero ó disco de madera, cayendo en forma de *lluvia de mercurio*.

Esto nos prueba la *porosidad* del cuero ó de la madera.

31.—Compresibilidad.—La compresibilidad *es la propiedad que tienen los cuerpos de disminuir* de volúmen por efecto de la *compresión*.

En los sólidos, la compresibilidad es muy considerable cuando los cuerpos tienen poros sensibles, como en las *esponjas*, el *papel*, los *tejidos*, etc.

En los *metales* tiene una importante aplicación en la acuñación de monedas y medallas.

La compresibilidad en los sólidos tiene un *límite*, pasado el cual el cuerpo se disgrega.

—*En los líquidos*, se creía que no existiera la compresibilidad y pareció probar eso el experimento hecho por los académicos de *Florencia*, que consistió en llenar de agua una esfera de oro, la que se sometió á una fuerte presión.

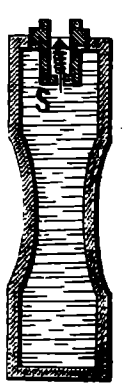


Fig. 4
Compresibilidad de los líquidos

Se notó que el agua trasudaba en la superficie de la esfera y los físicos creyeron que si bien el experimento constataba la *porosidad* del oro, también probaba la *incompresibilidad* de los líquidos.

Sin embargo, *Perkins* demostró la *compresibilidad* de los líquidos con el siguiente experimento:

Tomó una vasija metálica (*fig. 4*) aplastada lateral-

mente para poder resistir fuertes presiones interiores sin romperse.

Esta vasija estaba cerrada por una válvula *S* que se abría de afuera hácia adentro.

Después de llenar de agua la vasija *la pesó*, y enseguida introdujo esa vasija en otro recipiente con agua, sobre la cual se ejercía una fuerte presión por medio de una máquina de compresión.

Retirada la vasija al poco rato, y vuelta á pesar, se encontró que *su peso* había *aumentado.*

¿Qué probaba esto? Que por efecto de la presión, el agua de la vasija se había comprimido, permitiendo la entrada de otra cantidad de agua del recipiente que fué la que hizo acusar el *aumento de* peso.

—*En los gases*, se tiene la compresibilidad en su más alto grado.

Esto se prueba por medio de un tubo de vidrio (*fig. 5*) en el cual enchufa exactamente un pistón.

Fig. 5
Compresibilidad de los gases

Llenando de gas ese tubo é introduciendo el pistón, se notará una considerable disminución de volúmen del gas. Sin embargo, esa compresibilidad tiene su límite, pues aumentando la compresión llega un momento en que el gas generalmente no conserva su estado, sino que pasa al estado líquido.

32.—Dilatabilidad.—La dilatabilidad es *la propiedad que tienen los cuerpos de aumentar de volúmen por efecto de la temperatura.*

En los sólidos, se consideran aunque indebidamente dos clases de dilatación; la *dilatación lineal* ó en una sola dirección, y la *dilatación cúbica.* Hemos dicho *indebidamente* porque no existe dilatación si no es en todos sentidos.

—Para probar la *dilatación lineal* se hace uso de un

aparato (*fig. 6*) que consiste en una varilla metálica *A* fija por una de sus extremidades por medio de un tornillo de presión *B* y cuya otra extremidad apoya en el brazo menor de una palanca acodada que ejerce las funciones de aguja marcadora en un cuadrante graduado *K*.

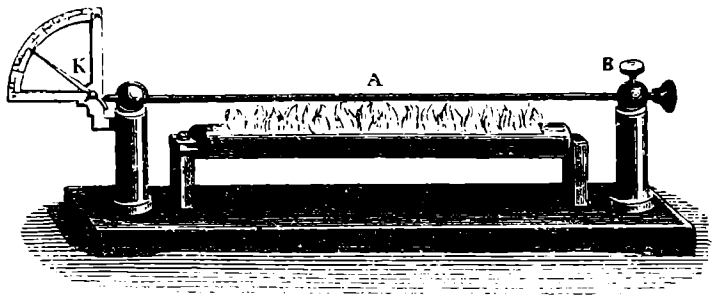


Fig 6
Dilatación lineal

Debajo de la varilla metálica hay un recipiente que contiene alcohol.

Si se enciende el alcohol la varilla se calentará y *se dilatará* y como la extremidad *B* no puede moverse por estar asegurada por el tornillo de presión, la dilatación deberá manifestarse en la extremidad *K*.

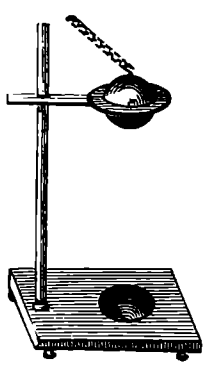


Fig. 7
Dilatación cúbica

Al dilatarse empujará el codo de la aguja y ésta se moverá recorriendo el arco graduado.

—Para demostrar la dilatación cúbica puede hacerse uso del *anillo de Sgravesande*, que consiste en un anillo metálico á través del cual (*fig. 7*) puede pasar ajustadamente una esfera de cobre.

Si *se calienta* la esfera con una lamparilla de alcohol y se apoya sobre el anillo la esfera ya no pasa, es decir que ha aumentado de volumen, se *ha dilatado;* pero si dejamos que se enfríe, la esfera caerá, pasando á través del anillo como antes.

—*En los líquidos* se prueba la dilatación haciendo uso de una esferita de vidrio unida á un tubo largo y dentro de la cual se ha introducido un líquido cualquiera (*fig. 8*).

Si se calienta la esfera, se verá que el líquido irá subiendo en el tubo hasta que, si se extrema la operación puede llegar á verterse por la abertura superior.

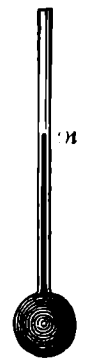


Fig. 8
Dilatación de los líquidos

—*En los gases* puede comprobarse la dilatación por medio de un aparato análogo al anterior, con la diferencia de que el tubo en vez de ser recto (*fig. 9*) es encorvado en forma de *S*.

Se introduce en el tubo una pequeña cantidad de mercurio de manera que lo ocupe en su codo inferior.

Si se aplica calor á la esferilla, se *dilatará el aire* interior y empujará al mercurio hacia la extremidad libre del tubo.

Fig. 9
Dilatación de los gases

33.—Elasticidad.—Llámase elasticidad á la propiedad que *tienen los cuerpos de volver á tomar su forma y volúmen, una vez que ha cesado la fuerza que los había deformado.*

Los líquidos y los gases son *perfectamente* elásticos, es decir, que vuelven á tomar *la misma* forma y volúmen que tenían antes, una vez que ha cesado la fuerza que los había modificado.

No sucede lo mismo con los sólidos, los cuales siempre sufren alguna pequeña *deformación.*

En los sólidos la elasticidad *es limitada*, es decir, llega un momento en que el cuerpo se rompe.

En los sólidos se estudia la elasticidad por *presión* por *flexión*, por *torsión* y por *tracción.*

La elasticidad *se aplica* en la construcción de los re-

relojes, colchones, carruajes, etc., así como es una aplicación de la elasticidad de los gases la utilización del vapor, de los explosivos, etc.

Si las maderas y los metales no fueran elásticos, no sería posible la construcción de máquinas, pues las trepidaciones y los choques inevitables entre las distintas piezas, harían estallar en pedazos los órganos de las mismas.

34.—Movilidad.—Se llama *movilidad la propiedad que tienen los cuerpos de poder ser transportados de un punto á otro.*

El estado de un cuerpo que cambia de lugar, se llama *movimiento.*

El estado de un cuerpo que está quieto ó no se mueve, se llama *reposo.*

El *reposo* y el *movimiento* son *absoluto y relativo.*

—El *reposo absoluto* sería la completa carencia del movimiento, ó el estado en que el cuerpo no cambiara de lugar en el *espacio. No existe* en la naturaleza, pues todos los cuerpos se mueven continuamente, obedeciendo á las leyes de la *gravitación universal.*

El *movimiento absoluto*, sería el cambio de lugar de un cuerpo con respecto á otro *que está en reposo absoluto*, y como el reposo absoluto no existe resulta que *el movimiento absoluto tampoco existe.*

Son abstracciones de nuestra mente.

—*Reposo relativo* es el estado de un cuerpo que conserva siempre la misma posición con respecto á los objetos que le rodean considerados como si estuvieran fijos, pero que realmente están en movimiento. Por ejemplo, un hombre *parado* en la cubierta de un buque que marcha, está en *reposo relativo.*

El *movimiento relativo* es aquel que se mide con respecto á los otros cuerpos que parecen estuvieran en reposo; pero que sin embargo están en movimiento.

Un hombre que *camína* en la cubierta de un buque *en marcha*, está en *movimiento relativo.*

35.—Inercia.—*Es la propiedad que tienen las cuerpos de no poder por sí mismos ponerse en movimiento ó modificar el movimiento de que estuviesen animados.*

Se deduce de esta definición, que si imprimimos un movimiento á una bola de marfil, esta bola debería seguir marchando indefinidamente. Sin embargo no sucede así, lo que es debido á que sobre la bola obran fuerzas que tienden á *modificar* el movimiento de que está animada, y esas fuerzas son la resistencia del aire y la gravedad.

De la misma manera que el agua opone cierta resistencia á la marcha, así también *el aire*, que es un cuerpo, opone su resistencia, aunque menor.

—La *gravedad* trata también de modificar el movimiento, debido al *frotamiento*, lo cual se comprueba, dando un impulso á esa bola y haciéndola correr sobre un terreno con asperocidades. La bola se parará á una cierta distancia.

Si damos el *mismo impulso* y la hacemos correr sobre un piso liso, la bola recorrerá un *espacio mayor*, porque el *frotamiento* será menor.

La inercia nos explica muchos fenómenos, y tiene grandes aplicaciones.

—Cuando un hombre montado á caballo va al galope y éste se detiene bruscamente, el hombre es lanzado al suelo pasando sobre la cabeza del caballo.

¿Por qué?

Porque el hombre estaba animado de un movimiento y cuando se paró el caballo, el cuerpo del hombre siguió el movimiento hasta que la gravedad lo *modificó.*

Del mismo modo se explica que al partir bruscamente el caballo del estado de reposo, el hombre sea despedido por la cola.

—Cuando se viaja en un tramway y se quiere bajar dejando que el tramway siga su marcha, es necesario tener la precaución de bajar en el sentido de la marcha, y corriendo unos cuantos pasos hasta poder *dominar el movimiento* de que estaba animado el cuerpo.

Si uno quisiera pararse en el mismo punto en que se baja, resultará que estando el cuerpo animado de un cierto movimiento y quedando los pies bruscamente en reposo, por la acción de la gravedad, el resto del cuerpo seguiría el movimiento de que estaba animado y el pasajero caería de bruces.

Esto podrá, sin embargo, evitarse echando el cuerpo hacia atrás de modo que cuando el cuerpo siga el movimiento de avance, este movimiento servirá para que el hombre quede en su posición natural.

Usando este medio, puede aún lanzarse del tramway mirando en sentido contrario de la marcha; pero siempre, como dijimos, inclinando el cuerpo en sentido contrario al movimiento.

Cuando se quiere saltar un foso, conviene correr desde una cierta distancia, pues al pegar el salto; al movimiento que imprima la fuerza muscular desarrollada, *se une* el movimiento de que ya venía animado el cuerno y entonces se puede salvar una distancia mayor.

Los volantes de las máquinas, la penetración de los clavos, etc., son aplicaciones de la *inercia*.

36.—Propiedades particulares.—Además de las propiedades *esenciales* y *generales*, los cuerpos presentan propiedades *particulares*, es decir, propias de cada cuerpo, y por medio de las cuales pueden distinguirse unos cuerpos de otros.

Estas propiedades son *el olor*, *el color*, *la transparencia*, *la solidez*, *la fluidez*, *la dureza*, *la tenacidad*, *la ductilidad*, *la maleabilidad*, etc.

LIBRO SEGUNDO

NOCIONES DE MECÁNICA

CAPÍTULO PRIMERO

CINEMÁTICA

37.—Definiciones.—La *Mecánica* tiene por *objeto* el estudio del *movimiento* y *sus causas*, las fuerzas.

La mecánica se divide en *Racional*, *Celeste* y *Aplicada*.

—*Mecánica Racional*, es la que se dedica al estudio de las *fuerzas* y los *movimientos*, por medio de razonamientos rigorosos y *basándose* en un cierto número de *verdades observadas*.

—*Mecánica Celeste*, es la que se dedica puramente al estudio del movimiento de los astros que pueblan la bóveda celeste.

—*Mecánica Aplicada*, es la que *estudia la acción* de las fuerzas sobre los cuerpos y su *empleo* en las *máquinas*.

38.—La *mecánica racional* puede dividirse en tres partes, que son la *Cinemática*, la *Estática* y la *Dinámica*.

—La *Cinemática* es la parte que estudia *el movimiento en sí mismo* ó puramente bajo el punto de vista *geométrico.*

—La *Estática* es la que estudia las fuerzas *en estado de equilibrio.*

—La *Dinámica, establece las relaciones* que existen entre los movimientos y sus causas, es decir, estudia las *fuerzas en acción.*

39.—Del movimiento en general.—Examinemos las ideas que nos sujiere el movimiento de un objeto cualquiera, por ejemplo, el paso de un tren de una á otra estación.

Vemos un *móvil* que recorre un cierto *espacio*, siguiendo una *trayectoría*, y con una *velocidad* que vá. *aumentando* al principio, permanece *constante* la mayor parte del trayecto y vá *disminuyendo* al llegar á la estación final, empleando en recorrer esa distancia un *tiempo* dado.

De lo dicho se deducen las siguientes definiciones:

—*Móvil* es el cuerpo que se considera en movimiento.

—*Espacio* es la distancia recorrida por el móvil.

—*Tiempo* es la duración del movimiento que se estudia.

—*Velocidad*, es la distancia recorrida en la *unidad* de tiempo. Así, una velocidad de 3, 5, 7 metros *por segundo*, quiere decir que el móvil en la unidad de tiempo (*segundo*) habrá recorrido un espacio de 3, 5, 7 metros.

—*Trayectoría* es la línea recorrida por el móvil. Se supone que el móvil ha reconcentrado toda su materia en *un solo punto*, que toma el nombre de *punto material.* La trayectoría puede ser *rectilínea ó curvilínea*, según que el cuerpo recorra una línea recta ó una curva.

40.—El mismo ejemplo que hemos citado nos sugiere la idea de que el movimiento pueda ser *Uniforme* ó *Variado.*

Movimiento Uniforme, es aquel en el cual *un móvil recorre distancias iguales en tiempos iguales.*

Movimiento variado, es aquel en el cual un móvil en tiempos iguales *no recorre espacios iguales.*

41.—Movimiento uniforme.—En el movimiento *uniforme*, *la velocidad está expresada por el espacio recorrido en la unidad del tiempo.*

De aquí se deduce la

1ª **Ley.**—*La velocidad en el movimiento uniforme es constante.*

—Para deducir la *segunda ley* llamaremos *v* la *velocidad* del movimiento y *e* el *espacio* recorrido por el móvil en un *tiempo t.*

Al cabo de 1 segundo el espacio recorrido será igual á la velocidad, es decir:

$$e = v$$

al cabo de *2 segundos* se tendrá. $e = 2v$

» » » *3* » » » . $e = 3v$

. . . . . .

y al cabo de *t segundos* . . $e = vt$ (1)

fórmula que nos dá la

2ª **Ley.**—En el movimiento uniforme, *el espacio recorrido es proporcional al tiempo.*

—Esta ley se puede representar geométricamente, suponiendo que la *longitud AB* (*fig. 10*) represente el tiempo *t* y la *longitud* de la perpendicular *BC* represente la velocidad *v*, y formando el rectángulo *ABCD*, se tendrá que el área *A*, estará representada por

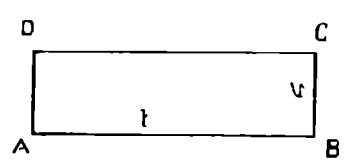


Fig. 10
Movimiento uniforme

$$A = v\,t$$

pero como

$$e = v\,t$$

resultará que

$$e = A$$

es decir, el espacio recorrido en el movimiento uniforme *puede representarse* por el *área del rectángulo* construído sobre las dos rectas que representan la *velocidad* y el *tiempo.*

42.—De la fórmula (**1**) se saca

$$v = \frac{e}{t} \qquad (2)$$

y

$$t = \frac{e}{v} \qquad (3)$$

fórmulas que nos dan la *velocidad* y el *tiempo* cuando se conocen los otros dos elementos ó datos.

—El tiempo *t* siempre está expresado en *segundos.*

—Podríamos proponernos resolver algunos problemas.

—PROBLEMA 1º: *¿Qué distancia habrá recorrido un tren en una hora, sabiendo que su velocidad es de 10 metros?*

FÓRMULA

$$e = v\,t$$

en la cual

$$v = 10_m$$
$$t = 3600_s$$

SOLUCIÓN

$$e = 10 \times 3600 = \mathbf{36000}\ metros$$

—PROBLEMA 2º: *¿Cuál ha sido la velocidad media de un vapor que ha recorrido 32680 metros en 1 hora 8 minutos y 5 segundos?*

FÓRMULA

$$v = \frac{e}{t}$$

en la cuál

$$e = 32680_{\text{m}}$$
$$t = 4085_{\text{s}}$$

SOLUCIÓN

$$v = \frac{32680_{\text{m}}}{4085_{\text{s}}} = 8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

—PROBLEMA 3º: *¿Cuánto tiempo tardará un individuo en recorrer 21.000 metros sabiendo que marcha con un movimiento uniforme de 180 metros por minuto?*

FÓRMULA

$$t = \frac{e}{v}$$

dónde

$$e = 21.000_{\text{m}}$$
$$v = \frac{180_{\text{m}}}{60_{\text{s}}} = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

SOLUCIÓN

$$t = \frac{21000_{\text{m}}}{3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 7000_{\text{s}} = 1_{\text{h}}\, 56_{\text{m}}\, 40_{\text{s}}$$

43.—Movimiento variado.—En el movimiento variado los espacios recorridos en tiempos iguales *no son* iguales. El movimiento *cambia* á cada instante, de donde resulta que la velocidad en un momento dado no se puede definir como en el caso anterior.

Se suele *definir la velocidad* diciendo que en el movimiento variado, la *velocidad* es la velocidad que anima-

ría al móvil, si *en el instante* que se considera, el móvil estuviera completamente abandonado á sí mismo, es decír, *libre* de todas las causas que podrían modificar su movimiento.

—El movimiento variado puede ser *uniformemente acelerado y uniformemente retardado.*

Uniformemente acelerado es cuando la velocidad *crece* cantidades iguales en tiempos iguales.

Uniformemente retardado es cuando la velocidad *decrece* cantidades iguales en tiempos iguales.

44.—Movimiento uniformemente variado.—Para estudiar las leyes del movimiento uniformemente variado llamemos u la *velocidad inicial*, es decir, la velocidad que tiene el móvil en el momento á partir del cual se cuentan los tiempos.

Sea γ la *aceleración*, es decir, *la cantidad constante* que expresa la variación que sufre la velocidad *en la unidad de tiempo.*

Sea v la *velocidad*, del móvil, que queremos determinar, al cabo de t segundos.

Según la definición sabemos que la velocidad inicial u al cabo de 1_s habrá variado de una cantidad γ *en más ó en menos*, según el movimiento sea uniformemente *acelerado ó retardado*, luego la velocidad v al cabo de un segundo será

$$v = u \pm \gamma$$

al cabo de 2_s sería . . . . $v = u \pm 2\gamma$

» » » 3_s » . . . $v = u \pm 3\gamma$

. . . . . .

y al cabo de t_s sería. . . $\mathbf{v = u \pm t\,\gamma}$ (1)

Fórmula que nos dá la *Primera Ley* del movimiento uniformemente variado que dice:

El cambio experimentado por la velocidad, al cabo de un cierto tiempo, es proporcional á este tiempo.

—Si el movimiento es *uniformemente acelerado* la formula será:

$$v = u + \gamma t$$

y si es *uniformemente retardado* será

$$v = u - \gamma t$$

—*Si el móvil parte del estado de reposo*, es decir, si la *fuerza inicial u es nula;* la fórmula del movimiento *uniformemente acelerado sería*

$$v = \gamma t \qquad (2)$$

la que traducida, nos dice:

La velocidad adquirida en el movimiento uniformemente acelerado al cabo de un cierto tiempo, es proporcional á ese tiempo.

Esta es la *Ley de las velocidades.*

45.—Para demostrar la *Segunda Ley*, es decir, la *ley de los espacios*, emplearemos la elegante demostración debida á *Galileo*, que es la siguiente:

Representemos por una recta *A B*, *el tiempo* y por otra recta *B C* (*fig. 11*) levantada perpendicularmente sobre *A B*, *la velocidad* al cabo de este tiempo.

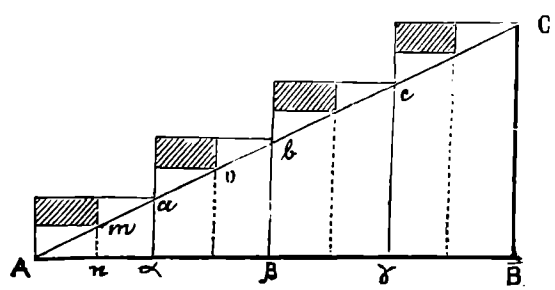


Fig. 11
Movimiento uniformemente acelerado

Dividamos el tiempo *A B* en partes $A\alpha$; $\alpha\beta$; $\beta\gamma$; γB iguales é infinitamente pequeñas.

En este caso *las velocidades* adquiridas al fin de los

tiempos $A\,\alpha$; $\alpha\,\beta$; $\beta\,\gamma$; $\gamma\,B$; *estarán dadas* por los perpendiculares $\alpha\,a$; $\beta\,b$; $\gamma\,c$; de una manera análoga que la velocidad correspondiente al tiempo $A\,B$, estaba representada por la pendicular $B\,C$.

—*Supongamos* ahora que durante cada una de estas subdivisiones de tiempo $A\,\alpha$; $\alpha\,\beta$; $\beta\,\gamma$; ... *la velocidad permanezca constante* é igual á la velocidad que tiene el móvil al fin de cada intervalo, cosa que podemos suponer, porque hemos tomado esos intervalos infinitamente pequeños. Luego, *dentro de cada intervalo el movimiento puede considerarse como uniforme.*

En este supuesto, según lo hemos visto (**41**) *los espacios* estarán representados por los rectángulos $A\,a$; $\alpha\,b$; $\beta\,c$ y $\gamma\,C$, luego, *el espacio recorrido al fin del tiempo A B, estará representado por la suma de todos los rectángulos*, suma que *representa* aproximadamente la superficie del triángulo $A\,B\,C$.

Si ahora consideramos divididos los tiempos en intervalos mitad de los anteriores y formamos los rectángulos correspondientes Am, $n\,a$, $\alpha\,o$... vemos que la suma de esos rectángulos se irá aproximando cada vez más á la superficie del *triángulo*, hasta que llevando á un alto grado la subdivisión del tiempo, *la suma* de los rectángulos puede considerarse *igual al triángulo.*

Antes habíamos deducido que *el espacio recorrido al fin del tiempo A B era igual á la suma de las áreas de los rectángulos*, luego ahora podemos decir que *el espacio recorrido estará representado por el área de un triángulo rectángulo* cuya *base* representa el *tiempo* y cuya *altura* representa la *velocidad.*

Luego si llamamos e el espacio resultará

$$e = \tfrac{1}{2}\, A\,B \times BC$$

ó bien

$$e = \tfrac{1}{2}\, t \times v$$

y sustituyendo el valor de v que nos dá la (**2**) se tendrá

$$e = \tfrac{1}{2} t \times \gamma t$$

ó bien

$$e = \tfrac{1}{2} \gamma t^2 \qquad (3)$$

—Esta es la *Segunda Ley* del movimiento *uniformemente acelerado* y que traducida nos dice:

En el movimiento uniformemente acelerado, el espacio recorrido es proporcional al cuadrado del tiempo empleado en recorrerlo.

Es decir, si llamamos a el espacio recorrido en 1 s, el espacio recorrido al cabo de

1 s, 2 s, 3 s, 4 s, 5 s, ... estará representado por a, $4a$, $9a$, $16a$, $25a$, ... y los espacios recorridos en cada segundo serán

	$1\,a$	*en el primer*	*segundo*	
$4a -$	$1\,a = 3\,a$	»	» *segundo*	»
$9a -$	$4\,a = 5\,a$	»	» *tercer*	»
$16a -$	$9\,a = 7\,a$	»	» *cuarto*	»
$25a -$	$16\,a = 9\,a$	»	» *quinto*	»

es decir, como la *serie de los números impares*, los cuales se deducen de la serie anterior restando del 2º espacio el 1º; del 3º el 2º, etc.

De la fórmula (**3**) se saca

$$\gamma = \frac{2e}{t^2} \qquad (4)$$

y también

$$t = \sqrt{\frac{2e}{\gamma}} \qquad (5)$$

que nos dan la *aceleración* y el *tiempo*.

La recíproca de esta Ley, también es cierta.

—Apliquemos las fórmulas (**3**), (**4**) y (**5**) á la resolución de algunos problemas.

PROBLEMA 1º: *¿De qué altura habrá caído una piedra si ha tardado 10 segundos, sabiendo que la aceleración de la gravedad es 9,81m?*

FÓRMULA

$$e = \frac{\gamma\, t^2}{2}$$

en la cual

$$\gamma = 9{,}81\ \tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$
$$t = 10\mathrm{s}$$

SOLUCIÓN

$$e = \frac{9{,}81 \times 10^2}{2} = \frac{9{,}81 \times 100}{2} = \mathbf{490{,}50m}$$

PROBLEMA 2º: *¿Qué velocidad habrá adquirido esa misma piedra al llegar al suelo?*

FÓRMULA

$$v = \gamma\, t$$

donde

$$\gamma = 9{,}81\ \tfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$
$$t = 10\mathrm{s}$$

SOLUCIÓN

$$v = 9{,}81 \times 10 = \mathbf{98{,}10}\ \tfrac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}}$$

PROBLEMA 3º: *¿Qué tiempo tardará en caer un cuerpo desde la altura de313,92m, sabiendo que la aceleración de la gravedad es de 9,81?*

FÓRMULA

$$t = \sqrt{\frac{2\,e}{\gamma}}$$

en la cual

$$e = 313{,}92$$
$$\gamma = 9{,}81$$

SOLUCIÓN

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 313{,}92}{9{,}81}} = \sqrt{\frac{627{,}84}{9{,}81}} = \sqrt{64} = \mathbf{8\ segundos}$$

PROBLEMA 4º: *Una bola que cae por la ladera de una montaña ha recorrido con movimiento acelerado, una longitud de 1000 metros en 2 minutos.*

Se desea conocer cuál ha sido la aceleración media.

FÓRMULA

$$\gamma = \frac{2\,e}{t^2}$$

en la cual

$$e = 1000_{\text{m}}$$
$$t = 120_{\text{s}}$$

SOLUCIÓN

$$\gamma = \frac{2 \times 1000}{120^2} = \frac{2000}{14400} = \mathbf{0.138\ \frac{m}{s^2}}$$

* **46.—Composición de movimientos.**— Los movimientos ó las velocidades impresas á un mismo cuerpo según la misma ó distinta dirección, se pueden componer en un *único* movimiento ó una *única* velocidad, llamada *resultante* de los movimientos ó velocidades *componentes*.

1º Si un cuerpo se mueve en una cierta dirección con

una velocidad V y se le comunica una velocidad V', en la *misma dirección*, el cuerpo seguirá siempre en la *misma dirección*, con una velocidad.

$$v = V + V'$$

2º Si al contrario, á un cuerpo que posee la velocidad V se le imprime una velocidad V' en *sentido contrario*, el cuerpo seguirá el sentido de la *mayor* velocidad y su velocidad será

$$v = V - V'$$

3º Cuando á un cuerpo que está animado de una velocidad V se le imprime una velocidad V' cuya dirección sea inclinada con respecto al primer movimiento, *la resultante A D (fig. 12) seguirá la dirección de la diagonal del paralelógramo* construido sobre los dos movimientos y su velocidad estará representada por la longitud de esa misma diagonal.

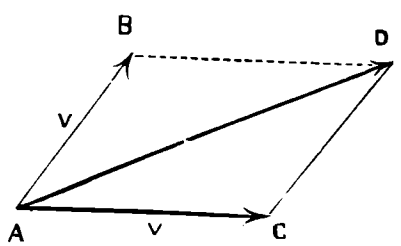


Fig. 12
Composición de movimientos

4º Cuando á un cuerpo que está animado de un *movimiento* uniforme se le comunica bajo un cierto ángulo un movimiento uniformemente acelerado, la *trayectoria* será *una parabola.*

* **47.**—Como ejemplos de estos movimientos compuestos, se tienen:

—Para el *primer caso*, la velocidad que tendrá *en el espacio*, un individuo que marcha en un buque, en la *misma dirección* del movimiento del buque.

—Para el *segundo caso*, la velocidad que tiene *en el*

espacio, un individuo que marcha en un buque en la *dirección contraria* del movimiento de dicho buque.

—Para el *tercer caso* el movimiento de un individuo *A* (*fig. 13*) que quiere pasar á un punto *B* del buque, pero suponiendo que el buque *está en movimiento* en la dirección de la flecha *A A'*.

Mientras el individuo pasa de *A* á *B*, el punto *B* ha avanzado hasta *B'* y entonces el movimiento del individuo *en el espacio* se habrá hecho en la dirección

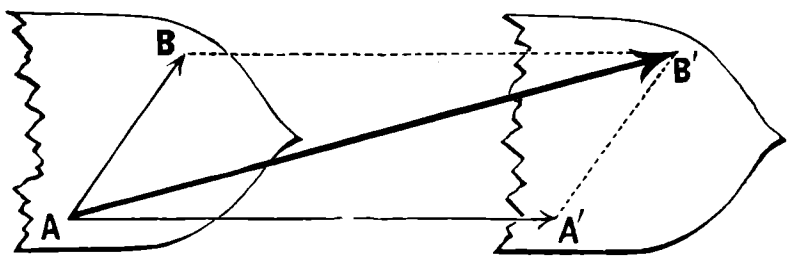


Fig. 13
Composición de movimientos

AB' que es la diagonal del paralelógramo construído sobre las velocidades *AB* y *AA'*.

Todo esto es en el caso de que los movimientos sean rectilíneos y los dos *uniformes* ó los dos *uniformemente* variados.

—Tendremos el *cuarto caso* cuando se lanza un proyectil. La trayectoría es una *parabola.*

El movimiento *uniforme* es comunicado por la explosión de la pólvora que es una fuerza *instantánea;* y el movimiento *uniformemente acelerado*, será comunicado por la fuerza *constante* de la gravedad.

***48.—Descomposición de movimientos.**—Puede presentarse el caso de querer descomponerse un movimiento en otros dos que siguen una dirección distinta.

Supongamos tener un movimiento *AR* y queremos descomponerlo en otros dos cuya dirección sea *AM* y *AN* (*fig. 14*).

Para conseguirlo no haremos más que trazar por el punto R una paralela á la dirección AM y por el mismo punto otra paralela á la AN y en AB y AC tendremos los movimientos *componentes* buscados.

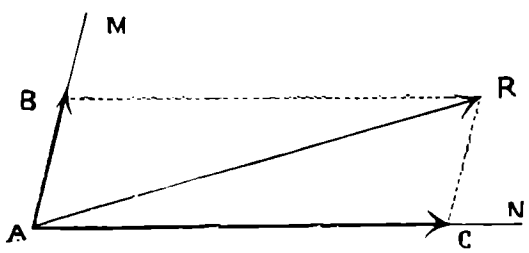


Fig. 14
Descomposición de un movimiento

No consideramos otros casos, porque ellos deberán tratarse en el curso de Mecánica Racional.

CAPÍTULO II

ESTÁTICA

49.—Fuerza.—Se llama *fuerza* toda *causa* capaz de *producir ó modificar* un movimiento.

Hay quien la define diciendo que es toda causa capaz de modificar un movimiento. En caso que el cuerpo estuviera en reposo se considera el movimiento nulo.

No se conoce *la naturaleza* de las fuerzas, pero *sus efectos* forman un inmenso campo de estudio.

—Todas las fuerzas que conocemos pueden considerarse originadas por *tres únicas causas generales.*

1ª La *Gravitación.*

2ª La *causa única* de los fenómenos del *Calor*, la *Luz* la *Electricidad*, etc.

3ª La *vida.*

—De éstas, derivan una infinidad de fuerzas que producen *efectos* distintos, según se aplique su potencia.

—Así, *lo Gravedad produce movimiento* cuando un cuerpo cae y la misma *Gravedad se opone al movimiento* cuando tratamos de levantar un cuerpo pesado.

50.—División de las fuerzas.—Las fuerzas se dividen en *Aceleratrices* y *Retardatrices*, según tratan de *aumentar* ó *disminuir* el movimiento,

La gravedad nos da también ejemplos de esas dos clases de fuerzas, según se considere que el cuerpo se mueve hacia abajo ó hacia arriba.

—Se dividen también en *Continuas* é *Instantáneas.*

—Se llaman *fuerzas contínuas* aquellas que *siguen actuando* durante un cierto tiempo.

—*Fuerzas instantáneas* son aquellas cuya *acción* (no confundir con *efecto*) no dura más que un instante.

En rigor, *no existen* fuerzas *instantáneas* porque no se puede concebir ninguna acción que no tenga *alguna duración* por pequeña que sea.

—Finalmente se dividen también las fuerzas en *Constantes* y *Variables*.

Se da el nombre de *fuerzas constantes* á aquellas *cuya acción se mantiene siempre la misma.*

Fuerza variable es aquella cuya *acción no se mantiene* siempre la misma y que imprime á los movimientos una *aceleración* variable.

—Si á un cuerpo se le aplica una fuerza instantánea ese cuerpo se moverá con *movimienio uniforme.*

—Si á un cuerpo se le aplica una fuerza constante, ese cuerpo se moverá con *movimiento uniformemente variado.*

51.—Medida de las fuerzas.—*El efecto de una fuerza* sobre un cuerpo, consiste en ejercer sobre él *una presión* ó *una tracción*, de donde se deduce *que el efecto de una fuerza* puede considerarse igual á la tracción ó á la presión que produciría *un peso* convenientemente elegido.

Fig. 15
Fuerza de tracción

Que la *presión* que produce una *fuerza* sea igual á la presión que produciría *un peso* es fácil comprenderlo, imaginándose que se trata de comprimir un fardo, en cuyo caso podría reemplazarse la fuerza desarrollada por la prensa, con la presión producida por un peso.

—Para comprender como una *fuerza de tracción* puede

reemplazarse por un *peso* imaginemos que un cuerpo *A* (*fig. 15*) se halla solicitado por una fuerza *F;* por ejemplo, la fuerza de un hombre que ejercerá sobre el cuerpo *A* un esfuerzo de *tracción* en el sentido *AF.*

Si imaginamos que sobre el cuerpo *A*, en vez de la fuerza de tracción *F* obra un peso *P* (*fig. 16*) aplicado á la extremidad de una cuerda que se ve obligada á resbalar en la garganta de las poleas *M* y *N*, llegará un momento en que aumentando el peso *P*, éste *arrastrará* el cuerpo *A* y producirá por consiguiente el *mismo* efecto que producía la *fuerza de tracción F.*

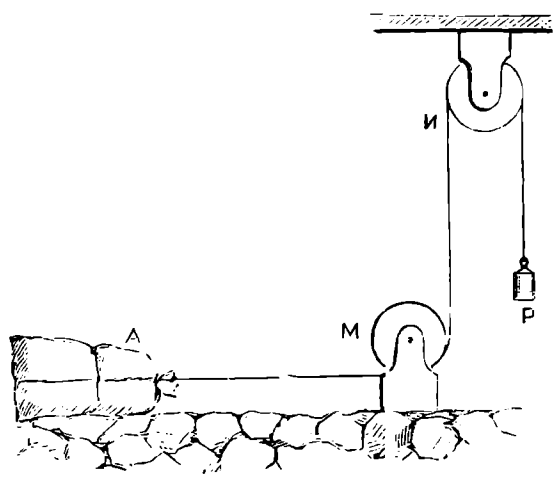


Fig. 16
Medida de la fuerza de tracción

—Luego, podemos afirmar que *los pesos ofrecen el medio más sencillo para medir las fuerzas.*

Pero, como la *unidad práctica* de las medidas *ponderales* es el *kilógramo*, cuando tengamos que indicar la *intensidad* de una fuerza, diremos que esa fuerza es de 2, 5, 100 *kilógramos.*

Si las fuerzas se pueden medir, también se podrán comparar y decir de una fuerza que es *igual*, *doble*, *triple*, etc., de otra fuerza cualquiera.

Fuerzas iguales son aquellas que producen *efectos iguales.*

Fuerzas dobles, *triples*..... son aquellas que producen *efectos dobles*, *triples*, etc.

* **52.—Dinamómetros.**—Para medir las fuerzas hay unos aparatos especiales llamados *dinamómetros*, que están basados en una de las propiedades de los cuerpos, la

elasticidad y que nos dan en *kilógramos* unidad de medida), la *intensidad* de las fuerzas.

—*Dinamómetro de Pezón ó Resorte.*— Este dinamómetro consiste en una lámina de acero (*fig. 17*) encorvada, cuyas dos ramas se pueden acercar más ó menos según sea el esfuerzo que se ejerza sobre ellas, ya sea por medio de *un peso* ó de una *fuerza de tracción.*

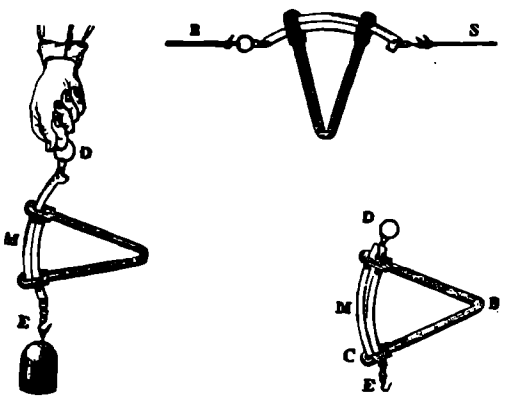


Fig. 17
Dinamómetro á resorte

El punto *E* es la extremidad de *un arco* metálico que atraviesa el brazo de acero *E B* y cuyo extremo está fijo en el brazo *D B*.

Otro arco *C D* atraviesa el brazo *D B* y está fijo en el brazo *C B*.

Fig. 18
Dinamómetro de Leroy

En las dos extremidades *D* y *E* de los arcos, se colocan ganchos destinados á aplicar pesos ó fuerzas de tracción.

El arco *M* esta dividido en partes tales, que cada división representa kilógramos ó sus múltiples, división que se ha hecho colocando en *E*, diferentes pesos contrastados.

—*Dinamómetro de Leroy.*—Este dinamómetro consiste en un resorte á hélice, de acero, encerrado en un tubo metálico y que está sostenido por una placa *O*, (*fig. 18*) soldada á la extremidad de un vástago *O A* que lleva las divisiones y que sale fuera del tubo, más ó menos, según sea mayor ó menor la fuerza ó peso aplicado al resorte en el extremo *B*.

—*Dinamómetro de Regnier.*—Se aplica este dinamómetro á la medida de *grandes fuerzas.*

Consiste en dos láminas de acero *m b n* y *ma n*, unidas en sus extremidades *m* y *n* (*fig. 19*) de manera que vengan á formar un rombo *m b n a*.

Los centros *a* y *b* de las láminas se podrán aproximar más ó menos, según sea la intensidad de las fuerzas que se apliquen en dichos centros ó en las extremidades *m* y *n*.

Esa aproximación de los arcos está acusada por una aguja *o r* que marcará su excursión en dos arcos graduados debiendo hacerse la lectura en uno ú otro de los arcos, según se aplique la fuerza en los centros *a* y *b* ó en los extremos *m* y *n* de las láminas encorvadas.

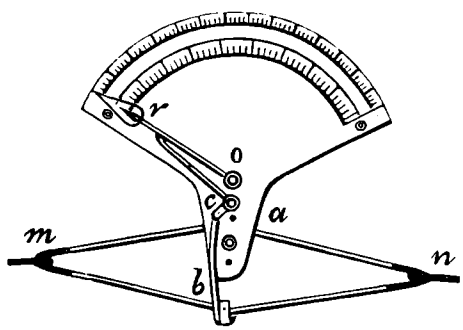


Fig. 19
Dinamómetro de Regnier

Al aproximarse las láminas, el vástago *b c* empujará el codo *c* de una palanca angular *o r* cuyo brazo mayor empujará á la aguja y la hará girar al rededor del centro *o*.

—*Dinamómetro de Poncelet*. —Finalmente citaremos este otro dinamómetro, destinado también á medir grandes fuerzas y que como el de *Regnier* consiste en dos láminas de acero de forma elíptica y que en sus centros (*fig. 20*) tienen dos vástagos graduados cuya excursión marca el esfuerzo desarrollado sobre el resorte.

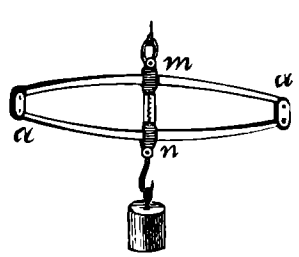


Fig. 20
Dinamómetro de Poncelet

53.—Equilibrio.—Sucede muy á menuda que *actuando varias fuerzas* sobre un cuerpo, este cuerpo queda en *reposo*, es decir no tiene ningún movimiento, en cuyo caso

se dice que el cuerpo está en *Equilibrio* y que las fuerzas aplicadas al cuerpo, están en *Estado de Equilibrio.*

La parte de la Mecánica que *estudia* las fuerzas en Estado de Equilibrio y determina las *condiciones de equilibrio*, se llama **Estática.**

54.—Representación de las fuerzas.—Se dirá que una fuerza *está determinada* cuando se conozcan sus *cuatro* elementos que son:

1º *Punto de aplicación.*
2º *Dirección.*
3º *Intensidad.*
4º *Sentido.*

—El *punto de aplicación* es el punto sobre el cual la fuerza ejerce su acción.

—La *dirección* es la línea recta que la fuerza tiende á hacer recorrer al cuerpo.

—La *intensidad* es la energía con que obra la fuerza, energía que *se mide por las unidades de fuerza* que ella contiene.

—El *sentido* es la indicación de como obra la fuerza, es decir, si obra por *tracción*, *presión*, etc., lo cual se representa por medio de una flecha.

—Entonces, se podrá *representar una fuerza* por medio de una *recta* en la cual se consideran los cuatro elementos.

El *punto de aplicación* sería un extremo de la recta.

La *dirección* sería la marcada por la recta.

La *intensidad* se podrá representar por la *longitud de la recta* tomando tantas unidades arbitrarias lineales, como *unidades de fuerza* contiene la fuerza que se quiere representar.

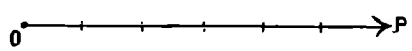


Fig. 21
Representación de una fuerza

El *sentido* se indicará por una flecha.

—Así, si la fuerza que se quiere representar tuviera *6 kilg.* de intensidad se podría representar

como lo indica la (*fig. 21*) por la recta OP en la que cada división representa una unidad de fuerza.

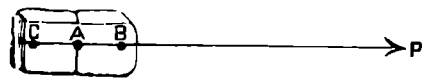


Fig. 22
Punto de aplicación

—Debemos dejar establecido que, cuando una fuerza P aplicada á un cuerpo *en un punto cualquiera* A, lo solicita en la dirección AP (*fig. 22*), se puede *suponer trasportado al punto de aplicación* á cualquier otro punto B ó C, situado en la *misma dirección* de la fuerza, *sin que el efecto de la fuerza quede modificado*, pero con la *condición expresa* de que este nuevo punto de aplicación esté *rígida* é *invariablemente ligado* al primero.

—Cuando se tiene una fuerza aplicada á un cuerpo se considera que *toda la materia* del cuerpo, se ha reconcentrado en un solo punto, que se denomina *punto material.*

55.—Resultantes y Componentes.—Cuando varias fuerzas P, Q, S, obran sobre un cuerpo y éste *permanece en reposo*, sabemos que el cuerpo está en equilibrio y por consiguiente *cada una de las fuerzas anula* la acción de las otras.

Así, P anula la acción de Q y S (*fig. 23*); Q anula la acción de P y S; y S anula la acción de P y Q.

Si se toma ahora una fuerza R igual y contraria á la fuerza P, el punto A quedará *en equilibrio* con tal que no obren las fuerzas Q y S, luego, la fuerza R sustituye á las fuerzas Q y S, es decir produce el mismo efecto (equilibrio) y por consiguiente es su *resultante.*

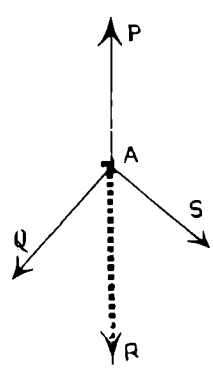


Fig. 23
Resultante
de varias fuerzas

Las fuerzas Q y S son *las componentes* de la fuerza *resultante* R.

Para fijar mejor las ideas: imaginemos un carruaje tirado por varios caballos, *cuyas fuerzas* producen un cierto efecto.

Si sustituimos á los caballos por otro motor cualquiera por ejemplo, una locomotora *que produzca el mismo efecto* que los caballos, se tendrá que la fuerza de la locomotora podrá representar la *resultante* de las fuerzas de los caballos.

56.—Composición de fuerzas.—El problema de la composición de las fuerzas consiste en determinar «*cuál es el* «*punto de aplicación, la dirección, el sentido* y *la in-*«*tensidad de la fuerza única*, que debe producir el «mismo efecto ó el *mismo trabajo* que varias otras fuer-«zas aplicadas en un mismo ó varios puntos, según las «mismas ó diferentes direcciones».

—Pueden presentarse 5 casos:

1º Que las fuerzas obren en la *misma dirección y sentido contrario.*

2º Que las fuerzas obren en *la misma dirección* y el *mismo sentido.*

3º Que las fuerzas obren en el *mismo plano*, pero que sus direcciones formen ángulo.

4º Que las fuerzas *no estén en el mismo plano.*

5º Que las fuerzas estén aplicadas en distintos puntos y sean *paralelas.*

57.—Resultante de fuerzas que obran en la misma dirección.—Si dos fuerzas P y Q (*fig. 24*) aplicadas á un mismo punto O, *son iguales,* están en la *misma dirección* y obran en *sentido contrario, la resultante será nula*, es decir el punto quedará en equilibrio, lo que se expresa diciendo

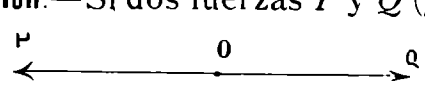


Fig. 24
Resultante de dos fuerzas

$$\mathbf{R} = P - Q = P - P = 0$$

—Lo mismo sucedería si las fuerzas iguales estuvieran aplicadas *á dos puntos* invariablemente unidos entre sí, por ejemplo, á los extremos de una recta *A B* (*fig. 25*) y las fuerzas obrarán según las prolongaciones de la recta.

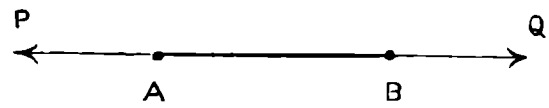


Fig. 25
Resultante de dos fuerzas

—Si se tienen dos fuerzas aplicadas á un *mismo punto O*, (*fig. 26*) de *distinta* intensidad *O P* y *O Q*, que están en la *misma dirección*, pero obran en *sentido contrario*, *la resultante R será igual á la diferencia*

Fig. 26
Resultante de dos fuerzas

O R de las componentes *P* y *Q* y su sentido será *la de la mayor.*

Es decir, que se tendrá

$$O\ R = O\ Q - O\ P$$

ó bien

$$\mathbf{R = Q - P}$$

—Si se tienen *varias fuerzas* aplicadas á un mismo punto *O* (*fig. 27*) y que obran en el mismo sentido, la *resultante* será igual á la *suma* de las fuerzas componentes, es decir

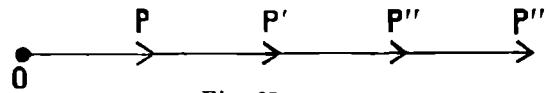


Fig. 27
Resultante de varias fuerzas

$$\mathbf{R = P + P' + P'' + P'''}$$

—Finalmente, si se tienen varias fuerzas *P*, *P'*, *Q*, *Q'*, *Q''* aplicadas al mismo punto *O* y que obran en la mis-

ma dirección, pero unas en un sentido y otras en sentido contrario, la *resultante será igual á la diferencia de las sumas* de las componentes que obran en cada sentido.

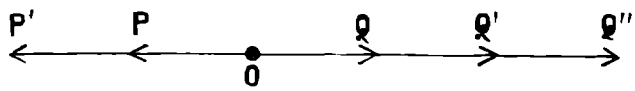


Fig. 28
Resultante de varias fuerzas

Es decir que

$$R = (Q + Q' + Q'') - (P + P')$$

y obrará en el *sentido* de la *mayor* suma.

58.—Resultante de dos fuerzas concurrentes.—Tengamos dos fuerzas P y P' *iguales* y aplicadas al mismo punto O bajo un cierto ángulo ω (*fig. 29*).

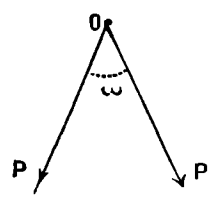


Fig. 29
Resultante de dos fuerzas concurrentes

Es evidente que bajo la acción de esas fuerzas el punto O no seguirá la dirección $O\,P$, ni tampoco la $O\,P'$. ni se recostará más hácia un lado que hácia otro, luego seguirá la *dirección de la bisectriz* del ángulo ω formado por las dos fuerzas, pero la bisectriz es la diagonal del paralelógramo construido sobre P y P'. Entonces en este caso de *fuerzas iguales, la dirección* de la resultante R será la *diagonal del paralelógramo* (*fig. 30*) construido sobre las dos fuerzas.

Esto por lo que respecta á la *dirección.*

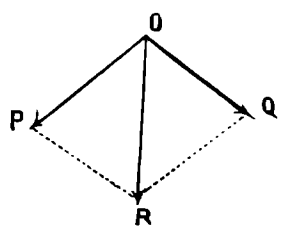


Fig. 30
Resultante de dos fuerzas concurrentes

59.—Vamos á demostrar que esa *diagonal medirá también la intensidad* de la fuerza resultante.

Efectivamente, si imaginamos que el ángulo de las dos fuerzas se va cerrando poco á poco (*fig. 31*), llegará un momento en que esas dos fuerzas *seguirán la misma dirección y sentido* en cuyo caso ya hemos visto que

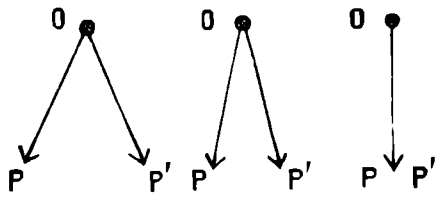


Fig. 31
Resultante de dos fuerzas concurrentes

$$\mathbf{R} = P + P' = \mathbf{2\,P}$$

es decir, que la resultante *será igual á la suma de las fuerzas.*

—Si al contrario se abre poco á poco el ángulo de las dos fuerzas *PP'* (*fig. 32*) llegará un momento en que las dos fuerzas *iguales* obren en *sentido contrario*, en cuyo caso

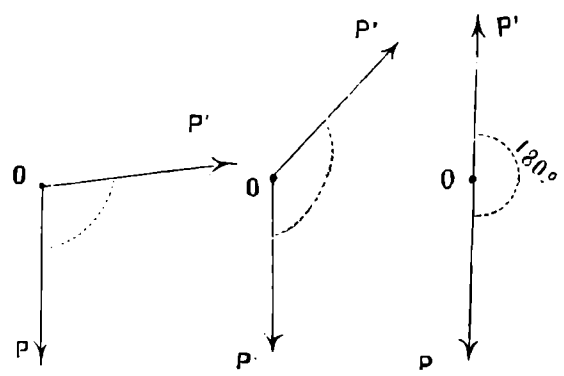


Fig. 32
Resultante de dos fuerzas concurrentes

$$R = P - P' = 0$$

De estos dos resultados se deduce que *la resultante* de dos fuerzas concurrentes *puede variar de* **0** *á 2* **P**, según sea el ángulo de las fuerzas.

Pero esa *misma variación experimenta la diagonal* del paralelógramo construido sobre las fuerzas (*fig. 33*), luego se puede afirmar que *la longitud de la diagonal mide la intensidad* de la resultante.

—Esto mismo se podría demostrar de una manera algo más complicada, cuando se tratara de fuerzas concurrentes *desiguales*, luego tendremos la regla para la composición de fuerzas concurrentes que dice:

La resultante de dos fuerzas concurrentes á un mismo punto bajo un cierto ángulo está dada en dirección é intensidad por la diagonal del paralelógramo construido sobre las fuerzas y su punto de aplicación es el mismo que el de las componentes.

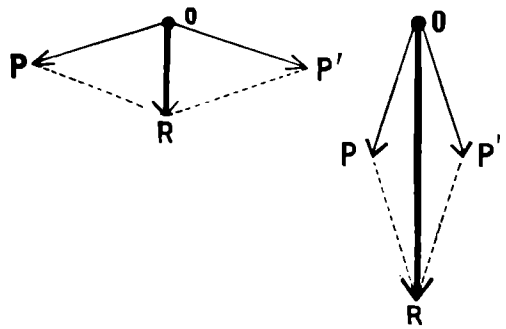


Fig. 33
Resultante de dos fuerzas concurrentes

60.—Si las fuerzas concurrentes (*fig. 34*) forman un *ángulo de 90°*, se tendría que la resultante $O\ R$ es la hipotenusa del triángulo rectángulo $O\ Q\ R$ y nos da

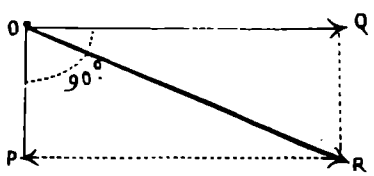


Fig. 34
Resultante de dos fuerzas concurrentes

$$O\ R = \sqrt{O\ Q^2 + Q R^2}$$

ó bien por ser $Q\ R = O\ P = P$

$$R = \sqrt{Q^2 + P^2} \qquad (1)$$

Expresión que nos dá la intensidad de la resultante, conociendo la intensidad de las componentes.

—Si se supusiese, por ejemplo, que

$$P = 3\ kg$$
$$Q = 4\ kg$$

aplicando la fórmula (**1**) se tendría

$$R = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25}$$

ó bien

$$R = 5\ kg$$

—Si las fuerzas formaran un ángulo ω *la intensidad* de la resultante estaría dada *por la fórmula*

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ\cos\omega}$$

61.—En vez de formar el *paralelógramo* de las fuerzas, para determinar la resultante, puede emplearse el método de la *suma geométrica de las fuerzas*, llamado también método del *triángulo de las fuerzas.*

Sean las fuerzas P y Q aplicadas al punto O (*fig. 35*).

A partir del punto Q trácese una recta QR paralela á la P. Tómese una longitud $QR = OP$ y uniendo O con R, se tendrá en intensidad y dirección la resultante OR de las dos fuerzas propuestas.

Fig. 35
Resultante de dos fuerzas concurrentes

62.—Composición de varias fuerzas concurrentes.—Puede presentarse el caso de tener *varias* fuerzas concurrentes P, Q, S y T (*fig. 36*) que forman distintos ángulos, pero que están colocados en el mismo plano.

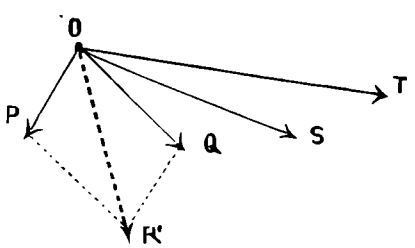


Fig. 36
Resultante de varias fuerzas concurrentes

En este caso empezaríamos por por determinar la resultante **R'** de las fuerzas P y Q, lo que sabemos hacer por el caso anterior.

Entonces el sistema de fuerzas P, Q, S, T, se habría convertido en el sistema R' S, T (*fig. 37*).

En este nuevo sistema se puede determinar la resul-

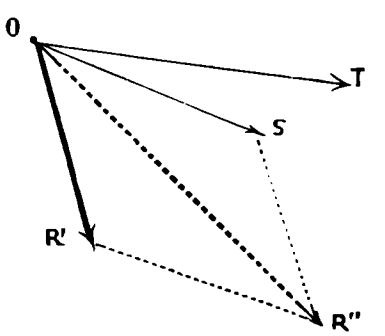


Fig. 37
Resultante de varias fuerzas concurrentes

tante R'' entre las fuerzas R' y S y el sistema de fuerzas R', S, T se habrá convertido en un sistema de

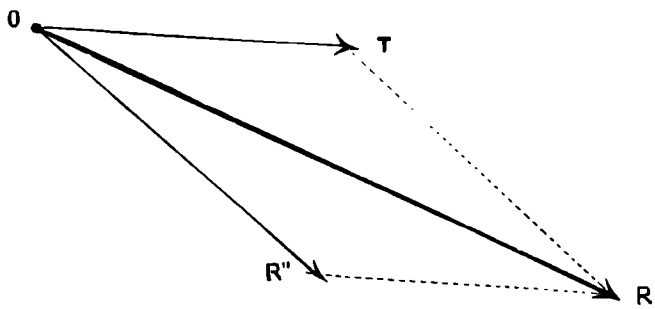


Fig. 38
Resultante de varias fuerzas concurrentes

dos fuerzas R'' y T cuya resultante **R** (*fig. 38*), será la *resultante única* del sistema propuesto P, Q, S, T.

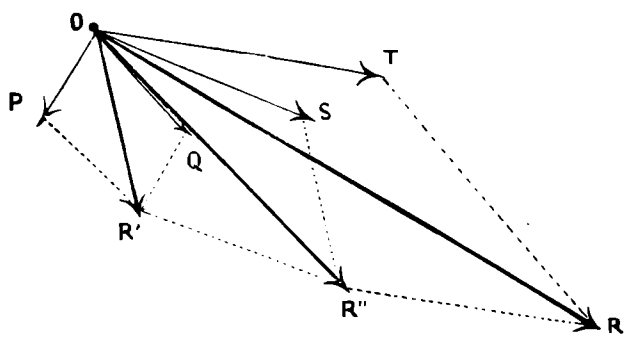


Fig. 39
Resultante de varias fuerzas concurrentes

La determinación de la resultante puede hacerse en la misma figura, como lo representa la *fig. 39*.

63.—Polígono de las fuerzas.—Puede determinarse inmediatamente la resultante de ese sistema de fuerzas, hallando la *suma geométrica* de las fuerzas P, Q, S, T, para lo cual nos bastará (*fig. 40*) trazar por el punto P una recta *Pa paralela é igual* á la fuerza Q. Enseguida por el punto a trazaríamos la recta ab igual y paralela á la

fuerza *S*, y finalmente por el punto *b* trazaríamos una recta *b R paralela é igual* á la fuerza *T*.

Uniendo el extremo *R* de esta última recta con el punto *O*, tendríamos *la resultante O R* del sistema propuesto de fuerzas.

El polígono *O P a b R* así formado toma el nombre de *Polígono de las fuerzas*.

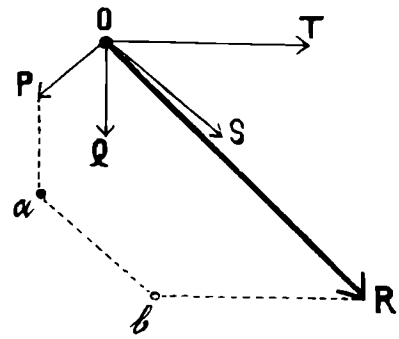


Fig. 40
Polígono de las fuerzas

Lo mismo que se ha construido el polígono sobre la fuerza *P* puede construirse sobre cualquiera otra fuerza, por ejemplo, sobre la fuerza *T* (*fig. 41*); y se tendrá siempre la misma resultante *O R*.

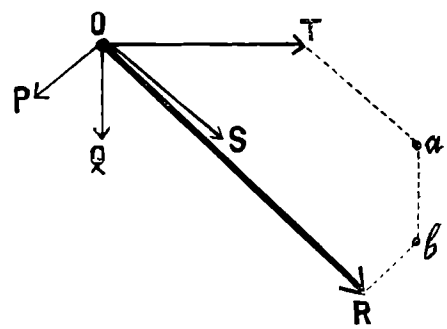


Fig. 41
Polígono de las fuerzas

64.—Podría componerse dos á dos las componentes y considerar las resultantes que se obtengan como un nuevo sistema, del cual se determina la resultante final.

Sea, por ejemplo, el sistema de fuerzas *1*, *2*, *3*, *4*, (*figura 42*) cuya resultante se busca.

Determinaríamos la resultante *R'* de las fuerzas *1* y *2*; en seguida se determinaría la resultante *R''* de las componentes *3* y *4*, y finalmente se determinaría la resultante total **R** de las resultantes parciales *R'* y *R''*.

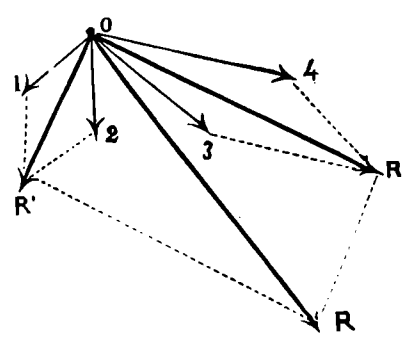


Fig. 42
Resultante de fuerzas concurrentes

65.—Finalmente, podemos considerar el caso indicado en la *figura 43*, en el cual las fuerzas S y Q son fuerzas que obran por *tracción* (**51**) y la fuerza P por *presión*.

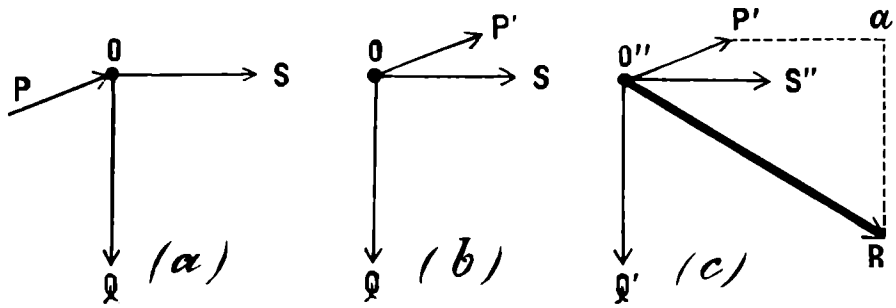


Fig. 43
Resultante de fuerzas concurrentes

Para determinar la resultante de estas fuerzas, tendremos que imaginar transportada la fuerza P O con su misma dirección y sentido (*fig. 43 b*), y en este caso (**54**) ya sabemos que el efecto sería el mismo.

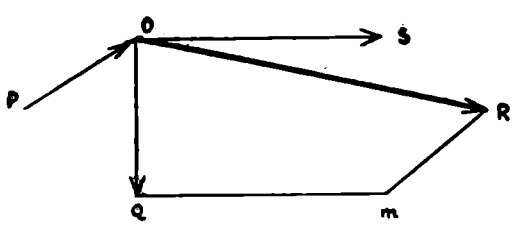


Fig. 44
Polígono de las fuerzas

Formando ahora el *polígono de las fuerzas* (*fig. 43 c*) se tendría que O'' R es la resultante buscada.

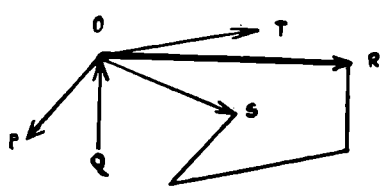


Fig. 45
Polígono de las fuerzas

—No es necesario trasladar la fuerza, sino que se puede aplicar directamente el polígono de las fuerzas teniendo la precaución de trazar las rectas paralelas, en el sentido de las fuerzas.

Es decir partiendo, por ejemplo, del punto Q trazaríamos una paralela $Q\,m$ á la S (*fig. 44*) y de la misma magnitud que ella. En seguida del punto m trazaríamos la línea $m\,R$ paralela y de la misma magnitud que la P.

Finalmente uniendo O con R tendríamos la resultante $O\ R$ de las tres fuerzas.

—La simple inspección de la figura 45 muestra como se ha determinado la resultante del nuevo sistema de 4 fuerzas P, Q, S y T.

66.—Composición de fuerzas concurrentes colocadas en planos diferentes.—Hasta ahora hemos supuesto que las fuerzas obraban en el *mismo plano*, pero el caso más general es que las fuerzas obren en *planos diferentes*, como por ejemplo, cuando varios caballos tiran á la zirga ó cuando varios hombres tratan de levantar un peso por medio de una polea.

Para determinar la resultante, se procedería de una manera análoga al método empleado en el caso de que las fuerzas estaban en el mismo plano.

Efectivamente, tomando dos fuerzas cualesquiera, ellas estarían en un mismo plano, y por consiguiente, podríamos determinar su resultante por el método del paralélogramo de los fuerzas. En seguida compondríamos esta resultante parcial con otra de las componentes, y así

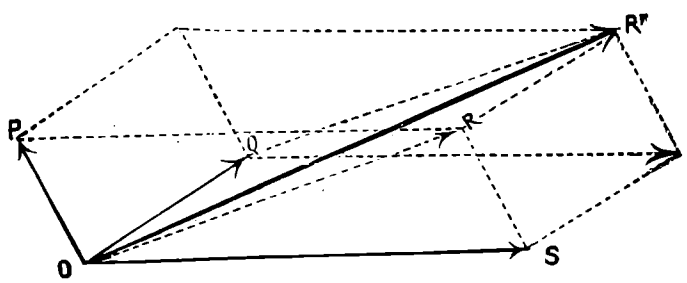


Fig. 46
Paralelepípedo de las fuerzas

sucesivamente hasta haber reducido el sistema á *una fuerza única* que sería la resultante total.

67.—Paralelepipedo de las fuerzas.—Supongamos tener *tres* fuerzas concurrentes P, Q, S que *no están* en el mismo plano y tratemos de hallar su resultante.

Compondríamos primeramente las fuerzas P y S (*figura 46*) por medio del paralelógramo de las fuerzas y obtendríamos la resultante R, luego el sistema de tres fuerzas propuesto, se habrá convertido en un sistema de dos fuerzas R y Q, que podremos componer, y por consiguiente, hallar la resultante final R'.

Si se completa la figura se verá que *la resultante de tres fuerzas concurrentes que no están en el mismo plano*, está representada en magnitud y dirección por la *diagonal del paralepípedo* construido sobre las fuerzas.

68.—Intensidad de la resultante de tres fuerzas concurrentes, perpendiculares, y que no están en un mismo plano.—Supongamos tener que determinar la intensidad de la resultante de tres fuerzas P, Q, S (*fig. 47*) que son perpendiculares entre sí.

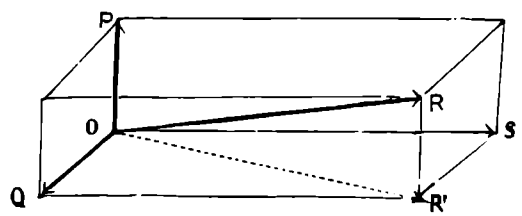


Fig 47
Paralelepipedo de las fuerzas

La resultante R' de las fuerzas Q y S, (**59**) está dada por la expresión

$$R' = \sqrt{Q^2 + S^2} \qquad (1)$$

y como la resultante R de las fuerzas P y R' está expresada por

$$R = \sqrt{P^2 + R'^2}$$

resultará, substituyendo el valor de R' dado por la ecuación (1)

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + S^2}$$

que es la expresión que nos da la intensidad de la resultante de las tres fuerzas perpendiculares.

69.—Descomposición de una fuerza en dos fuerzas concurrentes.—Es muy general tener que descomponer una fuerza en otras dos que concurren en el mismo punto de aplicación.

70.—Supongamos que se nos ha propuesto:

Dada la resultante de las fuerzas y la dirección de las componentes, determinar su intensidad.

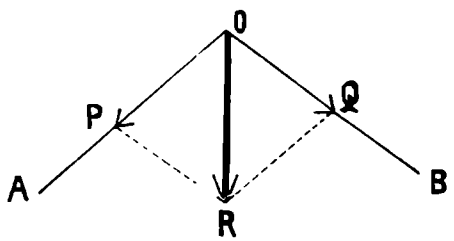


Fig. 48
Descomposición de una fuerza en otras dos cuya dirección es dada

Sea R la resultante dada (*fig. 48*) y AO y OB la *dirección* de las componentes. Por el extremo R tracemos las paralelas RP y RQ á las dos direcciones de las componentes: prolongándolas hasta encontrar las rectas AO y OB en los puntos P y Q, y entonces OP y OQ *serán las componentes* pedidas.

71.—*Da la la resultante y una de las componentes, determinar la otra componente.*

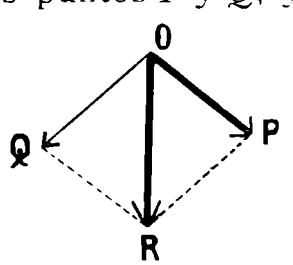


Fig. 49
Descomposición de una fuerza en otras dos una de las cuales se conoce.

Sea R la resultante y P la componente dada (*fig. 49*).

Unase R con P y trácese la OQ paralela á PR y la RQ paralela á la fuerza P. El lado OQ del paralelógramo será la *componente pedida*.

CAPÍTULO III

COMPOSICIÓN DE FUERZAS PARALELAS

72.—Composición de fuerzas paralelas.—Se dá el nombre de fuerzas paralelas á aquellas que *estando aplicadas* á dos ó más puntos diferentes, *unidos* entre sí *rígida* é *invariablemente*, tienen la *misma dirección, aunque* obren en *sentido contrario.*

Distinguiremos dos casos:

1° Que las fuerzas obren en el *mismo sentido.*

2° Que obren en *sentido contrario.*

73 — Fuerzas paralelas que obran en el mismo sentido. — Consideremos el caso de tener dos fuerzas P y Q paralelas y dirigidas en el mismo sentido y que suponemos aplicadas en los puntos A y B de una barra *rígida* (*fig. 50*).

Para *determinar la resultante* apliquemos en esos puntos A y B dos fuerzas X y X' *iguales* y *contrarias.*

Entonces tendremos un *sistema de cuatro fuerzas cuyo efecto* es el mismo que el de las dos componentes P y Q, pues las fuerzas X y X' tienen *efecto nulo*, es decir, se *equilibran.*

Compongamos dos á dos las fuerzas P y X y Q y X', las que nos darán las resultantes R' y R'' que vendrán á reemplazar al *sistema de cuatro fuerzas*, ó mejor dicho, á reemplazar á las fuerzas P y Q.

Prolonguemos la dirección de las fuerzas R' y R'', hasta que se encuentren en un punto O é imaginemos trasportados los puntos de aplicación de las fuerzas R' y R'' al mismo punto O que se supone *invariablemente unido á la recta* $A\ B$ **(53)**.

A estas dos fuerzas $O\ R'$ y $O\ R''$ que han venido á sustituir á las primitivas P y Q, podemos considerarlas como las resultantes de las

fuerzas X'' y X''', $O\,P$ y $O\,Q$; siendo X'', X''' *iguales* y *paralelas* á las X y X' y las otras dos $O\,P$ y $O\,Q$ iguales á las componentes P y Q. Luego las fuerzas $O\,P$ y $O\,Q$ *producirán el mismo efecto* que las primitivas P y Q.

Pero $O\,P$ y $O\,Q$ son dos fuerzas *aplicadas á un mismo punto* O, siguen la *misma dirección* y obran en el *mismo sentido*, luego *su resultante* será *igual á la suma* $O\,P + O\,Q$ y como podemos imaginar trasportado el punto O **(53)** al punto O', colocado sobre la recta $A\,B$, tendremos *la expresión de la resultante* buscada.

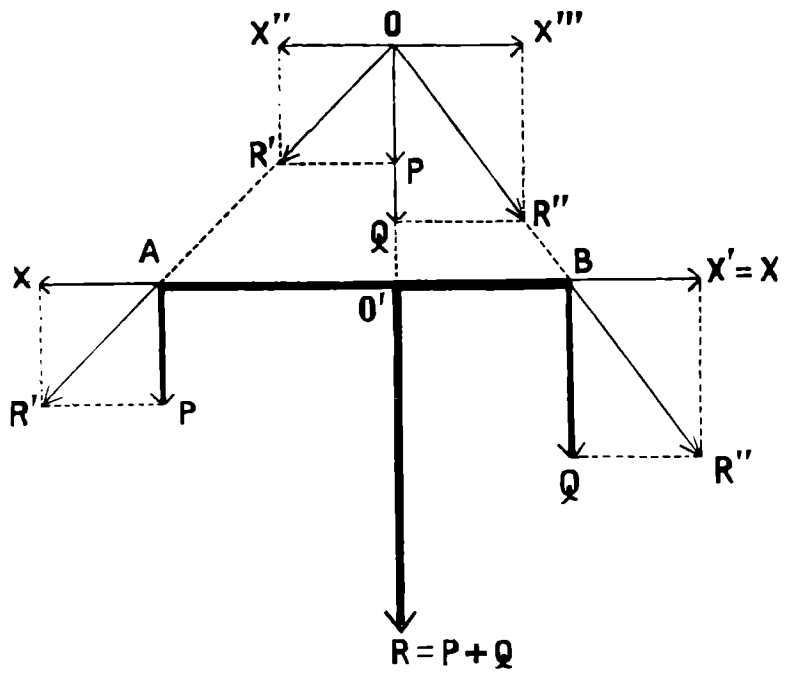


Fig. 50
Resultante de dos fuerzas paralelas

$$\mathbf{R = P + Q}$$

De donde resulta que:

La resultante de dos fuerzas paralelas, aplicadas en dos puntos *unidos invariablemente* y dirigidas en el *mismo sentido*, *es paralela* á las fuerzas dadas y su *intensidad*, *es igual á la suma de las componentes*, estando su *punto de aplicación*, *entre los dos puntos* de aplicación de las fuerzas componentes.

74.—Pasamos ahora á *determinar el punto de aplicación.*
Consideremos los triángulos *OO'A* y *Amn (fig. 51)* que son semejantes por tener sus tres ángulos respectivamente iguales y nos darán

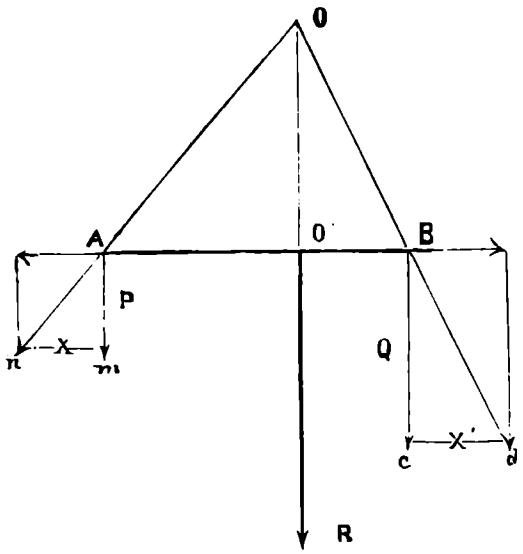


Fig. 51
Resultante de dos fuerzas paralelas

$$\frac{AO'}{OO'} = \frac{mn}{Am}$$

ó bien

$$\frac{AO'}{OO'} = \frac{X}{P}$$

de donde

$$AO' \times P = OO' \times X \quad (1)$$

Análogamente, los triángulos *OO'B* y *Bcd*. también semejantes, nos dan

$$\frac{BO'}{OO'} = \frac{cd}{Bc}$$

ó bien

$$\frac{BO'}{OO'} = \frac{X'}{Q}$$

de donde

$$BO' \times Q = OO' \times X' \quad (2)$$

pero como se ha supuesto que X y X' eran iguales, resulta que *los segundos miembros* de las ecuaciones **(1)** y **(2)** *son iguales* y por consiguiente se tendrá

$$AO' \times P = BO' \times Q$$

expresión que se puede escribir

$$\frac{\mathbf{AO'}}{\mathbf{BO'}} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{P}}$$

fórmula que nos dice que:

La recta A B ha quedado dividida por la resultante en *dos partes inversamente proporcionales* á las fuerzas dadas P y Q.

75.—Resultante de varias fuerzas paralelas y dirigidas en el mismo sentido.—En el caso de tener *varias fuerzas paralelas* y dirigidas en el *mismo sentido*, se empezará por componer dos de ellas P y Q (*fig. 52*), determinando la resultante R'.

En seguida se compone la R' con otra componente S, y se tendrá la resultante R'', hasta que finalmente se compone esta fuerza R'' con la última componente T, dándonos así la *resultante total* **R**, de todo el sistema propuesto.

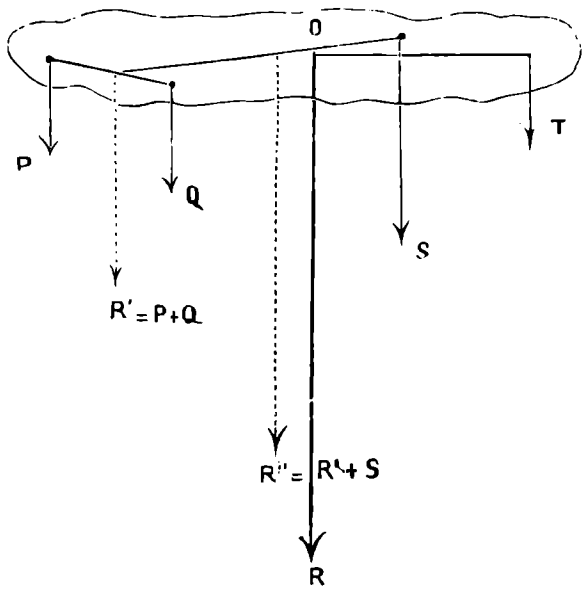


Fig. 52
Resultante de varias fuerzas paralelas

El punto *O de aplicación* de la resultante de las fuerzas paralelas, toma el nombre de *Centro de las Fuerzas Paralelas.*

Este punto goza de la propiedad de ser siempre el *punto de aplicación de la resultante, sea cual fuere la dirección* de las fuerzas paralelas componentes, *con tal que:*

1° Sean *los mismos* los *puntos de aplicación.*
2 Sean *paralelas* las componentes.
3° Sean las *mismas* las *intensidades.*

76.—Fuerzas paralelas que obran en sentido contrario.—Consideremos ahora de tener dos fuerzas paralelas P y Q, aplicadas á los extremos A y B de una recta rigida (*fig. 53*) y que obran en sentido opuesto.

Supongamos que $P > Q$ é *imaginemos que la fuerza P sea la resultante* de dos fuerzas R y Q' paralelas y dirigidas en el mismo sentido.

Supóngase también que hemos tomado $Q' = Q$ y que R *es una cierta fuerza* paralela á la P y cuyo punto de aplicación C, estará fuera de la recta AB, pero en su prolongación.

Entonces P puede ser reemplazada por R y Q y por consiguiente, al sistema de fuerza primitivo P y Q *hemos sustituido otro equivalente* formado por las fuerzas Q, Q' y R.

Pero las fuerzas Q y Q' *iguales, contrarias y aplicadas al mismo punto, se equilibran*, luego la única fuerza que producirá efecto será la R, luego *la fuerza R es la resultante* de las fuerzas dadas P y Q.

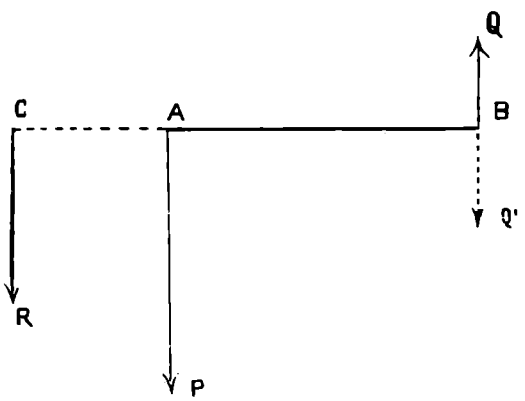


Fig. 53
Resultante de dos fuerzas paralelas

—Esto nos dice que: *La resultante de dos fuerzas paralelas dirigidas en sentido contrario y aplicadas á los extremos de una recta rígida, es paralela á las componentes y su punto de aplicación está fuera de la recta que une los puntos de aplicación de las componentes.*

77.—Determinar la intensidad y el punto de aplicación de la resultante.—Para *determinar la intensidad* debemos recordar que *supusimos que P era la resultante* de las dos fuerzas Q' y R luego, por el caso anterior sabemos que

$$P = Q' + R$$

pero como

$$Q' = Q$$

sale

$$P = Q + R$$

de donde

$$\mathbf{R = P - Q} \quad \textbf{(1)}$$

fórmula que nos dice que *la intensidad de la resultante es igual á la diferencia de las componentes.*

78.—En cuanto á su *punto* de aplicación, recordando otra vez que P era la resultante de las fuerzas R y Q' tendremos por lo demostrado anteriormente **(1)**

$$\frac{AC}{AB} = \frac{Q'}{R}$$

pero como

$$Q' = Q$$

sale

$$\frac{AC}{AB} = \frac{Q}{R} \qquad (2)$$

y componiendo, se tiene

$$\frac{AC}{AC + AB} = \frac{Q}{Q + R}$$

pero

$$AC + AB = CB$$
$$Q + R = P$$

luego, sustituyendo tenemos

$$\frac{CA}{CB} = \frac{Q}{P}$$

la cual nos dice que:

Las distancias del punto de aplicación de la resultante á los puntos de aplicación de las componentes están en razón inversa de las intensidades de las componentes.

—De lo expuesto resulta que:

La resultante de dos fuerzas paralelas y dirigidas en sentido contrario, aplicadas á las extremidades de una recta rígida, es:

1º Paralela á las componentes.

2º Dirigida en el sentido de la mayor.

3º Su intensidad es igual á la diferencia de las componentes.

4º Su punto de aplicación está fuera de la recta y del costado de la mayor.

5º Las distancias de su punto de aplicación á los puntos de aplicación á las componentes, están en razón inversa de las intensidades de las componentes.

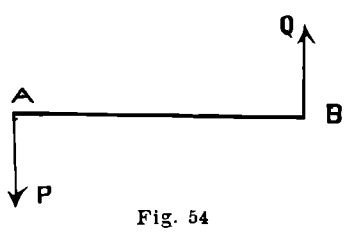


Fig. 54
Cuplo de fuerzas

79.—Par ó Cupla.—*Cuando* las fuerzas paralelas y dirigidas en sentido contrario, *son iguales (fig. 54)* se

tiene un sistema especial que toma el hombre de *Par* ó *Cupla*.

Entonces, si en el caso anterior suponemos que

$$P = Q$$

la ecuación (1) nos dará

$$R = P - P$$

es decir

$$R = O \quad .$$

lo cual nos dice que la *resultante de una cupla es nula.*

—Si consideramos la ecuación (2), podremos sacar:

$$A\,C = A\,B \times \frac{Q}{R}$$

pero, como

$$R = P - Q = P - P = 0$$

se tendrá

$$A\,C = A\,B \times \frac{Q}{0}$$

ó bien

$$AC = AB \times \infty$$

es decir

$$A\,C = \infty$$

lo cual nos dice que el punto de aplicación de la resultante, *estará en el infinito*, y por consiguiente que *no existe la resultante* de una cupla, es decir, que no puede reemplazarse una cupla con una fuerza.

—El efecto de la cupla, es *hacer girar* el sistema, *hasta que la recta* que une sus puntos de aplicación esté en la *misma dirección* que las fuerzas.

80.—Fuerzas paralelas dirigidas en ambos sentidos. — Si un cuerpo está sometido á la acción de varias fuerzas paralelas que obran en sentido contrario, para hallar la resultante separaríamos las fuerzas en dos *grupos*

según el sentido en que obran y aplicando lo demostrado anteriormente *determinaríamos la resultante de cada grupo* de fuerzas.

Luego, tendríamos *reducido el sistema á dos únicas fuerzas paralelas* y dirigidas en sentido contrario.

Estas dos únicas fuerzas pueden estar *aplicadas en un mismo* punto ó en *puntos distintos y pueden* ser *iguales ó desiguales.*

—Estando *aplicadas á un mismo* punto *si son iguales*, la resultante es *nula.*

Si son *desiguales* la resultante será *una fuerza.*

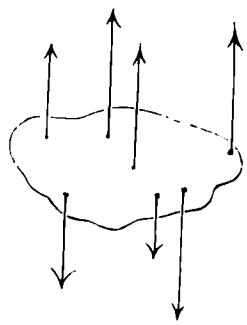


Fig. 54
Resultante de dos fuerzas paralelas.

—Si están *aplicadas á dos puntos*, si son *iguales* tendremos *una cupla* y si son *desiguales* tendremos una resultante única.

El siguiente cuadro hará comprender mejor, la discusión que acabamos de hacer.

Sistema de fuerzas. se puede reducir á.... { R' ; R'' } que pueden estar { aplicadas á 1 punto { Fuerzas iguales dan $R=0$; » desiguales dán $R=1$ *fuerza* } ; » á 2 puntos { Fuerzas iguales dán $R=1$ *cupla* ; » desiguales dán $R=1$ *fuerza* } }

—De lo expuesto resulta que:

Un sistema de fuerzas paralelas dirigidas en sentido contrario pueden reducirse:

1º A equilibrarse.

2º A una fuerza única.

4º A una cupla.

81.—Luego, un sistema de fuerzas que obran sobre un cuerpo en *cualquier sentido*, podrá reducirse á:

1' Equilibrio.

2' A una fuerza.

3' Una cupla.

4' Una fuerza y una cupla.

82.—Descomposición de una fuerza en otras dos que sean paralelas á su dirección.—Resolvamos algunos casos:

1º Dada la resultante de dos fuerzas paralelas y su punto de aplicación, determinar las componentes.

—Datos conocidos *R*, *A O* y *O B* (*fig. 56*).

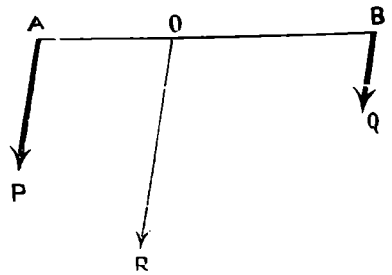


Fig. 56
Descomposición de fuerzas

Tenemos que determinar *P* y *Q*.

—Para esto, recordemos (**74**) que

$$\frac{P}{Q} = \frac{O\,B}{O\,A}$$

de donde

$$\frac{P+Q}{Q} = \frac{O\,B + O\,A}{O\,A} \qquad (\mathbf{I})$$

pero como

$$P + Q = R \qquad \text{y} \qquad O\,B + O\,A = A\,B$$

resultaría, sustituyendo en la (**I**)

$$\frac{R}{Q} = \frac{A\,B}{O\,A}$$

de donde se saca

$$\mathbf{Q} = \frac{R \times O\,A}{A\,B}$$

expresión que nos dá el valor de *Q* expresado por tres cantidades conocidas.

—Para determinar *P*, recordemos que (**73**)

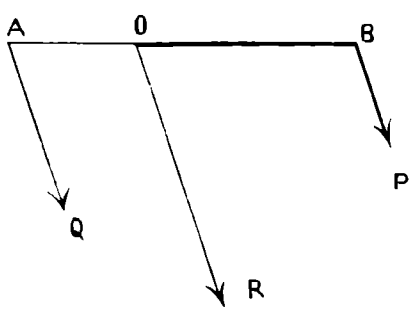


Fig. 57
Descomposición de fuerzas

$$R = P + Q$$

de donde

$$\mathbf{P} = R - Q$$

83.—*Dada la resultante de dos fuerzas paralelas, una componente y la distancia entre sus puntos de aplicación, determinar la otra componente y su punto de aplicación.*

—Se tiene *conocido R*, *Q* y *O A*.

Se *quiere* conocer *P* y *O B* (*fig. 57*).

—Para determinar *P*, debemos recordar que

$$R = P + Q$$

de donde

$$\mathbf{P} = R - Q$$

Para determinar $O\,B$, debemos tener presente que

$$\frac{P}{Q} = \frac{A\,O}{O\,B}$$

de donde

$$\mathbf{O\,B} = \frac{Q \times A\,O}{P}$$

84.—*3º Dada la resultante una componente, y la distancia de sus puntos de aplicación determinar la otra componente y su punto de aplicación en el caso de que las dos componentes obren en sentido contrario.*

—Se tiene *conocido* P, R y $O\,B$ *(fig. 58).*

Se *quiere conocer* $A\,B$ y Q.

—Para determinar el valor de la componente Q, recordemos (**77**) que

$$R = P - Q$$

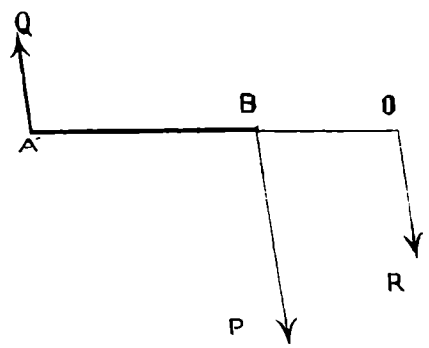


Fig. 58
Descomposición de fuerzas

de donde

$$-Q = R - P$$

ó bien

$$\mathbf{Q} = P - R$$

teniendo así determinada una de las incógnitas.

—Para determinar $A\,B$ recordemos (**78**) la relación

$$\frac{P}{Q} = \frac{O\,A}{O\,B}$$

de donde

$$\frac{P - Q}{Q} = \frac{O\,A - O\,B}{O\,B}$$

pero como

$$P - Q = R$$
$$O\,A - O\,B = A\,B$$

resultará

$$\frac{R}{Q} = \frac{A\,B}{O\,B}$$

de donde

$$\mathbf{A\,B} = \frac{R \times O\,B}{Q}$$

expresión que nos dá la cantidad desconocida $A\,B$ en función de tres cantidades conocidas.

85.—Momentos—Se llama *momento de una fuerza con respecto á un punto*, al *producto* de la *intensidad de la fuerza* por la *menor distancia* de ese punto á la dirección de la fuerza.

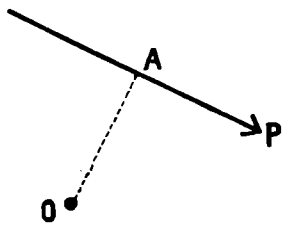


Fig. 59
Momento de una fuerza

Así, el *momento* de la fuerza P (*fig. 59*) con respecto al punto O será

$$P \times A\,O$$

siendo P la intensidad de la fuerza y $O\,A$ la perpendicular trazada desde el punto O á la dirección de la fuerza P.

86.—Cuando se tienen dos fuerzas como las P y Q (*fig. 60*) y se determinan sus *momentos* con respecto á un mismo punto O, se dice que las fuerzas P y Q tienen *momentos contrarios.*

Si P es positiva, Q será negativa.

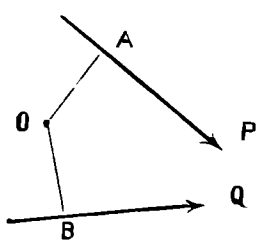


Fig. 60
Momentos contrarios

87.—*Momento de una fuerza con respecto á un eje*, es el momento *de la proyección* de esta fuerza sobre un *plano perpendicular á dicho eje, con respecto al punto de intersección* del eje y el plano normal.

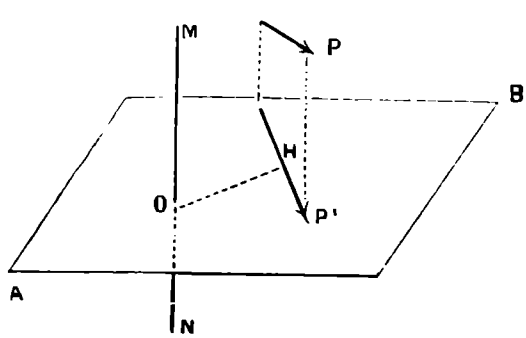


Fig. 61
Momento con respecto á un eje

Así, el momento de la fuerza P con respecto al eje $M\,N$ (*fig. 61*), sería el

momento de la proyección P' con respecto al punto O, es decir que sería

$$P' \times O\,H$$

Estos puntos O se llaman *Centros de Equilibrio* y las distancias $O\,A$, $O\,B$ y $O\,H$, de las figuras 57, 58 y 59, toman el nombre de *Brazos de Palanca.*

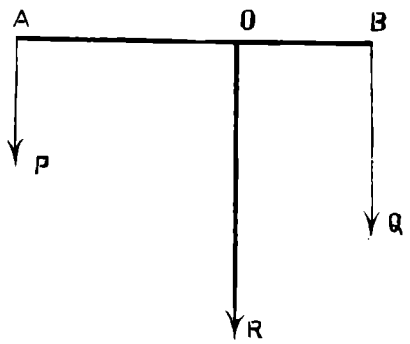


Fig. 62
Equilibrio de dos fuerzas paralelas

88.—Equilibrio de un cuerpo, sujeto á la acción de dos fuerzas paralelas. — Cuando se tenian dos fuerzas paralelas P y Q aplicadas á dos puntos A y B de un cuerpo ó de una barra rígida *(fig. 62) la resultante* era paralela á las fuerzas dadas; *la intensidad* estaba expresada (**82**) por

$$R = P + Q \qquad (1)$$

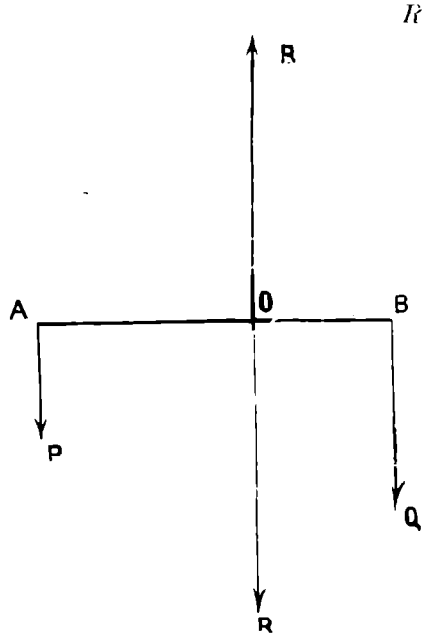


Fig. 63
Equilibrio de dos fuerzas paralelas

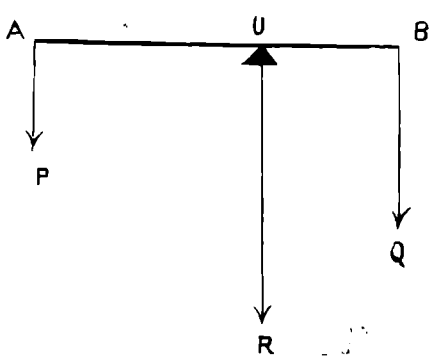


Fig. 64
Equilibrio de dos fuerzas paralelas

y su *punto de aplicación* estaba dado por la proporción

$$\frac{P}{Q} = \frac{O\,B}{O\,A} \qquad (2)$$

Dejando sentado esto, vemos que el *efecto* de las fuerzas P y Q ó de su resultante R es *hacer mover* la barra rigida *paralelamente á sí misma.* Entonces si aplicamos en el punto O *(fig. 63) una resistencia* R' *igual* y *contraria* á la resultante R, el sistema *quedará en equilibrio.*

Ahora si en vez de la resistencia R' aplicamos un *punto fijo* ó *firme* en el mismo punto O *(fig. 64) el efecto será el mismo*, es decir, el *sistema quedaría en equilibrio.*

Un ejemplo perfecto de este caso es la balanza común.

89.—Finalmente, si la resistencia no estuviera aplicada en el punto de aplicación de la resultante sino en otro punto cualquiera O' *(fig. 65)*

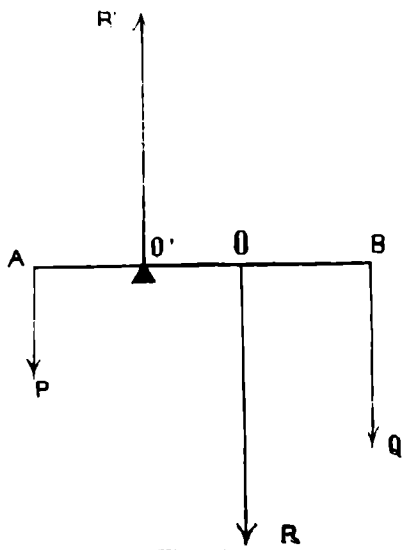


Fig. 65
Equilibrio de dos fuerzas paralelas

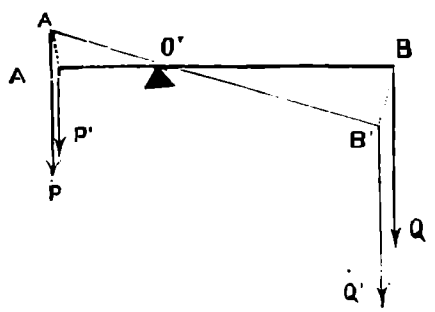


Fig. 66
Equilibrio de dos fuerzas paralelas

entonces *ya no subsistiría el equilibrio, y habríamos formado un par* ó *cupla* R' O' O R *cuyo efecto* sería *hacer girar el sistema* al rededor del punto O', *(fig. 66)* pasando al punto A á A' y el punto B á B'.

90.—De lo dicho resulta, que para que las fuerzas P y Q no produzcan efecto, es necesario que la resistencia esté aplicada en el punto O de aplicación de la resultante, es decir, que debe satisfacer á la fórmula

$$\frac{P}{Q} = \frac{O\ B}{O\ A}$$

de donde se saca

$$P \times O\ A = Q \times O\ B$$

pero $P \times O\ A$ *es el momento de la fuerza* P con respecto al punto O y $Q \times O\ B$ es el momento de la fuerza Q con respecto al mismo punto O,

luego. *para que haya equilibrio, es necesario que los momentos de las componentes sean iguales.*

91.—Caso en que las fuerzas son oblícuas á la recta que une los puntos de aplicación.—En este caso *(fig. 67)* sucederá la misma cosa.

Si se traza por O la perpendicular $a\ b$ á la dirección de las fuerzas, tendremos formados dos triángulos semejantes á $O\ A\ a$ y $B\ O\ b$, que nos dan

$$\frac{O\ B}{O\ A} = \frac{O\ b}{O\ a}$$

pero sabemos que

$$\frac{O\ B}{O\ A} = \frac{P}{Q}$$

luego resultará de estas proporciones

$$\frac{P}{Q} = \frac{O\ b}{O\ a}$$

de donde

$$P \times O\ a = Q \times O\ b$$

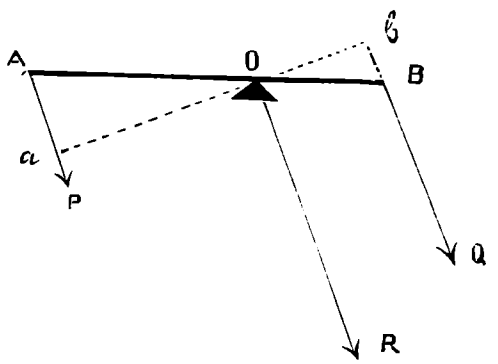


Fig. 67
Equilibrio de dos fuerzas paralelas

pero, esos dos productos son los momentos de las fuerzas P y Q con respecto al punto O, luego aquí sacamos también como condición de equilibrio, que *los momentos de las fuerzas deben ser iguales.*

92.—Equilibrio de un cuerpo sometido á dos fuerzas cualesquiera.—Sean P y Q *dos fuerzas cualesquiera (fig. 68)* aplicadas á los extremos de la recta $A\ B$.

Descompongamos las fuerzas P y Q en sus componentes X, M, y X', N, dos de las cuales X, y X, dirigidas en la dirección de la recta y obrando en sentido contrario y otras dos M y N perpendiculares á la recta $A\ B$.

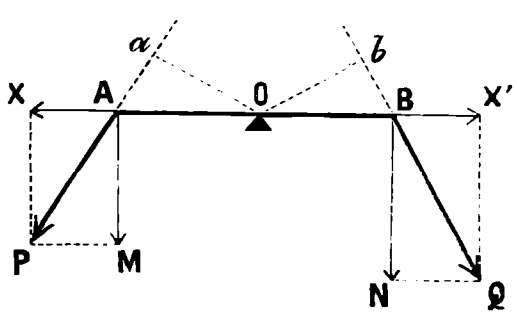


Fig. 68
Equilibrio de dos fuerzas cualesquiera

Las dos primeras X y X' no tendrán más efecto que hacer resbalar la recta en el sentido de la mayor, luego, no nos ocuparemos de ellas.

Las dos fuerzas M y N, son las que *tratarían de imprimir un movimiento de rotación*, es decir, son las fuerzas que vamos á considerar.

El sistema de fuerzas P y Q ha sido sustituido por el sistema de fuer-

zas M, N, X y X', luego, lo que digamos de las fuerzas M y N, únicas activas, se podía aplicar á las fuerzas P y Q.

Las fuerzas M y N son fuerzas paralelas aplicadas perpendicularmente á los extremos de la recta $A\,B$ y hemos visto (**90**) que su condición de equilibrio está expresada por

$$M \times A\,O = N \times O\,B \quad (1)$$

Si trazamos ahora las perpendiculares $O\,a$ y $O\,b$ á las direcciones de las fuerzas P y Q se formarán dos triángulos AOa y BOb, que son respectivamente semejantes á los triángulos $A\,M\,P$ y $B\,N\,Q$.

—Los triángulos semejantes $A\,M\,P$ y $A\,O\,a$, nos dán

$$\frac{A\,M}{A\,P} = \frac{O\,a}{O\,A}$$

que se puede escribir

$$\frac{M}{P} = \frac{O\,a}{O\,A}$$

de donde

$$M \times O\,A = P \times O\,a \quad (2)$$

—Análogamente, los triángulos $N\,B\,Q$ y $B\,O\,b$, nos dán

$$\frac{B\,N}{B\,Q} = \frac{O\,b}{O\,B}$$

que se puede escribir

$$\frac{N}{Q} = \frac{O\,b}{O\,B}$$

de donde

$$N \times O\,B = Q \times O\,b \quad (3)$$

y sustituyendo los valores de la (2) y la (3) en la (1), tendremos

$$P \times O\,a = Q \times O\,b \quad (4)$$

que será también la *condición de equilibrio* de las fuerzas M y N, que habían reemplazado á las fuerzas P y Q, luego, la fórmula (4) nos dá la *condición de equilibrio de las fuerzas* P y Q.

Pero $P \times Oa$, *es el momento de la fuerza* P con respecto al punto O y $Q \times Ob$, *es el momento de la fuerza* Q con respecto al mismo punto O, luego vemos que también en este caso, se verifica que *para que haya equilibrio es necesario que los momentos de las fuerzas con respecto al centro de equilibrio, sean iguales.*

93.—Teorema general de los Momentos.—El teorema general de los momentos, se enuncia diciendo:

El momento de la resultante es igual á la suma algebráica de los momentos de las componentes.

Efectivamente, por lo que hemos visto hasta ahora, se deduce que el efecto de una fuerza P (*fig. 69*) que tiende á hacer girar un cuerpo al rededor de un punto O, no solo depende de la intensidad de la fuerza, sino también de su brazo de palanca $A\ O$.

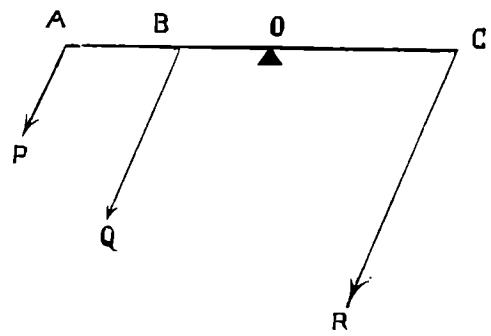


Fig. 69
Teorema general de los momentos

La eficacia de esa fuerza que está medida por la expresión

$$P \times A\,O$$

aumentará ó disminuirá con el aumento ó disminución de cualquiera de los dos factores.

94.—Si entre el punto A y el centro de rotación O consideramos aplicada otra fuerza Q, esta fuerza tenderá también á hacer girar al cuerpo al rededor del punto O con una eficacia expresada por

$$Q \times O\,B$$

y en el mismo sentido que lo hace girar la fuerza P.

Entonces los efectos concurrentes de las fuerzas P y Q, estará expresado por la suma

$$P \times O\,A + Q \times O\,B$$

y por consiguiente para que haya equilibrio, debe tenerse

$$P \times O\,A + Q \times O\,B = R \times O\,C$$

que es lo que se quería demostrar

De una manera análoga se demostraría para cualquier número de fuerzas y cualquiera que fuera su dirección.

CAPÍTULO IV

DINAMICA

95.—Definiciones.—Se llama *Dinámica,* la parte de la mecánica que *estudia las fuerzas en acción.*

Generalmente, cuando se quieren emplear las fuerzas, *no se pueden aplicar directamente* sobre los cuerpos que deben efectuar un *trabajo*, sinó que *se las hace obrar por intermedio de otros cuerpos*, sólidos ó fluídos, *destinados á modificar la intensidad ó la dirección de la fuerza.*

96.—Al *cuerpo* ó *conjunto de cuerpos* destinados *á transmitir la acción* de las fuerzas, se les dá el nombre de *Máquina.*

En toda máquina en acción *obran siempre* dos fuerzas; fuerzas *motrices* ó *potencias* y fuerzas *resistentes* ó *resistencias.*

—*Fuerzas motrices* son las *destinadas* á *producir el* resultado pedido.

—*Fuerzas resistentes* son las que *se oponen* al resultado pedido.

—Las resistencias, pueden ser *útiles y pasivas.*

Resistencias útiles ó *de primer órden* son las que hay que vencer para *obtener* el *efecto* deseado.

Resistencias pasivas ó de *segundo órden* son las producidas por los obstáculos que toda máquina debe presentar y que consiste en *frotamientos*, *choques*, *resistencias del medio*, etc.

Estas resistencias, como se comprende, *son perju-*

diciales y se trata constantemente de disminuirlas en lo posible lubrificando los órganos para disminuir los frotamientos; *reduciendo el peso* de los diferentes órganos y tratando de obtener el *perfecto ajuste* para disminuir los choques, etc., que nos originan una tan sensible pérdida de efecto útil.

97.—División de las máquinas.—Las máquinas pueden ser *Simples* ó *Compuestas.*

—*Máquinas simples* son aquellas en las cuales la potencia y la resistencia útil *están aplicadas á un mismo cuerpo* ó á dos cuerpos diferentes que obran uno sobre otro, *sin ningún órgano intermedio.*

Estas son seis: *Palanca*, *Polea*, *Torno*, *Plano inclinado*, *Cuña* y *Rosca,* que se pueden reducir á dos únicas, la *palanca* y el *plano inclinado.*

98.—*Máquinas compuestas*, son aquellas en las que obran *órganos intermediarios* entre los *órganos que reciben la potencia* y los que reciben la *resistencia útil.*

Toda *máquina compuesta* puede considerarse formada por tres partes distintas.

El receptor sobre el cual obra *directamente* la fuerza motriz.

El operador que es el órgano que obra para producir el resultado deseado.

El *Trasmisor* que es el órgano ó conjunto de órganos encargados de *trasmitir* el movimiento del receptor al operador.

En un molino á viento el *receptor* está representado por las alas del molino; el *operador* por la piedra que tritura el trigo y el *trasmisor* por el conjunto de ruedas dentadas, poleas, correas, etc., que trasmiten el movimiento.

99.—Trabajo de una fuerza.—Se llama *trabajo* de una

fuerza constante, el *producto de la intensidad de la fuerza por el espacio recorrido* por el punto de aplicación. Esto es, suponiendo que el punto de aplicación se mueva en la dirección de la fuerza.

Si al arrastrar el cuerpo *A* lo hacemos por medio de la fuerza *F*, (*fig. 70*) y que suponemos el cuerpo ha recorrido un espacio *e*, el trabajo efectuado sería

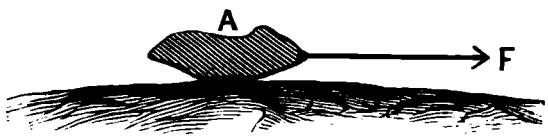


Fig. 70
Trabajo de una fuerza

$$T = e \times F$$

Si la fuerza *F no obra* (*fig. 71*) *en la dirección* del movimiento, el trabajo sería igual al *producto del espacio* recorrido *por la proyección* de la fuerza sobre la dirección del movimiento,

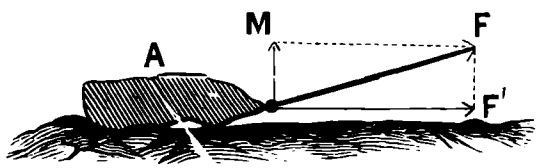


Fig. 71
Trabajo de una fuerza

es decir, que en este caso sería

$$T = e \times F'$$

pero como en el triángulo *F O F'*

$$F' = F \cos F\,O\,F'$$

resultará la otra expresión del trabajo

$$T = e\,F \cos F\,O\,F'$$

Esto es evidente, pues *solo obraría la componente F'* mientras que la componente *M* sería destruida por la acción de la gravedad.

100.—*Es nulo el trabajo* de una fuerza cuando:

1º *La velocidad del punto de aplicación* es nula, co-

mo cuando un caballo que tira de un carro, no puede moverlo.

2º *Cuando la fuerza no obra*, como en el caso de que ese mismo carro baja una pendiente y el caballo no necesita tirar para producir el movimiento y por consiguiente, *la fuerza no obra*, la fuerza es igual á 0.

3º Cuando *obra perpendicularmente* á la dirección del movimiento, como si el caballo tirara normalmente al plano de las ruedas, sin que estas resbalaran, en cuyo caso $e = o$.

101.—Si la fuerza *no es constante*, se divide el tiempo en instantes infinitamente pequeños, durante los cuales *se puede considerar constante* la fuerza y por consiguiente su intensidad no variará.

Se determina como antes *el trabajo efectuado* en estos instantes y tendremos así, *el trabajo elemental* de la fuerza en ese instante.

La suma de los trabajos elementales durante un cierto tiempo *será el trabajo total.*

102.—Unidad de trabajo.—Se toma como *unidad de trabajo* al *trabajo necesario* para elevar *un kilógramo á un metro* de altura, unidad que toma el nombre de *Kilográmetro* ó *Unidad Dinámica.*

El *kilográmetro* es independiente de la trayectoría recorrida por el punto de aplicación y el tiempo empleado.

Para medir el *trabajo útil* de las máquinas, se suele adoptar el *caballo-vapor* que equivale al trabajo de 75 *kilográmetros por segundo.*

En esta unidad interviene el tiempo y entonces toma el nombre de *unidad de potencia.*

Como se sabe que un caballo vigoroso puede producir un trabajo de *45 kilográmetros*, pero solo trabajando $\frac{1}{3}$ de día, resulta que el trabajo medio del caballo es de $\frac{45}{3} = 15\ kgm.$, es decir, $\frac{1}{5}$ de *caballo-vapor*, luego un

caballo vapor equivale al trabajo de 5 caballos vigorosos.

—Para medir *grandes trabajos* suele usarse como unidad de trabajo, el *tonelámetro* que equivale á *1000 kilográmetros.*

Todas estas son *unidades prácticas* de medida, pues tienen como unidades fundamentales el *metro*, el *segundo* y el *kilogramo-peso.*

103.—Trabajo útil.—Se llama *trabajo útil ó rendimiento* de una máquina, la *relación* que existe *entre el trabajo del operador* y *el del motor.*

La máquina *ideal* sería aquella en que el trabajo *motor* y *operador* fueran iguales, lo cual se obtendría sólo cuando se hubieran *destruido todas las resistencias pasivas.*

En este caso podría resolverse el problema del *movimiento perpétuo.*

104.—Principio de la inercia.—El principio de la *Inercia*, enunciado por Kepler puede dividirse en dos partes:

1º *Un cuerpo no puede por sí mismo ponerse en movimiento si está en reposo, ni variar el movimiento de que estuviera animado.*

Esto ya lo sabíamos (**35**), pero conviene recordarlo para comprender la segunda Ley que dice:

2º *Si un cuerpo libre no está solicitado por ninguna fuerza este cuerpo está en reposo ó bien está animado de un movimiento de traslación rectilíneo y uniforme.*

La observación nos dice lo contrario, pues vemos que *todos los cuerpos* del espacio *describen líneas curvas*, pero esto es debido á que esos cuerpos *están solicitados* por *varias fuerzas* como lo observaremos al tratar de la gravitación Universal.

Si nosotros imprimimos un movimiento á una bola y hacemos que resbale sobre un plano bien unido, vere-

mos que *la bola toma un movimiento rectilíneo* y si el movimiento no es uniforme es debido á las resistencias pasivas como el frotamiento y la resistencia del aire.

105.—Principios del movimiento relativo.—Este principio fué enunciado por *Galileo*, diciendo:

En un sistema de puntos materiales animados de un movimiento de traslación, toda fuerza que obra sobre uno de los puntos, le imprime el mismo desplazamiento con respecto á los otros, como si el sistema estuviese en reposo.

Para darnos cuenta de este principio, podemos imaginarnos que sobre un buque que *está en marcha* lanzamos una bola la que recorrerá un cierto espacio. Si el buque *está en reposo* y lanzamos la mismo bola aplicando la misma fuerza, el espacio que recorrerá *será igual.*

106.—Principio de la igualdad de la Acción y Reacción.—Este principio es debido á *Newton.*

Cuando un cuerpo sometido á la acción de una fuerza obra sobre un segundo, este segundo cuerpo reacciona sobre el primero en un sentido directamente opuesto y con la misma intensidad.

Así, si un hombre ha tenido que hacer un esfuerzo de 20 kilógramos para *levantar* un peso, á su vez el peso ejerce sobre el hombre un esfuerzo de 20 kilógramos para hacerlo bajar.

Un caballo metido en una embarcación y tirando de una soga ligada á dicha embarcación no produce efecto alguno, porque la *acción* que ejercería tirando de la soga queda destruida por la *reacción* ejercida con las patas.

107.—Teoremas fundamentales de la Dinámica.—

—1º *Cuando una fuerza constante en dirección é intensidad, obra sobre un punto material que está en reposo ó que está animado de una velocidad inicial dirigida paralelamente á la fuerza, esta fuerza le imprime un movimiento rectilíneo y uniformemente variado.*

El reciproco es cierto.

—2º *Si una fuerza variable que produce un movimiento variado queda constante á partir de un instante, el movimiento se transformará en movimiento uniformemente variado á partir del mismo instante y la aceleración del movimiento final es igual á la aceleración en el instante* t *del movimiento inicial.*

3º *Cuando dos ó más fuerzas constantes obran simultáneamente y en la misma dirección sobre un mismo punto material, que parte del reposo, la aceleración del movimiento que las fuerzas le imprimen, es la suma algebráica de las aceleraciones que cada una de ellas produciría separadamente.*

Es decir, que siendo γ, γ', γ''.. las aceleraciones que producirian las fuerzas F, F' F''..., resultará que *la aceleración* del movimiento uniformemente variado y rectilíneo que resulta de la *acción simultánea* de esas fuerzas, será

$$A = \gamma \pm \gamma' \pm \gamma'' \pm ....$$

usando el signo + ó el — según sea la dirección de las fuerzas.

Si fueran n fuerzas *iguales* y en la *misma dirección*, tendriamos

$$A = n\,\gamma$$

4º *Cuando dos ó más fuerzas constantes obran sucesivamente sobre un mismo cuerpo, las fuerzas le imprimen aceleraciones proporcionales á sus intensidades respectivas.*

Asi, siendo F, F', F''... las *fuerzas* constantes y γ, γ', γ''... las respectivas *aceleraciones* tendremos que esta ley estaria expresada por

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{F}{F'}; \frac{\gamma}{\gamma''} = \frac{F}{F''}$$

de donde resulta

$$\frac{F}{\gamma} = \frac{F'}{\gamma'} = \frac{F''}{\gamma''} = ...$$

de donde se deduce que el mismo teorema se puede anunciar diciendo que:

Dos fuerzas son proporcionales á las aceleraciones que ellas imprimen á un mismo punto material.

108.—Masa. – Se llama *masa* de un cuerpo á la *cantidad de materia* que el cuerpo contiene. Luego, la masa *es proporcional* al número de moléculas del cuerpo.

Teniendo la idea de *masa* y los tres principios que damos á continuación, tendremos un nuevo medio para medir las fuerzas.

—1º *Dos fuerzas constantes son proporcionales á las masas á las cuales imprimen aceleraciones iguales.*

Sean F y F' las fuerzas y m y m' las masas. Entonces este principio se expresará por

$$\frac{F}{F'} = \frac{m}{m'} \qquad (1)$$

2º *Dos fuerzas constantes son proporcionales á las aceleraciones que imprimen á dos masas iguales.*

Es decir, llamando F y F' las fuerzas y γ y γ' las aceleraciones que las fuerzas imprimen, esta segunda ley se expresará por

$$\frac{F}{F'} = \frac{\gamma}{\gamma'} \qquad (2)$$

3º *Dos fuerzas constantes son proporcionales á los productos de las masas por las aceleraciones que las fuerzas imprimen.*

Llamando F, F' las fuerzas m, m' las masas y γ, γ' las aceleraciones esta tercera ley se traducirá algebráicamente por

$$\frac{F}{F'} = \frac{m}{m}\frac{\gamma}{\gamma'}$$

* **109.**—Si suponemos que $F' = 1$; $m' = 1$; $\omega' = 1$, resultará

$$F = m\,\gamma \qquad (3)$$

fórmula que nos dá una nueva *medida* de la fuerza, que es *el producto de la masa por la aceleración* que aquella fuerza le habrá comunicado.

* **110.**—De la fórmula (3) sacamos

$$m = \frac{F}{\gamma}$$

que nos dá una nueva definición de la *masa* y nos dice que:

Masa de un cuerpo es el cociente de la intensidad de una fuerza por la aceleración que esa fuerza imprime al cuerpo.

III.—Energía.—Se llama energía *la capacidad de efectuar un trabajo.*

Así, una piedra suspendida en el aire *posee* una *energía,* puesto que si cortamos el hilo de suspensión la piedra caerá y producirá un trabajo.

Según sea mayor ó menor la altura de que cae la piedra, así también será mayor ó menor el *trabajo,* luego *el trabajo efectuado mide la energía.*

Esa energía que poseía la piedra, hasta que hubo una causa que la hizo actuar, toma el nombre de *Energía Potencial.*

Es una energía almacenada, reservada en el cuerpo.

—El resorte de un reloj al que hemos dado cuerda, posee energía *potencial* y el trabajo que es capaz de producir *es igual* al trabajo que se emplea en tender el resorte.

El vapor encerrado en una caldera posee energía potencial, porque con él se puede producir un trabajo, pues bastará lanzarlo á los cilindros.

112.—La *energía* que posee un cuerpo á causa del *movimiento* de que está animado toma el nombre de *Energía Actual* y es igual á su *potencia viva.*

Supongamos tener un peso de 2 *kilógramos* colocado á *30 metros* del suelo.

En el estado de *reposo* ese cuerpo posee una energía *potencial,* que será medida por el trabajo que es capaz de producir, es decir,

$$2\ kg \times 30\ m = 60\ \textit{kilográmetros}$$

—Dejemos caer ese peso y si á la mitad de su carrera interrumpimos la marcha, en ese momento el cuerpo tendrá una *energía actual* de 30 kilográmetros, pero también poseerá una *energía potencial* de otros 30 kilográmetros, pues si lo volvemos á dejar caer podrá producirnos otro trabajo de 30 kilográmetros.

Luego vemos que *la suma de la energía actual* y *la energía potencial es igual* á la energía potencial primitiva.

—Si en vez de interrumpir la marcha dejamos que el cuerpo caiga directamente hasta el suelo, la energía *ac-*

tual al chocar será de 60 kilográmetros, es decir, igual á la energía potencial primitiva.

Por consiguiente, vemos que *la energía potencial puede convertirse en energía actual.*

Al empezar el movimiento, la energía *potencial* era de 60 kilográmetros y la energía *actual* era *nula.*

Al terminar el movimiento se tiene que la energía *potencial es cero* y la energía actual es de 60 kilográmetros, es decir, igual á la energía potencial primitiva.

113.—Vemos, pues, en estos casos, que *la suma* de las dos energías se han mantenido constante y éste constituye el *principio de la Conservación de la energía.*

La suma de las dos energías toma el nombre de *Energía Total.*

—Reasumiendo, vemos que la *energía potencial* puede convertirse en *energía actual* y ésta manifestar su trabajo en forma de sonido, calor, luz, electricidad, etc., pero sin que la energía haya perdido ni ganado nada.

Como lo mismo sucede con cualquier energía que se considere, resulta que podemos afirmar *que la energía es indestructible;* que en la naturaleza *no se crea ni se pierde energía*, solo se transforma, y como la *Química Moderna* afirma que en la naturaleza no se gana ni se pierde materia, llegará el día en que se afirme también que toda *la materia es una* y que toda *la energía es una,* y encontradas esas unidades ya nos serán revelados todos los misterios del universo y utilizándolos podremos *imitar en lo material* las obras del creador.

LIBRO TERCERO

GRAVEDAD

CAPÍTULO PRIMERO

ATRACCIÓN UNIVERSAL

114.—Bajo el nombre genérico de *Atracción Universal*, se entiende la propiedad que tienen *todos* los cuerpos del espacio de *atraerse* mútuamente cualesquiera sean sus respectivas *masas*, cualquiera sea la *distancia* y á través de cualquiera sustancia.

La *fuerza* de la *gravitación universal* es una de las *causas* de los fenómenos que se observan en la naturaleza, pero *su orígen* no se conoce.

La sentimos, la palpamos, podemos decir, por los *efectos* que produce, pero su naturaleza se ignora.

Se considera como una propiedad intrínseca de la materia.

—Cuando se trata de estudiar la mútua atracción de los *astros* se le dá el nombre particular de *Gravitación;* cuando se estudia la atracción de la *Tierra* y los cuerpos que se hallan sobre ella, toma el nombre de *Gravedad* y cuando se trata de la atracción entre moléculas de un mismo cuerpo, toma el nombre de *Atracción molecular.*

115.—Leyes de Kepler.—La atracción fué definida y explicada por *Newton* basándose en las leyes que rigen el movimiento de los astros, leyes que fueron establecidas por *Kepler*, el cual las dedujo de la observación.

Las leyes de *Kepler* son las siguientes:

1ª «*Los planetas en su movimiento de traslación describen elipses, ocupando el Sol uno de los focos.*»

2ª «*Las áreas descritas por el radio vector trazado desde el centro del Sol al centro de los planetas son proporcionales á los tiempos.*»

3ª «*Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones son proporcionales á los cubos de los ejes mayores de las órbitas.*»

A pesar de que en un momento de entusiasmo *Kepler* haya exclamado: «*La divinidad* ha esperado veinte siglos antes de encontrar un contemplador como yo», él no supo explicar las *causas* de estas leyes.

116.—Ley de Newton.—Cúpole á *Newton* la gloria de explicar el *por qué* de esas verdades descubiertas por *Kepler*, explicación que está encerrada en la *célebre ley* que lleva su nombre y que dice:

«*Todos los cuerpos se atraen en razón compuesta del producto de sus masas y en razón inversa del cuadrado de la distancia.*»

Esta ley se puede traducir algebráicamente por la fórmula:

$$A = \frac{\varphi . m . m'}{d^2}$$

donde φ representa la atracción de la *unidad de masa sobre la unidad de masa á la unidad de distancia*, m y m' las masas de los cuerpos que se consideran y d la distancia que los separa.

117.—Gravedad.—La gravedad es la fuerza en virtud de

la cual, los cuerpos abandonados á sí mismos *caen* hacia la superficie de la tierra.

No es más que una manifestación particular de la *Atracción Universal.*

Todos los cuerpos están sujetos á esta ley, sea cual fuere su masa, y sea cual fuere el punto de la tierra en que se hallen.

Si bien hay cuerpos como los gases, los vapores, las nubes, los aeróstatos, que parecen escapar á esta ley, más adelante se verá que esta excepción no existe y que el fenómeno se explica por la presencia de la *Atmósfera.*

118.—Dirección de la Gravedad.—Sujetando *la ley de Newton* al análisis matemático, se demuestra que:

Una esfera homogénea ó compuesta de capas homogéneas atrae como si toda su masa estuviera reunida en su centro.

Por eso, al hablar de la gravedad, se dice que un cuerpo *al caer* se dirige hacia el *centro* de la tierra describiendo una línea recta que toma el nombre de *Vertical.*

Si imagináramos que la *tierra* fuera esférica, la *vertical* sería la prolongación del radio terrestre correspondiente á ese lugar, pero como la tierra es algo aplanada, resulta que *la vertical* del lugar en que se experimenta *y el radio terrestre* correspondiente á ese mismo punto, *no coinciden.*

119.—Plomada.—La dirección de la acción de la gravedad, ó la vertical, se puede determinar por medio de un aparato sencillísimo llamado *plomada.*

Consiste éste en un hilo flexible, en uno de cuyos extremos está ligado un cuerpo pesado, por ejemplo una bola de plomo *A (fig. 72).*

Si se suspende este hilo en un punto *O*, se verá que la bola *A* empieza á oscilar, hasta que llega un momento que queda en *reposo.*

La *dirección del hilo* marcará la dirección de la vertical, dirección que como se observa, *es perpendicular* á la dirección de las *aguas en reposo.*

Fig. 72
Plomada

La superficie de las aguas en reposo determinan un plano, que toma el nombre de *plano horizontal.*

Toda línea perpendicular á la vertical, es una *línea horizontal.*

120.—Si con dos plomadas se determina la *dirección de la vertical* en dos puntos cercanos de la superficie de la tierra *A* y *A'* (*fig. 73*), estas dos verticales pueden tomarse como *sensiblemente* paralelas, pues la abertura del ángulo formado en el centro de la tierra *O*, por la dirección de las verticales, es *sensiblemente nulo;* pero si se consideran las verticales correspondientes al punto *A* y al punto *B*, algo distantes entre sí, ya se hará *sensible* el ángulo que forman las dos verticales. Si se supone que la longitud de la circunferencia del círculo meridiano es de 40.000.000 de metros y que la vertical se dirige al centro de la tierra, se tiene, que *las verticales de dos* puntos que distan entre sí 30,86 m formarán un ángulo de *un segundo.*

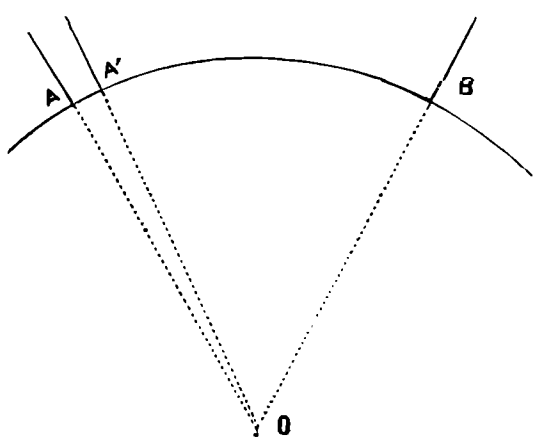


Fig. 73
Vertical

121.—Densidad.—Se llama densidad de un cuerpo, á la relación geométrica ó cociente que existe entre la *masa* y su *volúmen.*

Así, llamando D la densidad del cuerpo, M la masa, y V su volúmen, se tendrá por definición

$$D = \frac{M}{V}$$

y si suponemos que V *es la unidad* de volúmen, es decir, que $V = 1$, resultará

$$D = \frac{M}{1} = M$$

lo que nos da otra definición de la densidad, *la densidad es igual á la masa de la unidad de volúmen de un cuerpo.*

122.—Peso.—Se llama *peso* de un cuerpo *á la resultante de todas las fuerzas de la gravedad aplicadas á las moléculas de un cuerpo.*

Este peso se llama *peso absoluto* de un cuerpo y suele definirse también diciendo:

Peso de un cuerpo es la presión que él ejerce sobre otro cuerpo que impide su caída.

El *peso* se *mide*, se compara con una *unidad* que se toma como término de comparación, y el peso así expresado en números concretos de una unidad dada, es lo que se llama *peso relativo* ó solamente *peso* del cuerpo.

123.—Centro de gravedad.—*El punto de aplicación* de la resultante de todas las fuerzas de la gravedad aplicadas á las moléculas de un cuerpo, ó bien, el *punto de aplicación* de esa resultante que hemos llamado *peso*, es el *Centro de gravedad.*

Como para un mismo cuerpo podemos considerar que las fuerzas de la gravedad aplicadas á las moléculas son paralelas, resultará que el centro de gravedad de un

cuerpo es el *Centro de las fuerzas paralelas* (**75**) debidas á la gravedad, luego por lo dicho respecto al centro de las fuerzas paralelas, se deduce que, *si* nosotros *hacemos girar el cuerpo al rededor de su centro de gravedad supuesto fijo, el cuerpo quedará en equilibrio en cualquiera posición.*

124.—Centro de gravedad de los cuerpos geométricos.—Los cuerpos cuyo centro de gravedad indicaremos, los suponemos *homogéneos*, y al hablar de *líneas* y *superficies* nos referimos á *barras* y *placas* que afectan la forma de esas líneas y superficies.

Toda figura geométrica que tiene un centro de figura ó un eje de figura tendrá el *centro de gravedad* en dicho centro ó eje de figura.

—Así: el centro de gravedad:

De una *recta*, es su *punto medio.*

De una *circunferencia*, es el *centro* de la circunferencia.

De un *círculo*, es el *centro* del círculo.

De un *paralelógramo,* es el punto en que se *cruzan las diagonales.*

De una *esfera,* es el *centro* de la esfera.

De un *cubo*, es el punto en que se *cruzan las diagonales.*

De un *cilindro recto circular*, es el *punto medio de la recta que une los centros* de los círculos de las bases.

* **125.—Centro de gravedad de un triángulo cualquiera.**—Tratemos de determinar el centro de gravedad de un *triángulo cualquiera.*

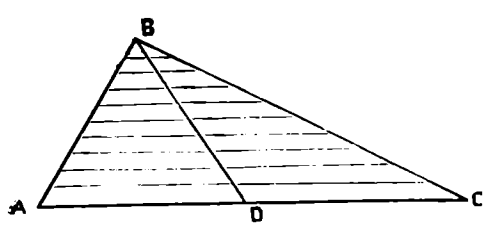


Fig. 74
Centro de gravedad del triángulo

Sea el triángulo *A B C (fig. 74)* é imaginémoslo dividido en un número infinito de fajas, que podemos considerarlas como *paralelógramos*, luego, el centro de gravedad de *cada faja, estará*

sobre la línea B D, que las divide en *partes* iguales y por consiguiente *el centro de gravedad de la suma* de todas esas fajas, es decir, del *triángulo,* estará en *un punto de la mediana B D.*

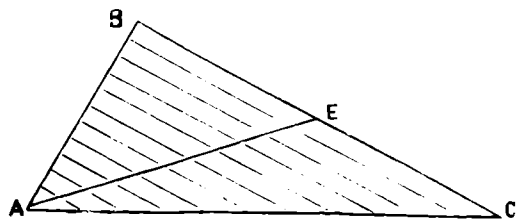


Fig. 75
Centro de gravedad del triángulo

Si imaginamos ahora descompuesto el triángulo en fajas paralelas al lado *B C (fig. 75)* tendremos que *el centro de gravedad del triángulo* estará en *un punto de la mediana A E,* luego *el centro de gravedad del triángulo A B C,* debiendo estar en *un punto* de la mediana *B D* y también en *un punto* de la mediana *A E, estará en el punto G (fig. 76),* que es su *punto de intersección.*

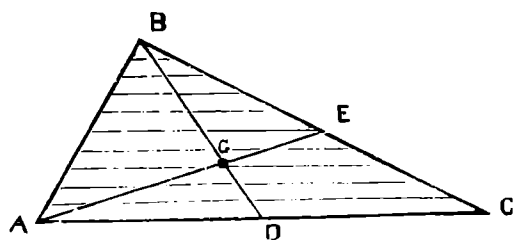


Fig. 76
Centro de gravedad del triángulo

Pero se sabe por Geometría que «las medianas de un triángulo se cortan á la *tercera parte* de su longitud, á partir de uno de los lados», luego: *El centro de gravedad de un triángulo cualquiera, estará á un tercio á partir de la base, de la línea que une el punto medio de la base, con el vértice opuesto.*

126.– Centro de gravedad de un cuadrilátero cualquiera. – Si se tratara del cuadrilátero *A B C D* lo dividiríamos en dos triángulos *A B C* y

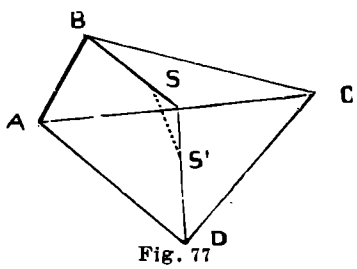


Fig. 77

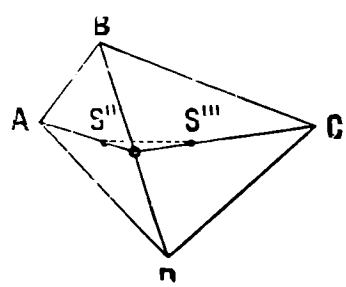


Fig. 78

Centro de gravedad de un cuadrilátero

A C D (fig. 77), por medio de la diagonal *AC* y se determinaría como lo hemos hecho antes, el centro de gravedad *S* y *S'* de cada uno de esos

triángulos, por consiguiente el *centro de gravedad* del cuadrilátero *estará sobre la línea S S'* que los une.

En seguida dividiriamos el mismo caudrilátero en otros dos triángulos *A B D* y *B C D* (*fig. 78*) por medio de la diagonal *B D* y también determinariamos los centros de gravedad *S''* y *S'''*, luego, *el centro de gravedad* del cuadrilátero *estará sobre la línea S'' S'''*.

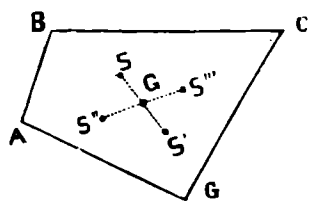


Fig. 79
Centro de gravedad de un cuadrilátero

De esto se deduce, que el centro de gravedad del cuadrilátero, debiendo estar sobre la linea *S S'* y también sobre la linea *S'' S'''*, *deberá encontrarse en el punto G* (*fig. 79*) que es su punto de intersección.

Por este mismo método de la descomposición en triángulos, podriamos determinar el *Centro de gravedad de un Polígono cualquiera.*

127.—Centro de gravedad de un trapecio.—Tengamos el trapecio *A B C D* y tomando los puntos *E* y *H* medios de las bases *B C* y *A D* tracemos el eje diametral *E H*.

Tracemos la diagonal *A C* y determinemos los centros de gravedad G_1 y G_2 de los dos triángulos *B AC* y *A C D* (*fig. 80*).

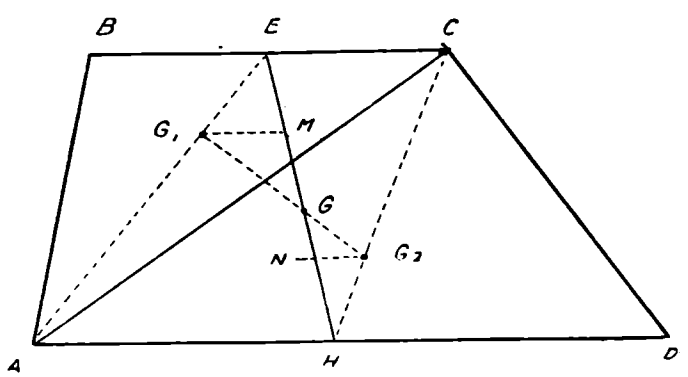


Fig. 80

Centro de gravedad de un trapecio

Unamos G_1 con G_2 y *el punto G* de intersección con el eje diametral será evidentemente el *centro de gravedad del Trapecio.*

Para fijar su posición tracemos las rectas G_1 *M* y G_2 *N* paralelas á las bases y los triángulos G_1 *EM* y G_2 *H N*, serán respectivamente

semejantes á los triángulos $A\,E\,H$ y $E\,H\,C$ y nos darán

$$\frac{E\,G_1}{E\,A} = \frac{G_1\,M}{A\,H} = \frac{E\,M}{E\,H} \text{ y } \frac{H\,G_2}{H\,C} = \frac{G_2\,N}{E\,C} = \frac{H\,N}{E\,H}$$

pero

$$E\,G_1 = \tfrac{1}{3}\,E\,A \text{ y } H\,G_2 = \tfrac{1}{3}\,H\,C$$

luego para que haya proporción es necesario que

$$G_1\,M = \tfrac{1}{3}\,A\,H;\; E\,M = \tfrac{1}{3}\,E\,H;\; G_2\,N\,\tfrac{1}{3}\,E\,C:\; H\,N = \tfrac{1}{3}\,E\,H$$

y si suponemos

$$B\,C = 2\,p$$
$$A\,D = 2\,q$$
$$E\,H = a$$

las cuatro igualdades anteriores se convertirán en

$$G_1\,M = \tfrac{1}{3}\,q$$
$$E\,M = \tfrac{1}{3}\,a$$
$$G_2\,N = \tfrac{1}{3}\,p$$
$$H\,N = \tfrac{1}{3}\,a$$

Consideremos ahora á los triángulos $G_1\,M\,G$ y $G_2\,N\,G$ que tienen los ángulos en G iguales por opuestos al vértice y los lados $G_1\,M$ y $G_2\,N$ paralelos, luego serán semejantes y nos darán

$$\frac{G_1\,M}{M\,G} = \frac{G_2\,N}{N\,G}$$

y si hacemos $N\,G = x$, saldrá

$$\tfrac{1}{3}\,q : \tfrac{1}{3}\,a - x :: \tfrac{1}{3}\,p : x \qquad (1)$$

pues

$$M\,G = M\,N - N\,G = \tfrac{1}{3}\,a - x$$

Despejando x en la ecuación (1) sale

$$\tfrac{1}{3}\,q \times x = \tfrac{1}{3}\,p\,(\tfrac{1}{3}\,a - x)$$
$$\tfrac{1}{3}\,q\,x = \tfrac{1}{9}\,p\,a - \tfrac{1}{3}\,p\,x$$
$$q\,x = \tfrac{1}{3}\,p\,a - p\,x$$
$$q\,x + p\,x = \tfrac{1}{3}\,p\,a$$
$$x\,(q + p) = \tfrac{1}{3}\,p\,a$$
$$x = \frac{p\,a}{3\,(p + q)}$$

y agregando $H\,N = \frac{1}{3}\,a$ á ambos miembros sale

$$H\,N + x = \tfrac{1}{3}\,a + \frac{p\,a}{3\,(p+q)}$$

luego

$$H\,G = \frac{a}{3} + \frac{p\,a}{3\,(p+q)}$$

$$H\,G = \frac{a \times 3\,(p+q) + 3 \times p\,a}{3 \times 3\,(p+q)}$$

$$H\,G = \frac{a\,(p+q) + p\,a}{3\,(p+q)}$$

$$H\,G = \frac{a\,p + a\,q + a\,p}{3\,(p+q)}$$

$$H\,G = \frac{a\,(p+q+p)}{3\,(p+q)}$$

$$H\,G = \frac{a\,(2\,p+q)}{3\,(p+q)}$$

Expresión que nos dá la posición del punto G en función de cantidades conocidas.

128.—Centro de gravedad de una Pirámide. — Consideremos la pirámide triangular $A\,B\,C\,D$ (*fig. 81*), en la cual suponemos que la base es el triángulo ABC, cuyo centro de gravedad es O, entonces *el centro de gravedad de la pirámide estará sobre la línea* que une el punto O con el vértice D, es decir, en un punto de la recta DO.

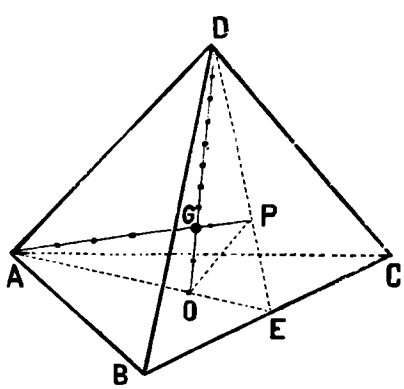


Fig. 81
Centro de gravedad de una pirámide

Si se supone ahora que la base de la pirámide es la cara DBC, cuyo centro de gravedad es P, resultaría que *el centro de gravedad de la pirámide, estará sobre* la línea $A\,P$. Luego, el centro de gravedad de la pirámide estará en la intersección de las dos rectas $O\,D$ y $A\,P$, es decir, *en el punto G.*

—Veamos ahora, cuál es la posición de este punto G.

Siendo O, centro de gravedad del triángulo $A\,B\,C$ resulta

$$O\,E = \tfrac{1}{3}\,A\,E \qquad (1)$$

Siendo P, centro de gravedad del triángulo $D\,B\,C$, resultará

$$P\,E = \tfrac{1}{3}\,E\,D \qquad (2)$$

de donde comparando la (1) y (2)

$$\frac{O\,E}{E\,P} = \frac{\frac{1}{3}\,A\,E}{\frac{1}{3}\,D\,E}$$

ó bien

$$\frac{O\,E}{E\,P} = \frac{A\,E}{D\,E}$$

y alternando

$$\frac{O\,E}{A\,E} = \frac{E\,P}{D\,E}$$

lo que nos dice que los triángulos $A\,E\,D$ y $O\,E\,P$ son semejantes por tener dos lados respectivamente proporcionales.

De la semejanza de los triángulos, se deduce

$$\frac{O\,E}{A\,E} = \frac{E\,P}{D\,E} = \frac{O\,P}{A\,D} \qquad (3)$$

y también que $O\,P$ *es paralela* á $A\,D$.

—En la igualdad (3), observemos que por las (1) y (2) se tiene $O\,E = \frac{1}{3}\,A\,E$ y $E\,P = \frac{1}{3}\,E\,D$, luego saldrá

$$O\,P = \tfrac{1}{3}\,A\,D \qquad (4)$$

—Siendo $O\,P$ paralela á $A\,D$ los dos triángulos AGD y GOP (*fig. 82*) son semejantes y nos darán

$$\frac{O\,G}{G\,D} = \frac{O\,P}{A\,D}$$

pero la (4) nos dá $O\,P = \frac{1}{3}\,A\,D$, luego

$$O\,G = \tfrac{1}{3}\,D\,G$$

es decir, finalmente que

$$O\,G = \tfrac{1}{4}\,O\,D$$

fórmula que nos dice:

El centro de gravedad de una pirámide está situado sobre la línea que une el vértice y el centro de gravedad de la base á 1/4 á partir de la misma.

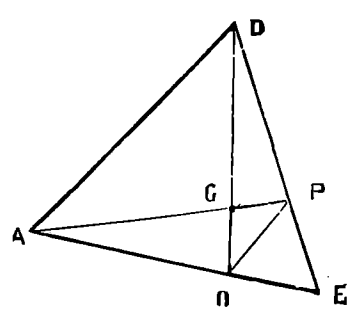


Fig. 82
Centro de gravedad de una pirámide

Lo mismo sucedería respecto al *cono* que se puede considerar como una pirámide de un número infinito de caras.

129.—Centro de gravedad de un cuerpo compuesto. — Si tuviéramos que determinar el centro de gravedad de un cuerpo compuesto como el indicado en la (*fig. 83*), suponiendo que cada una de las partes es *homogénea* y que se conozca el peso de ellas, haríamos la composición de las fuerzas paralelas, y *el punto de aplicación de la resultante* seria el centro de gravedad buscado.

—Supongamos que los pesos de las partes sean:

peso de ... . $N = 5\ K$
» » ..... $M = 3\ K$
» » la barra..... $O = 1\ K$

El centro de gravedad de cada una de las esferas ó el punto de aplicación de la fuerza de la gravedad sería *el centro* de cada esfera y el centro de gravedad de vástago que las une, sería el *punto medio O*.

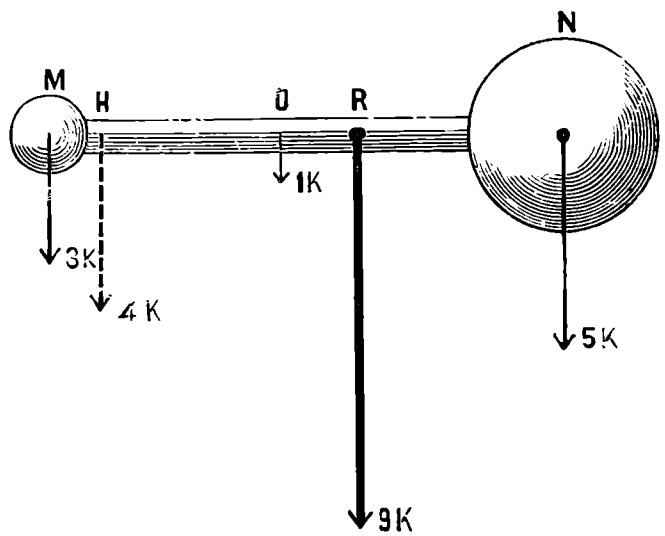


Fig. 80
Centro de gravedad de un cuerpo compuesto

Componiendo entonces las fuerzas aplicadas en M y O, tendremos una resultante igual á 4 K y cuyo punto de aplicación estaría á una distancia $O\ H = \frac{3}{4}\ M\ O$.

—En seguida compondríamos las fuerzas aplicadas en H y en N y tendríamos una resultanta de 9 K, cuyo *punto de aplicación*

$$R,\ \text{estaría á una distancia}\ N\ R = \frac{4}{9}\ H\ N$$

y este punto R, sería el *centro de gravedad* buscado.

130.—Determinación experimental del centro de gravedad.— Se puede determinar experimentalmente el centro de gravedad de un cuerpo de forma irregular.

Al efecto se suspende el cuerpo (*fig. 84*), hasta que quede en equilibrio y se observa la dirección *A A'* de la prolongación del hilo de suspensión.

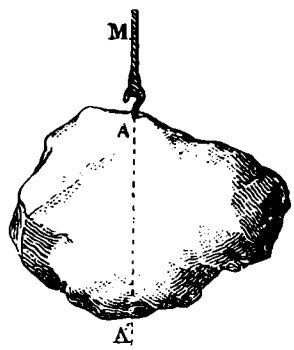


Fig. 84
Centro de gravedad de un cuerpo irregular

Desde que el cuerpo ha quedado en equilibrio, quiere decir que la vertical del punto de suspensión pasa por el centro de gravedad del cuerpo, luego el centro de gravedad de ese cuerpo estará colocado sobre un punto de la línea *A A'*.

Se vuelve á suspender el cuerpo por otro punto *B* (*fig. 85*) y una vez que el cuerpo ha quedado en equilibrio, resultará que el centro de gravedad del cuerpo estará sobre un punto de la línea *B B'* vertical del punto de suspensión *B*.

Entonces, debiendo estar el centro de gravedad sobre la línea *A A'* y al mismo tiempo sobre la línea *B B'* tendrá que estar forzosamente en su punto de intersección *G*. Es natural que no se podrá obtener fijamente el punto *G*, pues no es posible penetrar dentro del cuerpo sin disgregarlo, pero por el método indicado, se puede siempre obtener datos muy aproximados que tienen aplicación en la práctica.

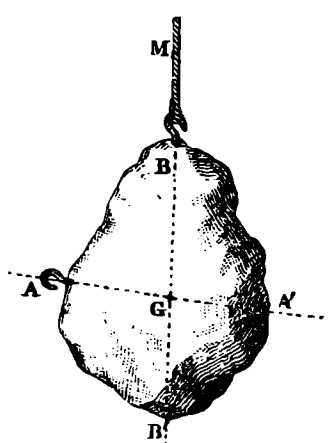


Fig. 85
Centro de gravedad de un cuerpo irregular

131. — Equilibrio de los cuerpos. — Para que un cuerpo esté en equilibrio *basta* que su centro de gravedad esté

suspendido, para lo cual nos bastará suspender el cuerpo por medio de un hilo ó por un eje, ó bien apoyarlo sobre un plano cualquiera.

Fijando el centro de gravedad, queda *anulada la acción* del peso, luego el cuerpo queda equilibrado.

132.—Equilibrio de un cuerpo suspendido por un punto.—Supongamos tener un cuerpo M (*fig. 86*) suspendido por el punto A y movil alrededor de dicho punto.

Si desplazamos ese cuerpo y suponemos que tome la posición M', ten-

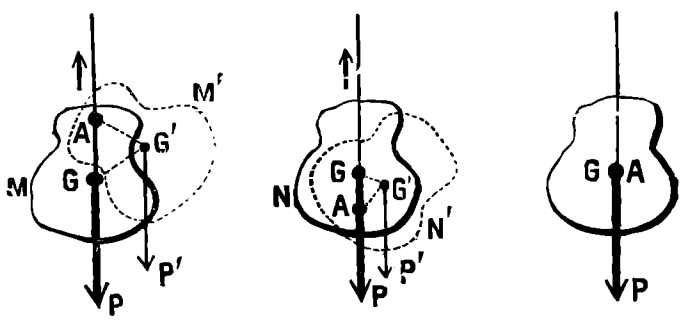


Fig. 86 Fig. 87 Fig. 88

Equilibrio de un cuerpo suspendido

dremos que el peso P', tendrá por acción hacer *volver el cuerpo á la misma posición* que tenía antes, cosa que se obtendrá después de algunas oscilaciones debidas á la fuerza viva adquirida en la caída.

En este caso el equilibrio toma el nombre de *Equilibrio estable.*

133.—Supongamos que hemos suspendido el cuerpo N (*fig. 87*) de modo que el centro de gravedad G esté *más arriba* que el punto de suspensión A.

Si volvemos á desplazar el cuerpo, suponiendo que tome la posición N' la acción de la fuerza P' ó peso será la de *hacer bajar el centro de gravedad.*

En estas condiciones de suspensión el cuerpo habrá estado en *Equilibrio Inestable.*

134.—Finalmente, supóngase que se suspende el cuerpo, *por su centro* de gravedad (*fig. 88*), en ese caso si desplazamos el cuerpo en cualquier posición, el cuerpo *quedará en equilibrio* y así tendremos el *Equilibrio Indiferente.*

135. –De lo dicho resulta que:

El equilibrio es *Estable*, cuando el cuerpo desviado de su posición de equilibrio, vuelve por sí sólo á su posición primitiva, *lo cual sucede* cuando el centro de gravedad del cuerpo está *más bajo* que el punto de *suspensión*.

—El equilibrio es *Inestable*, cuando el cuerpo desviado de su posición de equilibrio, por pequeña que sea la desviación, no vuelve á su posición primitiva, lo cual *se obtiene* cuando el centro de gravedad del cuerpo está *más alto* que el punto de suspensión.

El equilibrio es *Indiferente*, cuando el cuerpo desviado de su primitiva posición, queda siempre en equilibrio, lo cual *se obtiene* cuando el centro de gravedad del cuerpo *está en el punto de suspensión*.

136.—Un ejemplo de equilibrio *estable* de un cuerpo suspendido por un punto, se tiene en el *Ténte tieso* indicado en la figura 89, que como vemos consiste en un muñequillo al cual se le han adaptado dos esferas pesadas, que al formar un solo cuerpo rígido con el muñeco, han tenido por efecto *bajar el centro de gravedad* en un punto más bajo que el punto de suspensión.

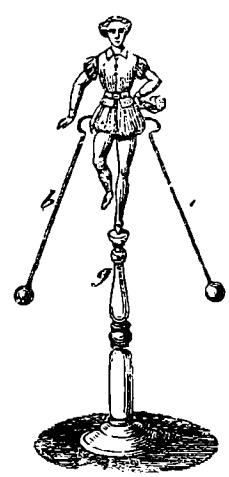


Fig. 89
Ténte tieso

Por más que desviemos á uno ú otro lado el muñequillo, éste volverá á tomar inmediatamente su posición de equilibrio.

Este mismo principio aplican los equilibristas, que marchan y bailan sobre una maroma tendida, reemplazando las esferas pesadas, por una pértiga con pesos en sus extremidades.

137.—**Equilibrio de un cuerpo apoyado sobre un plano horizontal**.—Para que un cuerpo apoyado sobre un plano

horizontal esté en equilibrio, basta que *la vertical que pasa por el centro de gravedad caiga dentro de la base de sustentación*, entendiéndose por *base de sustentación*, el polígono que resulta de reunir entre sí todos los puntos de apoyo del cuerpo sobre dicho plano.

Así, la base de sustentación de una mesa, será el rectángulo que resulta de unir los pies de la mesa por medio de rectas; la base de sustentación de un cono, será el círculo de la base, etc.

—En los cuerpos apoyados sobre un plano horizontal también se consideran los *tres estados de equilibrio.*

La figura 90, nos da ejemplo de los tres estados.

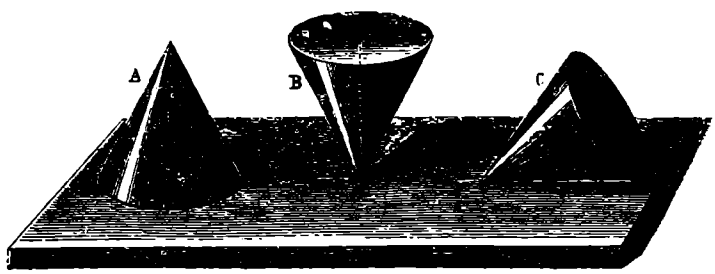


Fig. 90
Los tres estados de equilibrio

Se tendrá el equilibrio *estable* cuando el centro de gravedad *está lo más abajo posible*, como en el cono recto apoyado *por su base*.

—Se tiene el equilibrio *inestable*, cuando el centro de gravedad se halla *más arriba* del punto de apoyo, distancia contada sobre la vertical que pasa por dicho punto. Ejemplo de equilibrio inestable tendremos en un cono apoyado *por su vértice*.

—Finalmente, se tendría el equilibrio indiferente cuando cualquiera que sea la posición que se dé al cuerpo, su centro de gravedad *no sube ni baja*, sino que permanece quedo, como un cono apoyado por uno de sus generatrices ó una esfera colocada sobre un plano horizontal.

Todo lo dicho se basa en el principio que el centro de gravedad de un cuerpo tiende constantemente á bajar.

138.—Base de sustentación.—Hemos dicho que para que un cuerpo apoyado sobre un plano esté en equilibrio era *necesario y suficiente* que la vertical trazada por el centro de gravedad del cuerpo pasara dentro de la base de sustentación.

Es evidente que esa condición es *suficiente*, pues en ese caso la acción de la gravedad no hace más que *comprimir* el cuerpo sobre el plano que lo sostiene.

—Para demostrar que *es necesario*, imaginemos tener un cilindro oblicuo, apoyado sobre un plano horizontal *M N* (*fig. 91*) y tal, que la

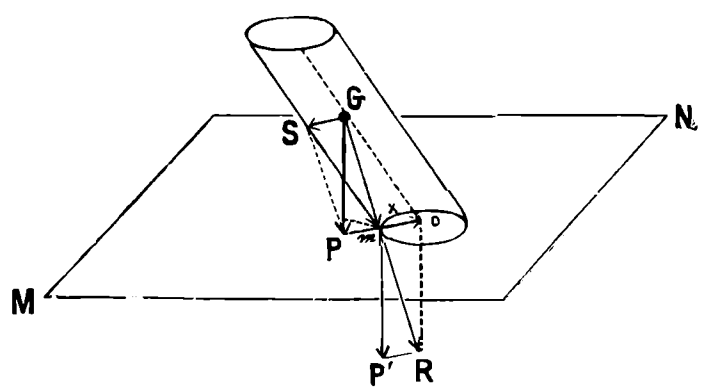


Fig. 91
Condiciones de equilibrio de un cilindro oblicuo

vertical que pasa por el centro de gravedad caiga fuera de la base de sustentación.

Sea *P* la fuerza de la gravedad, la que podremos descomponer en otras dos *G m* y *G S*, la primera dirigida en dirección de la recta que une el centro de gravedad *G* con el punto *m* del cilindro, punto el más cercano al punto de intersección *P* de la vertical con el plano que sustenta al cuerpo; y la segunda *G S*, perpendicular á la dirección *G m*.

Esta fuerza *G S*, será la que *tenderá á hacer girar el cilindro*, al rededor del punto *m*.

—Veamos que efecto producirá la otra componente.

Como los puntos *G* y *m* están unidos invariablemente, podemos imaginar trasportado el punto de aplicación *G* de la fuerza *G m* al punto *m* y entonces la fuerza *G m* estará representada por la *m R*.

Esta fuerza $m\ R$ puede descomponerse en otras dos una $m\ P'$ vertical y otra $O\ m$ en la dirección del plano.

La fuerza $m\ P'$ *quedará destruida* por la rigidez del plano y la fuerza $O\ m$ tenderá á *hacer resbalar el cilindro* en la dirección $m\ O$.

Luego la fuerza de la gravedad P, habrá sido descompuesta en las fuerzas P, S y X. La primera queda destruida por la rigidez del plano, la segunda tiende á hacer *girar* el cilindro y la tercera tiende á hacerlo *resbalar* sobre el plano que lo sostiene.

139. — Aplicaciones. — Los conocimientos que hemos adquirido sobre el equilibrio, nos pueden explicar algunos fenómenos que observamos diariamente.

—Así, notamos que nos es penoso estar mucho tiempo parados, lo cual se explica por las continuas contracciones musculares que debemos hacer para que la vertical que pasa por el centro de gravedad de nuestro cuerpo, caiga *dentro de la base* de sustentación que está formada por el borde exterior de nuestros pies y por dos rectas que unen las puntas y los talones.

Esta posición es mucho más penosa si tuviéramos que estar parados en la punta de un pie, pues la base es entonces muy pequeña.

Lo contrario sucede cuando estamos sentados, pues la base es la de la silla.

—Cuando llevamos un bulto pesado en una mano, por ejemplo un balde de agua, nos vemos obligados á inclinar el cuerpo en el otro sentido para obtener que el centro de gravedad que se ha transportado lateralmente vuelva á un punto que reuna la condición de que la vertical que por él se traza, pase por la base de sustentación.

Cosa análoga se verifica cuando llevamos un bulto en nuestras espaldas, pues para marchar con más comodidad debemos inclinarnos hacia adelante.

—Los campesinos aplican estas nociones sobre el equilibrio cuando deben transportar en carros, lienzos de lana, que por su poco peso y mucho bulto, cargan hasta una gran altura. En este caso, el centro de gra-

vedad se ha elevado y para dar mayor estabilidad al carro, colocan grandes masas de hierro en su fondo, lo cual si bien aumenta el peso muerto, también *hace bajar el centro* de gravedad del carro, haciendo más difícil la probabilidad de volcar.

—Las torres de *Pisa* y *Bologna* inclinadas y cuya estabilidad tanto se admira, son aplicaciones de las condiciones de equilibrio.

La vertical del centro de gravedad de la torre, pasa por su base de sustentación.

—Si tomamos un cilindro de madera, en uno de cuyos costados incrustamos una masa metálica pesada y colocamos (*fig. 92*) ese cilindro sobre un plano inclinado, se verá un fenómeno que nos admirará en el primer momento y es que el cilindro *en vez de bajar* por el plano, *sube.*

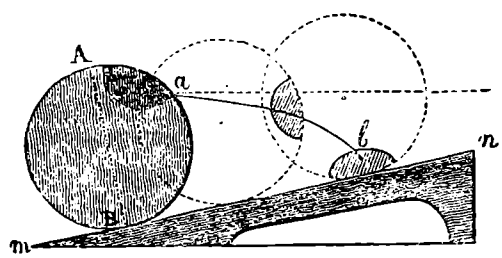


Fig. 92
Bajada del centro de gravedad

Esto es debido á la tendencia que ya hemos visto que tiene el centro de gravedad de los cuerpos, á *descender.*

—Otro experimento análogo puede hacerse, teniendo (*fig. 93 y 94*) dos conos circulares, unidos por su base

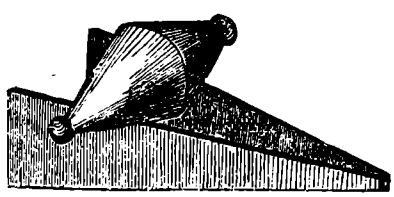


Fig. 93

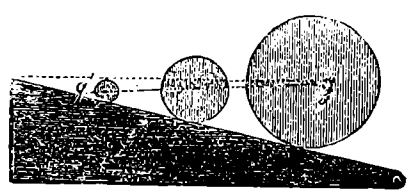


Fig. 94

Bajada del centro de gravedad

que apoyan sobre dos planos inclinados los cuales forman un cierto ángulo entre sí.

Los conos en vez de bajar, *suben* por el plano inclinado porque al subir los conos *baja* el centro de gravedad, pues debido al ángulo que forman los planos inclinados, los puntos de apoyo de los conos van cada vez acercándose más á su eje en donde está el centro de gravedad.

Debe tenerse presente que en todo lo que se ha dicho respecto al equilibrio de los cuerpos, éstos se han supuesto completamente rígidos.

CAPÍTULO II

MAQUINAS SIMPLES

140.—Preliminares.—Sucede á menudo que una fuerza pequeña, *puede equilibrar* una fuerza grande y por consiguiente puede *mover* una carga ó un peso considerable. Pero, para obtener este resultado, se necesitan ciertos *aparatos* sobre los cuales la fuerza de la *Resistencia* y de la *Potencia obran en sentido contrario.*

Estos aparatos se llaman *Máquinas*, las que, por más complicadas que sean, se pueden reducir á las *seis máquinas simples* siguientes:

Palanca.
Polea.
Torno.
Plano inclinado.
Cuña.
Rosca ó Tornillo.

—Y éstas á su vez se pueden reducir á dos únicas, *La Palanca* y el *Plano inclinado.*

141.—Una máquina *no produce por sí sola* ningún efecto. Ella no hace más que *trasmitir* de una manera conveniente la cantidad de *trabajo* que una *fuerza motriz* efectúa sobre la máquina y ya hemos visto que sólo *una parte* de esa fuerza motriz se transforma en *trabajo útil.*

Para el estudio que vamos á hacer, es necesario tener

en cuenta los *principios* siguientes que ya hemos enunciado:

« La acción es igual y contraria á la reacción » ó también: « El *trabajo* de la fuerza motriz es siempre igual « al de la fuerza resistente » y finalmente:

« Todo lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad ».

—Vamos, pues, á determinar las *Condiciones de equilibrio* de estas máquinas simples, pues una vez determinadas, nos bastará *un pequeño aumento de la potencia* para obtener el movimiento deseado.

142.—Palanca.—Esta máquina consiste en un *cuerpo rígido, móvil*, al rededor de un punto que se llama *punto de apoyo* y sobre cuyo cuerpo obran fuerzas que tienden á hacerlo *girar* al rededor de dicho punto.

En general, puede considerarse la palanca como formada por dos *rectas rígidas* que concurren en el punto de apoyo, pudiendo formarse así la *palanca recta* y la *palanca angular*.

La palanca puede ser de *tres géneros*, según estén respectivamente colocados los puntos de *apoyo* de aplicación de la *potencia* y de aplicación de la *resistencia*.

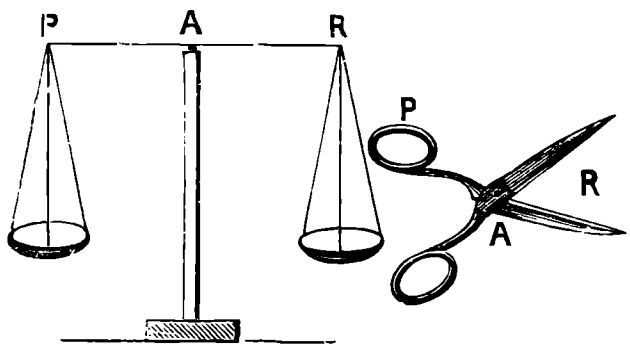


Fig. 95
Palanca de *primer* género

143.—Se llama palanca de *Primer Género* aquella que tiene el *punto de apoyo* entre la potencia y la resistencia.

Se tiene ejemplos de palancas de este género en la *balanza,* en las *tijeras*, etc. (*fig. 95*).

—La palanca de *Segundo Género* es aquella en que *la resistencia* está entre el punto de apoyo y la potencia, como en el manubrio de algunas *bombas* (*fig 96*), en el *casca nueces*, los *remos*, los *fuelles,* etc.

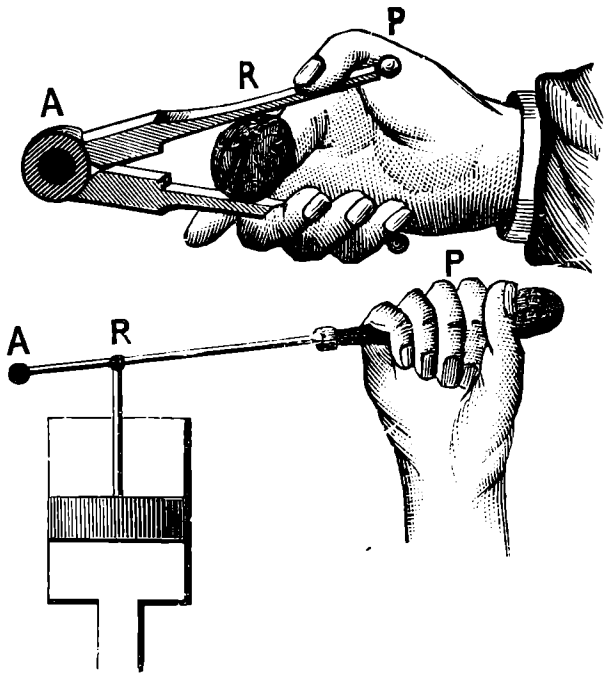


Fig. 96
Palanca de *segundo* género

—La palanca de *Tercer Género* es aquella en que la *Potencia* está aplicada entre el punto de apoyo y la resistencia (*fig. 97*) como en las *tijeras* de *esquilar*, las *pinzas*, los *pedales* de los órganos, etc.

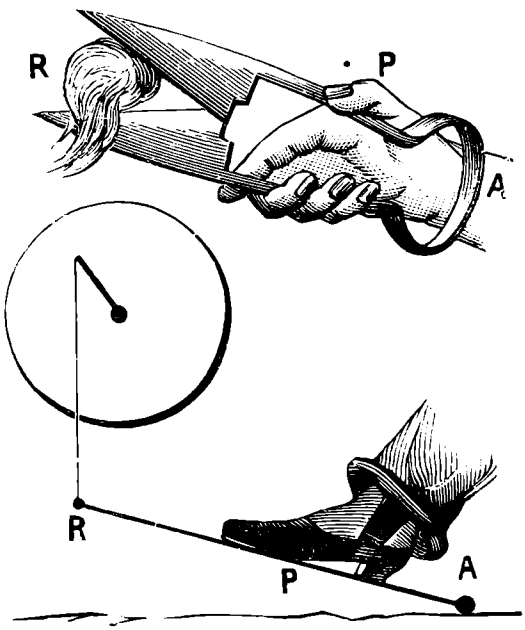


Fig. 97
Palanca de *tercer* género

144. — Condiciones de equilibrio.—Si se tiene una palanca de primer género, de *brazos iguales A C* y *B C*, (*fig. 98*) sobre los cuales obran en la misma dirección dos fuerzas

P y *Q*, la palanca *se encontrará en equilibrio cuando las fuerzas sean iguales.*

—*Si los brazos* de palanca son *desiguales,* tendrán también que ser *desiguales las fuerzas* para que haya equilibrio, y las intensidades de las fuerzas deberán ser tales que subsista (*fig. 99*) la igualdad.

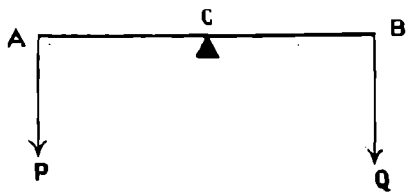


Fig 98
Condiciones de equilibrio de la palanca

$$P \times A\,C = Q \times C\,B$$

—*Si las fuerzas no son paralelas* (*fig. 100*), para que haya equilibrio es necesario que se verifique

$$P \times D\,C = Q \times C\,E$$

Finalmente, si obran varias fuerzas como las *P, Q, S, T* (*fig. 101*) para que subsista el equilibrio, se deberá tener

$$P \times C\,D + S \times M\,C = Q \times C\,E + T \times N\,C$$

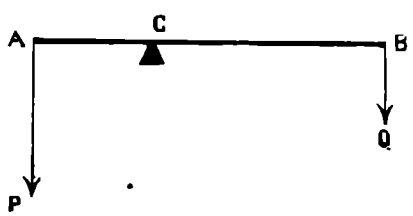


Fig. 99

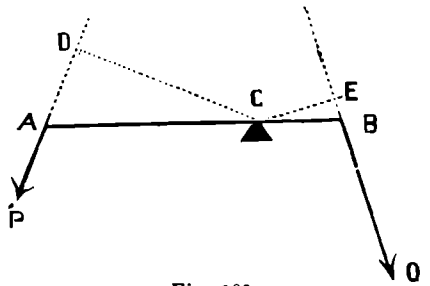


Fig. 100

Condiciones de equilibrio de la palanca

—Todo lo cual nos dice que:

La palanca estará en equilibrio cuando los momentos de la potencia y de la resistencia son iguales.

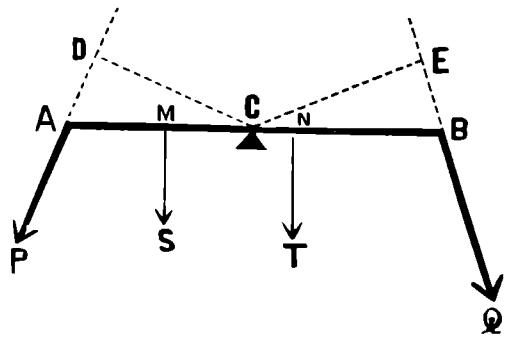


Fig. 101
Condiciones de equilibrio de la palanca

145.—Como la condición anterior se expresa por la fórmula

$$P \times AC = Q \times CB$$

que se puede escribir

$$\frac{P}{Q} = \frac{CB}{CA}$$

resulta que:

Para que haya equilibrio la potencia y la resistencia deberán estar en razón inversa de su brazo de palanca.

—Vemos entonces que cuando queremos mover un *peso considerable* con una *fuerza pequeña* nos bastaría *alargar* el brazo de palanca de la *potencia ó acortar el brazo de palanca de la resistencia.*

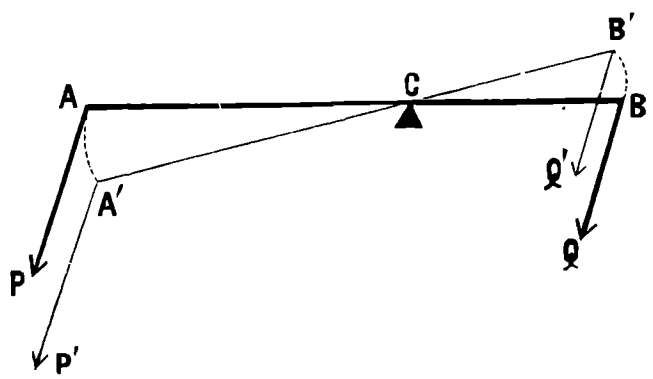


Fig. 102
Condiciones de equilibrio de la palanca

Pero, es necesario observar *(fig. 102)* que mientras el punto *A* al *girar* al rededor del punto *C*, ha pasado de *A* á *A'*, recorriendo un espacio *A A'*, el punto *B* habrá recorrido un espacio *B B' menor* que el espacio *A A'* y tanto menor cuanto menor sea el radio ó brazo de palanca *C B*.

Luego, lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad.

146.—Sea el siguiente problema:

«Cual es la *longitud del brazo de palanca de la potencia* para levantar

« un peso de 100 *K*, sabiéndose que la potencia que se puede desarrollar « es de 20 *K* y que el brazo de palanca de la resistencia es de 4m.»

Aplicando la fórmula que nos dá la *condición de equilibrio (fig. 103)* de la palanca tenemos

$$P' \times AC = Q \times CB$$

y sustituyendo los valores que nos dá el problema, tenemos

$$20 \times x = 100 \times 4$$

de donde

$$x = \frac{100 \times 4}{20} = \frac{400}{20}$$

luego

$$x = 20\text{m}$$

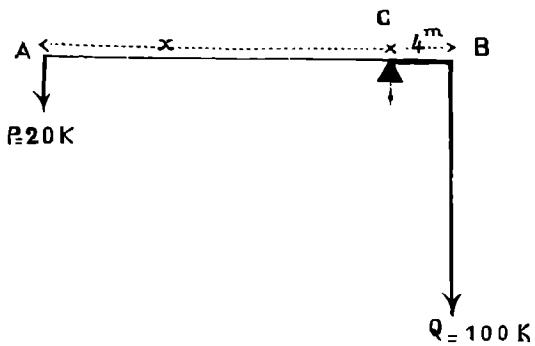


Fig. 103
Problema sobre la palanca

lo cual nos dice, que *para que haya equilibrio*, es necesario que el brazo de la palanca de la potencia sea igual á 20m, luego *para poder mover el peso*, es necesario *aumentar* algo ese brazo de palanca.

Todo lo que hemos dicho de la palanca de *primer género* se aplica también á las palancas de *segundo y tercer género.*

147.—Presión sobre el punto de apoyo.—Indiquemos ahora cual será la *presión* que sufre el punto de apoyo cuando una palanca funciona y suponiéndola *sin peso propio.*

Supongamos que las fuerzas que obran sobre las palancas sean paralelas.

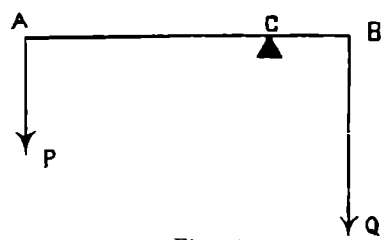


Fig. 104

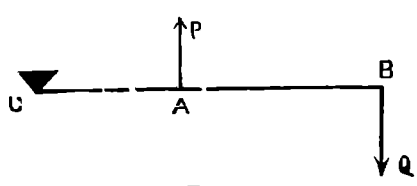


Fig. 105

Presión sobre el punto de apoyo

—Cuando la potencia y resistencia están dirigidas (*fig. 104*) en el *mismo sentido, la presión será igual á la suma* de las dos fuerzas.

—Cuando las fuerzas están dirigidas en *sentido contrario* (*fig. 105*), *la presión es igual á la diferencia* de las dos fuerzas.

—Finalmente, cuando las fuerzas *son oblícuas* entre sí la presión ejercida sobre el punto de apoyo se determinará formando el paralelógramo (*fig. 106*), de las fuerzas *P* y *Q*, y *la diagonal M N* indicará *la resultante* ó presión ejercida sobre el punto *O*.

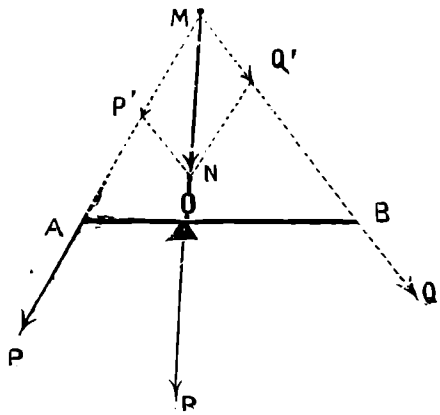


Fig. 106
Presión sobre el punto de apoyo

148. — Polea. — La polea consiste en en disco circular que gira al rededor de un eje y que tiene una encanaladura llamada *garganta*, destinada á recibir una cuerda en cuyas extremidades se aplican la *potencia* y la *resistencia*.

Generalmente la polea *está sostenida (fig. 107)* por una armadura de hierro *C B* llamada *chapa*, y en ese caso la polea se llama *fija*.

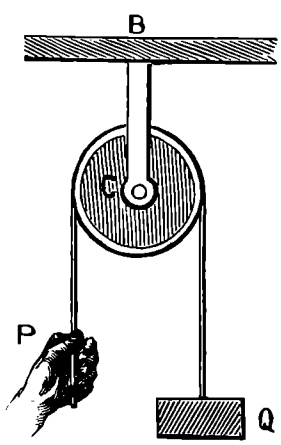


Fig. 107
Polea fija

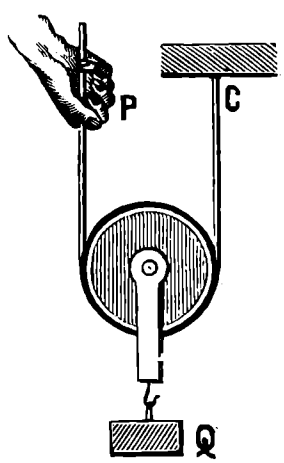


Fig. 108
Polea móvil

Cuando *la chapa* es la que *soporta el peso (fig. 108)* la polea se llama *móvil*.

Es claro que la *polea fija se reduce á una palanca de primer género A C B (fig. 109) de brazos A C* y

C B iguales, de donde se deduce que para que haya *equilibrio* es necesario que la *potencia y la resistencia sean iguales*, es decir

$$P = Q$$

—De aquí resulta que *con la polea fija no se puede ganar fuerza* como con la *palanca*, y *al contrario* habrá siempre una *pérdida* debido al peso de las cuerdas y á las resistencias pasivas.

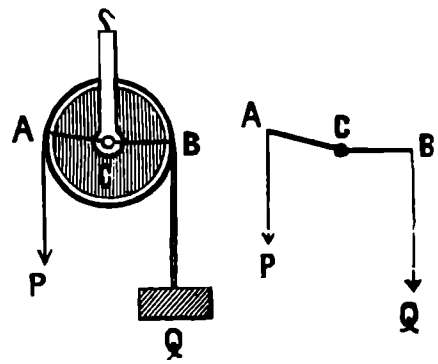


Fig. 109
Condiciones de equilibrio de la palanca

Sin embargo, *se usa* la polea fija porque hace actuar la fuerza en la dirección que más conviene para el operador.

149. — Polea móvil. — En cuanto á la *polea móvil*, vemos que no solo gira la polea al rededor de su eje, sino

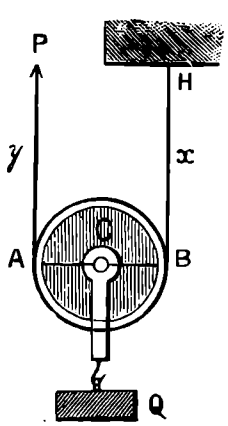


Fig. 110

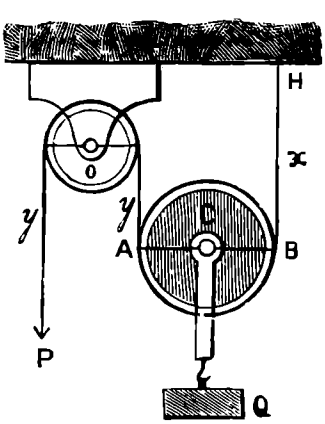


Fig. 111

Poleas móviles

que *cambia simultáneamente de lugar* en el espacio arrastrando consigo al cuerpo ó peso *Q* (*fig. 110*).

Generalmente, para mayor *comodidad*, la extremidad de la cuerda en la que está aplicada la potencia se hace pasar por la garganta de otra polea fija *O* (*fig. 111*).

Ahora bien: estando como está el peso aplicado en el centro de la polea, cada porción de cuerda *x* é *y*, *sostendrá á la mitad del peso*, y si imaginamos que la extremidad de la parte *x* se fija en un punto *H*, es indudable que *para obtener el equilibrio* nos bastará desarrollar en la porción de la soga una fuerza *mitad del peso*. Es decir que *la condición de equilibrio* de la *polea móvil* será

$$P = \frac{1}{2} Q$$

ó en otras palabras, que con la polea móvil «*una fuerza* cualquiera podrá equilibrar una *resistencia doble*.»

Aquí también, *lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad*, pues vemos que mientras la potencia recorre *un cierto espacio*, la resistencia recorre un *espacio mitad*.

150.—Si los trozos de cuerda no son paralelos, *la ganancia* de fuerza *será menor*, y será tanto más pequeña cuanto mayor es la divergencia.

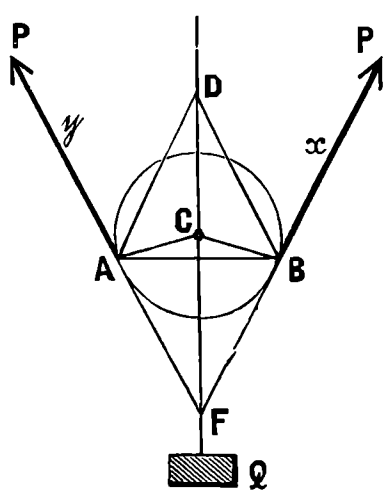


Fig. 112
Condiciones de equilibrio de la polea móvil

Vamos á determinar *para este caso* cual será *la intensidad de la potencia* para obtener el equilibrio.

Representemos por *D F* (*fig. 112*) la fuerza *Q*, y formando el paralelógramo de las fuerzas, cada uno de los lados *A F*, *B F*, *A D* y *B D* representarán las fuerzas *P*, luego,

$$P = AF$$

y como por el supuesto

$$Q = DF$$

resultará dividiendo miembro á miembro estas dos igualdades

$$\frac{P}{Q} = \frac{AF}{DF} \qquad (1)$$

Pero los triángulos $A\ D\ F$ y $A\ C\ B$, semejantes por tener sus lados respectivamente perpendiculares, nos dan

$$\frac{A\ F}{D\ F} = \frac{A\ C}{A\ B}$$

luego, sustituyendo en la (1) resulta

$$\frac{P}{Q} = \frac{A\ C}{A\ B} \qquad (2)$$

pero $A\ C$ *es el radio* de la polea y $A\ B$ *es la cuerda* del arco abrazado por la soga, luego se deduce:

—*En la polea móvil la potencia es á la resistencia como el radio de la polea es á la cuerda del arco abrazado por la soga.*

—Si ahora suponemos que las partes de la soga x é y *son paralelas*, resultará que la cuerda $A\ B$ *es el diámetro*, luego la ecuación (2) se convertirá en

$$\frac{P}{Q} = \frac{A\ C}{A\ B} = \frac{1}{2}$$

de donde

$$\mathbf{P = \frac{1}{2}\,Q}$$

que es el mismo resultado que habíamos obtenido antes.

—Las poleas móviles *se aplican* para levantar pesos considerables con pequeñas fuerzas, para lo cual se hace pasar la cuerda en que está aplicada la potencia por *varias poleas* fijas y móviles ligadas entre sí, teniendo de esta manera una disminución indefinida de la potencia necesaria.

De esa manera se forman las máquinas llamadas *tróculas*, *aparejos* ó *polipastros*.

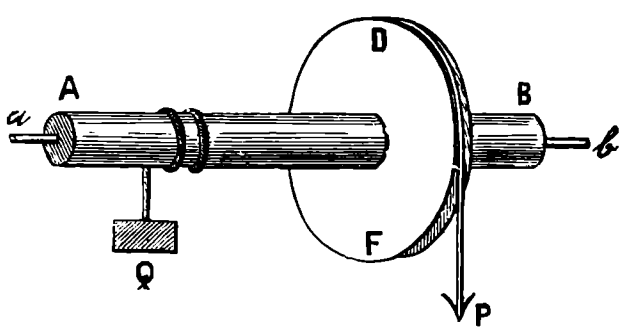


Fig. 113
Torno

151.—Torno.—El torno está formado por un cilindro ó prisma regular $A\ B$ (*fig. 113*) llamado *eje* ó *árbol*

y de un disco circular *D F* de mayor diámetro, que se llama *rueda*, unidos invariablemente entre sí y que pueden girar al rededor de un mismo eje *a b*, siendo *A a* y *B b* los *pernos* que se apoyan sobre *cojinetes*.

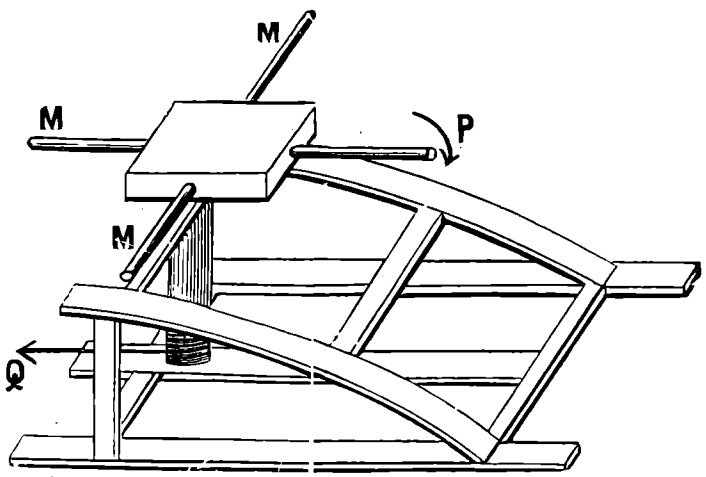


Fig. 114
Torno á palanca

La *potencia* se aplica á la circunferencia de la rueda y la *resistencia* está aplicada al *árbol* por medio de una cuerda, la cual, por efecto de la potencia, se irá arrollando al árbol y levantando por consiguiente, el peso que lleva suspendido.

El *árbol* del torno puede ser *horizontal* ó *vertical*.

En este último caso, el torno toma el nombre de *cabrestante*.

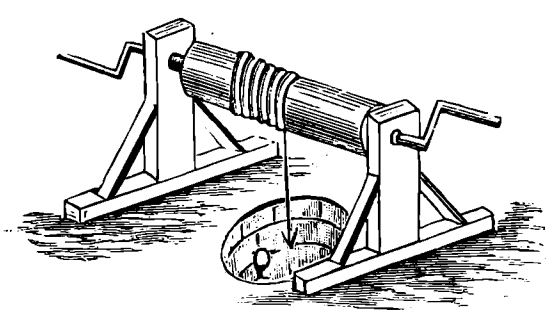


Fig. 115
Torno á manivela

Según el modo como se aplica la potencia, el torno puede ser *á palanca*, *á manivela*, *á manubrio*, *á clavijas* y el *tímpano á tambor*.

Los tres primeros están indicados por las figuras 114, 115 y 116.

El *torno á clavijas* consiste en una rueda de gran diámetro, en cuya circunferencia tiene una serie de clavijas, sobre las cuales trata de encaramarse constantemente un hombre, y el *tímpano á tambor* consiste en un cilindro en cuyo interior un hombre ó animal trata continuamente de trepar.

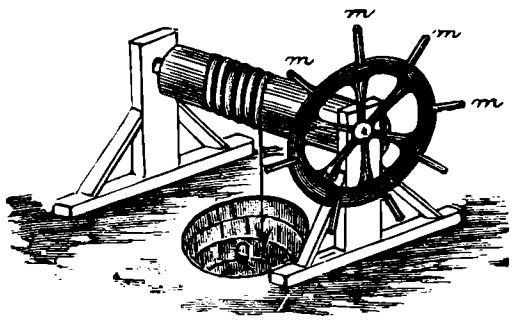


Fig. 116
Torno á manubrios

152. — Condiciones de equilibrio. — Para determinar las *condiciones de equilibrio del torno*, podemos considerarlo como *una palanca de primer género*, siendo el *brazo de la potencia (fig. 117)* el radio $AC = R$ de la rueda, y el *brazo de la resistencia,* el radio $CB = r$ del árbol.

Indicando con P la potencia y con Q la resistencia, y despreciando las resistencias pasivas, sabemos que la condición de equilibrio sería

$$P \times AC = Q \times BC$$

ó bien

$$P \times R = Q \times r$$

de donde

$$\mathbf{P : Q :: r : R}$$

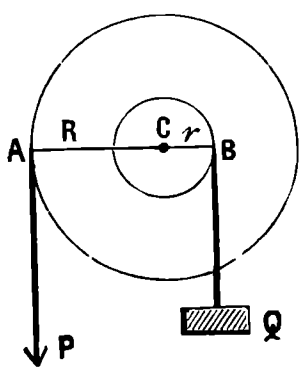


Fig. 117
Condiciones de equilibrio del torno

lo cual nos dice:

—*La potencia es á la resistencia como el radio del cilindro es al radio de la rueda.*

—Sacando el valor de P, resulta

$$P = \frac{Q \times r}{R} \qquad (1)$$

de donde se deduce que:

—*Cuanto menor sea r ó cuanto mayor sea R, tanto menor será el esfuerzo de P para obtener el equilibrio.*

Conviene, pues, en los tornos *aumentar* el radio de la rueda ó *disminuir* el radio del árbol para tener que hacer un esfuerzo *menor*, pero esto será á costa del *tiempo.*

—Es necesario tener presente que la fórmula (**1**) no es rigurosamente exacta, pues siempre será necesario desarrollar una fuerza *mayor* á causa de las *resistencias pasivas*, como ser la rigidez de la cuerda, el peso de la misma cuerda y el frotamiento en los cojinetes.

153.—Plano inclinado.—Se llama *plano inclinado* una superficie plana *que forma un ángulo agudo* con el horizonte.

El triángulo *A B C (figura 118)* representa una *sección* plana, hecha con un *plano vertical.* La línea *A C* se llama *base*, la línea *A B longitud* y la *B C altura* del plano inclinado.

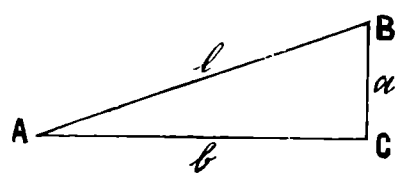


Fig. 118
Plano inclinado

—Las cuestiones que debemos estudiar respecto á esta máquina son:

« *Buscar* bajo qué condiciones un *cuerpo pesado*, colo-
« cado sobre el plano inclinado, quedaría en equilibrio y
« *en qué condiciones* puede ese mismo cuerpo *ponerse*
« *en movimiento.* »

154.—Condiciones de equilibrio.—Imaginemos un cuerpo pesado *M (fig. 119)* cuyo peso está representado por *O Q.*

Esta fuerza *Q* podemos considerarla descompuesta en otras dos, una *P paralela* al plano y otra *O S* perpendicular al mismo plano inclinado.

La fuerza *S* quedará *destruida* por la resistencia ó ri

gidez del plano inclinado y la fuerza P *será la fuerza motriz*, es decir, la fuerza que *tenderá á poner en movimiento* al cuerpo M.

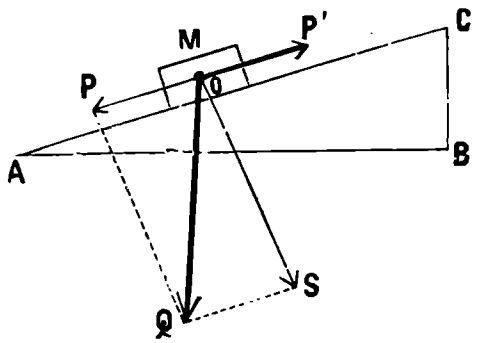


Fig 119
Plano inclinado

—Veamos ahora en qué *relación* están las fuerzas P y Q.

Los triángulos POQ y ABC son *semejantes* por tener sus lados respectivamente perpendiculares, luego nos darán

$$\frac{OP}{OQ} = \frac{BC}{AC}$$

ó bien

$$\frac{P}{Q} = \frac{a}{l} \qquad (1)$$

de donde sacamos

$$P = \frac{Q \times a}{l} \qquad (2)$$

La (**1**) nos dice:

«*La potencia es á la resistencia como la altura del plano inclinado es á su longitud.*»

La ecuación (**2**) nos dice que «será tanto menor el esfuerzo P, cuanto menor sea la *altura* ó tanto mayor la *longitud* del plano inclinado.»

—Por consiguiente vemos que *para equilibrar* el cuerpo nos bastará aplicarle una fuerza P' *igual á* P, paralela al plano y dirigida en sentido contrario.

—*Para moverlo*, es decir, para que suba por el plano inclinado debemos por consiguiente, aplicarle una fuerza *algo mayor* que P.

155.—Si la fuerza que debe conservar el cuerpo en equilibrio *debiera actuar paralelamente á la base (fig. 120)* la fuerza P' debiera ser mayor que la fuerza P.

Para determinar la intensidad de esa fuerza P' imaginemos descompuesta esa fuerza P' en otras dos, una igual y contraria á P y otra T perpendicular al plano inclinado.

Los triángulos POP' y ACB semejantes nos darán

$$\frac{OP'}{OP} = \frac{AB}{AC}$$

ó bien

$$\frac{P'}{P} = \frac{l}{b}$$

de donde

$$P' = \frac{l}{b} \times P \quad (1)$$

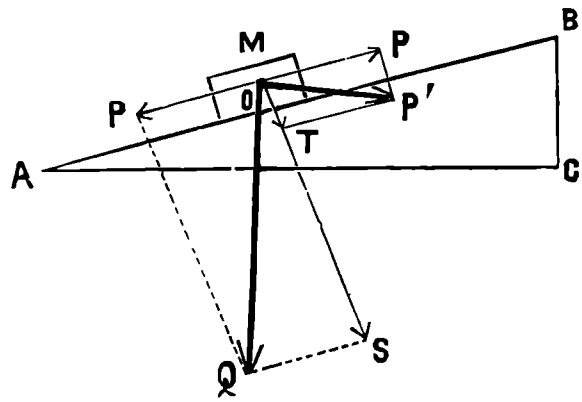


Fig. 120
Plano inclinado

pero teníamos (**154**)

$$P = Q \times \frac{a}{l}$$

luego, sustituyendo en la (**1**) saldrá

$$P' = \frac{l}{b} \times \frac{a}{l} \times Q$$

y simplificando

$$P' = \frac{a}{b} \times Q \qquad (2)$$

que se puede escribir

$$\frac{\mathbf{P'}}{\mathbf{Q}} = \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{b}} \qquad (3)$$

—La ecuación (**3**) nos dice que «*cuando la potencia obra paralelamente á la base,*» la condición de equilibrio es la siguiente: «*la potencia es á la resistencia como la altura es á la base del plano inclinado.*»

—La ecuación (**2**) nos expresa que:

Será *tanto menor* la potencia P' que necesitamos, cuanto *menor* sea la *altura* y cuanto *mayor* sea la *base*.

156.—*Puede suceder* que un peso Q colocado en un plano inclinado, deba equilibrar á otro peso Q' colocado en otro plano inclinado (*fig. 121*).

Para establecer la relación en que deben estar los dos pesos, imaginemos que los dos cuerpos están ligados por una cuerda que pasa por la polea C.

Ahora bien, la fuerza P que tiende á hacer bajar el peso Q, está expresado por (**154**)

$$P = Q \times \frac{B\,C}{A\,C}$$

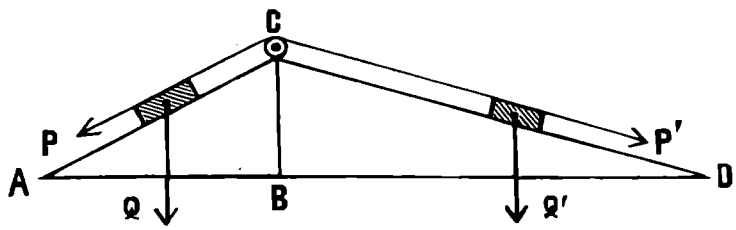


Fig. 121
Doble plano inclinado

y la fuerza que tiende á hacer bajar el peso Q' será

$$P' = Q' \times \frac{B\,C}{C\,D}$$

Pero, si los dos pesos, *quedan en equilibrio*, las fuerzas P y P' *deben ser iguales*, luego debemos tener la igualdad

$$Q \times \frac{B\,C}{A\,C} = Q' \times \frac{B\,C}{C\,D}$$

y dividiendo ambos miembros por $B\,C$, resultará

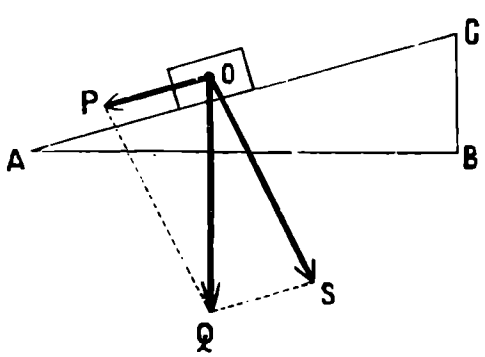


Fig. 122
Plano inclinado

$$\frac{Q}{A\,C} = \frac{Q'}{C\,D}$$

ó bien, alternando

$$\frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{Q'}} = \frac{\mathbf{A\,C}}{\mathbf{D\,C}}$$

es decir, que *para que haya equilibrio es necesario* que los pesos sean proporcionales á las longitudes de los respectivos planos inclinados.

157.—Presión sobre el plano inclinado.—Solo nos resta determinar cual será la presión que ejerce el cuerpo sobre el plano inclinado.

Si tenemos el cuerpo M sobre el plano inclinado, hemos visto que su peso Q podemos descomponerlo en dos fuerzas; una motriz P y otra S perpendicular al plano, que es la que ejercerá la *presión*.

Comparando los triángulos semejantes OSQ y ABC (*fig. 122*) tendremos

$$\frac{OS}{OQ} = \frac{AB}{AC}$$

ó bien

$$\frac{S}{Q} = \frac{b}{l}$$

de donde

$$S = \frac{b}{l} \times Q$$

expresión que nos dice que:

—«La presión S será *tanto mayor* cuanto *mayor* es la *base* y cuanto *menor* es la *longitud* del plano inclinado».

158.—Cuña. — La cuña consiste en un *prisma triangular* que se puede considerar formado por *dos planos*

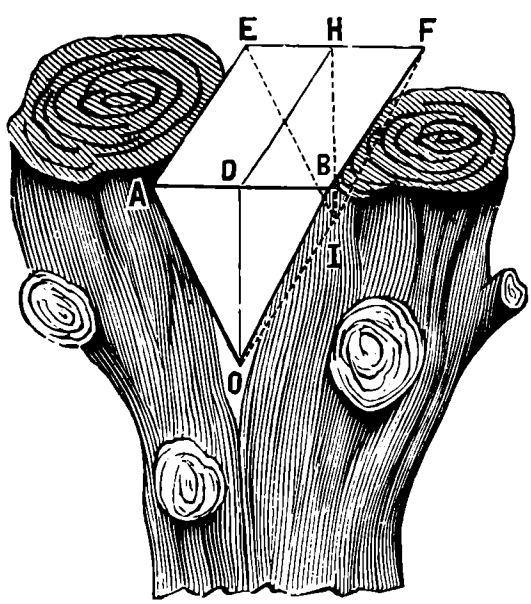


Fig. 123
Cuña

inclinados (fig. 123) y que generalmente *se usa* para separar dos cuerpos unidos entre sí ó para separar dos partes del mismo cuerpo.

La *acción* de la cuña es *semejante* á la del plano inclinado.

Sea el triángulo *A B C* (*fig. 124*), que generalmente será *isóceles*, la sección del prisma. Al lado *A B* se le dá el nombre de *cabeza* de la cuña; á los lados *A C* y *B C*, se les llama *lados* y *D C* es la *longitud* de la cuña.

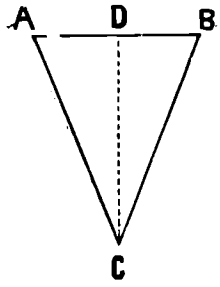


Fig. 124
Cuña

La potencia obra sobre la *cabeza* de la cuña y generalmente en la *dirección D C*.

La resistencia será la que oponen los cuerpos que se quieren comprimir ó disgregar, *resistencia que actua sobre los lados* de la cuña. Respecto á la dirección de las resistencias, pueden suceder dos casos:

1° Que las resistencias obren *perpendicularmente á los lados* de la cuña.

2° Que las resistencias sean *perpendiculares á la altura*.

159.—Condiciones de equilibrio.—*Primer caso.*—Consideremos el caso en que las fuerzas resistentes *Q* y *Q'* (*fig. 125*) sean *perpendiculares á las caras* de la cuña y que representan las resistencias á la separación de las dos partes del cuerpo.

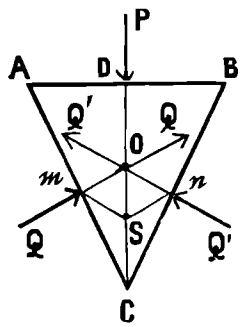


Fig. 125
Cuña

Supongamos también, que estas resistencias *estén equilibradas* por la potencia *P* aplicada en *D* en la dirección *D C*.

Estas tres fuerzas *P*, *Q* y *Q'* podemos considerarlas aplicadas en un mismo punto *O* en que se encuentran las tres direcciones. De esta suposición se deduce que para que haya equilibrio es necesario que la fuerza *P* equilibre á las fuerzas *Q* y *Q'*.

Hagamos

$$P = O\,S$$
$$Q = O\,m$$
$$Q' = O\,n$$

comparando estas igualdades resulta

$$P : Q : Q' = O\,S : O\,m : O\,n \qquad (1)$$

Pero los triángulos $O\,S\,m$ y $O\,S\,n$ son semejantes al $A\,B\,C$ por tener sus lados perpendiculares, luego sacamos

$$O\,S : O\,m : O\,n = A\,B : A\,C : B\,C$$

y sustituyendo en la (1) resulta

$$P : Q : Q' = A\,B : A\,C : B\,C \qquad (2)$$

Si suponemos que la cuña es de sección *isóceles*, se tendría

$$A\,C = B\,C$$

luego

$$Q = Q'$$

entonces la (2) se convertirá en

$$\mathbf{P : Q = A\,B : A\,C}$$

lo cual nos dice:

«Cuando *la cuña es isóceles* y las *resistencias obran perpendicularmente á sus lados la potencia es á la resistencia como el ancho de la cabeza es á la longitud del lado.*»

Esta es la *condición de equilibrio*, de donde sacamos la intensidad de la potencia

$$P = Q \times \frac{A\,B}{A\,C}$$

Fórmula que nos dice que «la potencia deberá ser tanto menor cuanto menor sea la cabeza $A\,B$ y cuanto mayor sea el lado $A\,C$ de la cuña.»

160.—*Segundo caso.*—Supóngase ahora que las resistencias obren perpendicularmente á la *longitud* de la cuña.

En este caso *(fig. 126)*, la demostración es algo más complicada, por cuyo motivo sólo daremos la fórmula que nos representa la condición de equilibrio que es

$$\frac{P}{S} = \frac{A\,B}{D\,C}$$

es decir que en este caso *la potencia es á la resistencia como la cabeza de la cuña es á su longitud.*

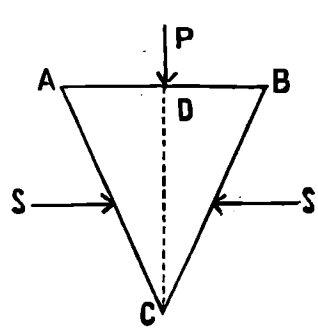


Fig. 126
Cuña

La *cuña se usa* como máquina de compresión, para hender leña y piedra, como instrumento de corte y de punta como en los cuchillos, hacha, clavos, etc.

En todos estos casos, es necesario tener en cuenta *el frotamiento* que á menudo supera varias veces á la potencia calculada; pero precisamente por ese gran frotamiento se puede aprovechar esta máquina, pues si no existiera esa fuerza, la cuña volvería á su primitivo lugar una vez que cesara de obrar la potencia

De todo lo expuesto resulta, que «la cuña será *tanto más conveniente* cuanto *menor* sea la *cabeza*», pero esto entre ciertos límites, pues podría ser nocivo limitarla demasiado.

161.—Tornillo.—Si imaginamos un rectángulo *A E H D* y lo dividimos en una série de rectángulos pequeños *A E F B*, *B F G C*....., y trazamos las diagonales *A F*, *B G* y *C H* (*fig. 127*) y en seguida damos á ese rectángulo la forma cilíndrica (*fig. 128*) se tendrá que el punto *G* se habrá reunido con *C*; *F* con *B*; y *E* con *A*, y esas diagonales habrán formado una *línea continua* trazada sobre la superficie del cilindro, línea *n p m o* que toma el nombre de ***hélice cilíndrica***.

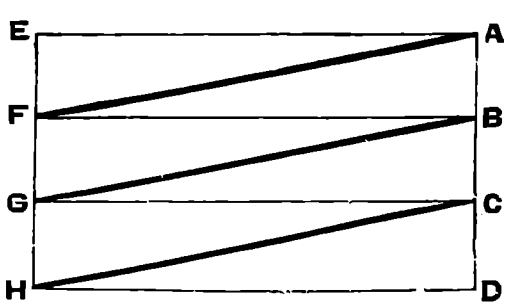


Fig. 127

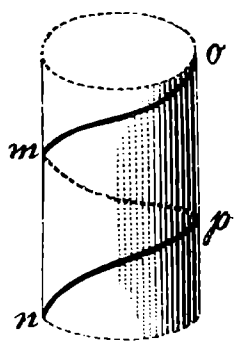


Fig. 128

Tornillo

Si ahora consideramos que según la dirección de esas

diagonales *adaptamos un cuerpo prismático M N* (*figura 129*) habremos formado un *tornillo* (*fig. 130*), llamándose *filete* á ese resalto que le hemos colocado, el cual puede ser *filete triangular*, *cuadrangular*, etc.

Fig. 129
Filete de un tornillo

Cada vuelta del filete se llama *espira* y la distancia *mn*, y *o p* entre dos espiras se llama *paso del tornillo*.

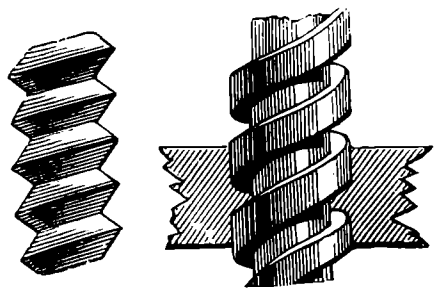


Fig. 130
Roscas

—De lo dicho se deduce que «cada espira del « tornillo constituye un « plano inclinado» cuya *longitud* es la diagonal del paralelógramo, ó bien, «cada espira es un « un plano inclinado cuya altura es el paso y cuya ba- « se es la base del rec- « tángulo ó sea la cir- « cunferencia del cilin- « dro».

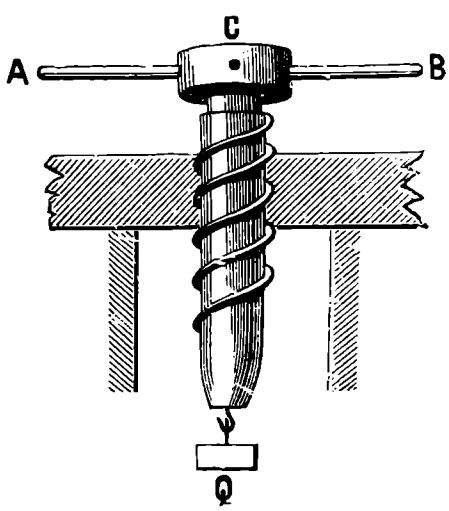


Fig. 131
Tornillo

—*Los tornillos* pueden ser *simples*, *dobles*, *triples*, etc., según el número de filetes que parten de la base del cilindro.

El *tornillo* ó *rosca*, se mueve generalmente dentro de una *cavidad* de forma análoga y que se llama *tuerca*.

Supongamos *que la tuerca esté firme* y que, *sobre el tornillo* obre una re-

sistencia en la dirección de su eje, por ejemplo un peso Q (*fig. 131*).

Es claro, que haciendo girar el tornillo, á cada vuelta completa que dé, se habrá elevado el peso, á una altura igual á su *paso.*

162.—Condición de equilibrio.—Ahora bien, como se supone que la fuerza de la *potencia obra paralelamente* á la base del cilindro, valdrá para el tornillo todo lo expuesto para el plano inclinado cuando la potencia es *paralela á la base.*

Luego subsistirá la ecuación (**152**)

$$\frac{P}{Q} = \frac{a}{b} \qquad (1)$$

siendo a la *altura* y b la *base* del plano inclinado.

En el tornillo, *la altura* es el paso h del tornillo y la *base* será la *circunferencia* cuyo radio sea el *radio medio* r es decir la distancia entre el eje del tornillo y el medio del filete.

Luego se tiene

$$a = h$$
$$b = 2\pi r$$

y sustituyendo en la (1), saldrá

$$\frac{P}{Q} = \frac{h}{2\pi r}$$

que nos dá la *condición de equilibrio* del tornillo.

—Como generalmente la potencia no obra directamente sobre el tornillo, sino por medio do una *palanca* $A\,C = R$ resultará

$$\frac{P}{Q} = \frac{h}{2\pi R}$$

de donde

$$\mathbf{P = \frac{Q \times h}{2\,\pi\,R}}$$

lo que nos dice, que para vencer una resistencia dada, con el tornillo, la *potencia necesaria será tanto menor cuanto menor sea el paso del tornillo ó cuanto mayor* sea la palanca.

Las *aplicaciones* del tornillo son innumerables. Sirve para *levantar pesos, ejercer presiones, ligar objetos,*

como motor en los navíos, como medio de medida (tornillo micrométrico), etc.

El *frotamiento* es considerable en los tornillos y eso se utiliza, sobre todo cuando se usa el tornillo para *ligar dos objetos.*

Generalmente *la potencia* necesaria para usar el tornillo se calcula como *tres veces mayor* que la que se debería aplicar si no hubiera frotamiento.

CAPÍTULO III

INSTRUMENTOS DE PRECISIÓN

163.—Balanza.—La balanza es una máquina destinada á determinar el *peso relativo* de los cuerpos, es decir, destinada á determinar el número de *gramos* que pesa un cuerpo.

Hay varias especies de balanza, la *balanza común*, la *romana*, la *báscula*, la *balanza á resorte*, etc.

Nosotros nos ocuparemos sólo de la *balanza común* (*fig. 132*).

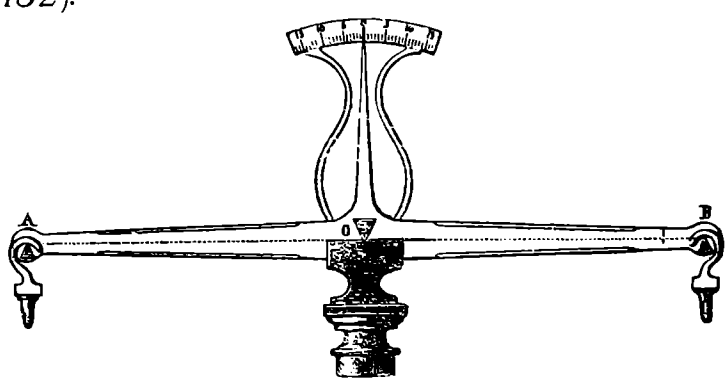


Fig. 132
Cruz y fiel de la balanza

Esta consiste en una *palanca de primer género* de *brazos iguales*, y cuyo *punto de apoyo O* está constituido por la *arista* de un *prisma triangular* de acero que descansa sobre dos chapas de *ágata* y que está colocada en el *centro* de la palanca.

En los extremos de la palanca están suspendidos dos *platillos*, en uno de los cuales se coloca el *cuerpo* que se quiere pesar y en el otro *las pesas*.

La palanca de la *balanza* toma el nombre de *cruz;* el *prisma triangular* que constituye el apoyo, y los otros prismas triangulares *A* y *B* que constituyen el apoyo de los platillos se denominan *cuchillos* y una aguja colocada *perpendicularmente* sobre la palanca, en su centro, y que puede recorrer un arco se denomina *fiel* ó *juez*, pues su excursión sobre el arco nos indica si los pesos se equilibran.

Los prismas triangulares, tienen por objeto que la cruz en vez de apoyarse sobre una *superficie* se apoye sobre una *línea* y por consiguiente haya disminución de frotamientos lo que hace más *sensibles* las balanzas.

—Para hacer una pesada ó pesar un cuerpo, se coloca dicho cuerpo en un platillo y se colocan en el otro platillo pesos contrastados, hasta que la *cruz* quede horizontal, lo que se comprueba cuando el *fiel* queda vertical.

En seguida se cuenta el número de *gramos* que han debido colocarse para obtener el equilibrio y ese será el peso del cuerpo.

Este peso será *cierto*, si la balanza es *precisa* y *sensible*.

—La balanza será *precisa*, cuando la balanza abandonada á sí misma ó colocando pesos iguales en los platillos, *la cruz queda horizontal*.

—Será sensible, cuando agregando un *pequeño peso* á uno ú otro platillo, inmediatamente la balanza *se inclina*.

164.—Condiciones de precisión.—Las condiciones de precisión de una balanza común son:

1° Los brazos de la cruz deben ser perfectamente iguales.

2° El centro de gravedad de la balanza vacía debe estar debajo del punto de apoyo.

—La *primera condición* es evidente, puesto que para que haya equilibrio entre dos *pesos iguales* colocados en los platillos, es necesario que *los brazos* de la cruz sean *iguales*.

Efectivamente esos pesos colocados á los extremos de la cruz equivalen á *dos fuerzas iguales y paralelas* aplicadas á los extremos de una palanca de primer género y sabemos (**114**) que *para que haya equilibrio es necesario* que *los brazos* de palanca *sean iguales*.

—La *segunda condición* también es fácil explicarla, pues desde que *suponemos la balanza en equilibrio*, resulta que *la vertical del centro de gravedad debe pasar por el punto de sustentación*.

Ahora bien; ¿dónde estará el centro de gravedad? ¿arriba, abajo ó en el punto de apoyo?

Arriba no puede estar, pues la balanza estará en *equilibrio inestable* (**135**) y bastará cualquier conmoción para que la balanza se incline á uno ú otro lado sin que pueda volver á su posición de equilibrio. En este caso se tiene lo que se llama *balanza loca*.

Si el punto de suspensión *está en el centro de gravedad* tampoco servirá la balanza, pues la cruz estará en *equilibrio indiferente* (**135**) y por consiguiente cualquiera que sea la posición que se le dé á la cruz, siempre quedará en equilibrio.

Entonces, si el centro de gravedad no puede estar *sobre* ó *en* el punto de apoyo tendrá forzosamente que estar *debajo*.

165.—Peso justo con balanza no precisa.—Puede hallarse exactamente el peso de un cuerpo cuando la balanza no es precisa por medio de dos métodos; el de las *dobles pesadas* y el del *peso medio*.

—El método de las *dobles pesadas* consiste en colocar el cuerpo en uno de los platillos *M* de la balanza (*fig. 133*) y en el platillo *N*, colocar arena ó granalla de plomo hasta obtener el equilibrio.

En seguida se retira el cuerpo del platillo *M* y se colocan en él *pesos*, hasta que se restablezca el equilibrio con la arena que está en *N*.

Los pesos que hemos debido colocar en el platillo *M* representan el *peso del cuerpo*.

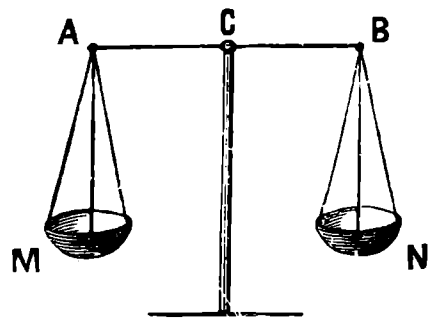


Fig. 133
Balanza

166.—El *otro método* consiste en colocar el cuerpo en el platillo *M* y pesos contrastados en el platillo *N*.

Llamemos *x el verdadero* peso del cuerpo y supongamos que en el platillo *N* colocamos 40 kilógramos:

Entonces según lo visto tendremos

$$x \times AC = 40 \times BC \qquad (1)$$

Invirtamos ahora y *coloquemos el cuerpo en el platillo N* y pesos en *M* hasta que se obtenga el equilibrio y supongamos que hemos debido colocar 42 kilógramos, y como el *verdadero peso x* será siempre el mismo, resultará

$$x \times BC = 42 \times AC \qquad (2)$$

multiplicando miembro á miembro las dos ecuaciones (1) y (2) resultará

$$x^2 \times AC \times BC = 40 \times 42 \times BC \times AC$$

y dividiendo por $AC \times BC$, *resultará*

$$x^2 = 40 \times 42$$

de donde

$$x = \sqrt{40 \times 42} = \mathbf{40{,}90\ kg.}$$

Es decir, pues, que para hallar el *verdadero peso se pesa el cuerpo en un platillo; se vuelve á pesar en el otro y se extrae la raíz cuadrada del producto de las dos pesadas.*

Vemos por consiguiente, que el *peso verdadero, es medio proporcional entre las dos pesadas.*

—Algunos, aceptando una aproximación, determinan el peso tomando la *medida aritmética de las dos pesadas,* es decir que toman

$$x = \frac{40 + 42}{2} = 41$$

167. —Condiciones de sensibilidad.—Hemos dicho que una balanza es *sensible* cuando acusa las más *mínimas diferencias* de peso. Cuando una balanza no es sensible se la llama *sorda* ó *perezosa.*

Las condiciones de sensibilidad son:

1º Cruz larga.

2º Cruz liviana pero inflexible.

3º Centro de suspensión de la cruz en el mismo plano que los puntos de suspensión de los platillos.

4º Centro de gravedad de la cruz colocado debajo del punto de suspensión pero lo más cerca posible de él.

Pasemos á justificar cada una de estas condiciones.

168.—Primera condición.—La condición de que los *brazos de la cruz* deben ser largos, se hace evidente si recordamos que *el momento de rotación de una fuerza es proporcional á su brazo de palanca* y como la fuerza es *muy pequeña*, pues se trata en este caso de *pequeñas diferencias* de peso, resulta que para que la inclinación sea *sensible* es necesario que el brazo *sea largo.*

Segunda condición.—*Que la cruz debe ser liviana*, se comprende, pues si es muy pesada ejerce *mucha pre-*

sión sobre el punto de suspensión, aumentando por consiguiente el frotamiento que es una de las causas de la *pereza* de las balanzas.

Tercera condición.—Si los tres puntos de suspensión ó las tres aristas de los cuchillos no están en un mismo plano, resultará que los estremos de la palanca y el punto de apoyo de la misma *no están en línea recta*, luego al inclinarse la cruz, *los brazos de palanca de la potencia y la resistencia ya no permanecerán iguales*, sino que uno se acortará más que otro, luego en la inclinación de la balanza no solo influirá la *diferencia de peso*, sino que influirá también los distintos brazos de palanca de la *palanca acodada*.

Cuarta condición.—Que el centro de gravedad debe estar *lo más cerca* posible del punto de aplicación se comprende también, pues si el centro de gravedad estuviera muy abajo, se tendría que cuando la balanza se inclinase hacia uno ú otro lado, el centro de gravedad se desplazaría lateralmente y entonces el *momento del peso de la cruz ya no sería despreciable* y el peso determinado ya no sería exacto.

169 —Dijimos en la segunda condición que era necesario que la cruz fuera *inflexible*.

Eso es evidente, pues *si fuera flexible*, al cargar los platillos, *bajaría* el centro de gravedad y la balanza ya no sería tan sensible.

Por este mismo motivo cuando se opera con balanzas *sensibles*, es necesario no recargarlas con demasiado peso, por cuya razón cada balanza tiene un *límite de carga*, que es la que se le puede hacer soportar, sin que se disminuya su sensibilidad.

Todas las condiciones que hemos hablado, se han realizado en la balanza de *Ruprecht* construída para el laboratorio de Física de la Sorbona.

170.—Balanza de precisión de Ruprecht. — La balanza de precisión de *Ruprecht* que es una de las mejores, está formada por una columna vertical (*fig. 134*) terminada en la parte superior por dos discos de *ágata*, cuya superficie está en un mismo plano horizontal y sobre los cuales se apoya la *arista viva* de un prisma triangular de acero templado, que atraviesa el centro de la *cruz*.

Esta tiene la forma de un *rombo* alargado *FF'* de bronce dorado, habiéndose adoptado esta forma para que la cruz reuna las condiciones de poder ser *larga* con un *mínimum de peso* y de *flexibilidad*.

En las extremidades de la *cruz* hay otros *dos cuchillos* ó prismas triangulares, con la arista viva vuelta hacia arriba y sobre los cuales se apoyan los discos de ágata que soportan los platillos.

Las aristas vivas de los dos cuchillos de los extremos y del cuchillo central, deben ser paralelas y estar en un mismo plano para conseguir lo cual, los cuchillos de suspensión pueden moverse por el auxilio de varios tornillos.

Cuando la balanza no funciona se levantan de sus puntos de apoyo tanto la cruz como los platillos, con el objeto de que con la presión no se desgasten las aristas de los prismas y esto se consigue por medio de una pieza accesoria *T T'* llamada *horquilla*, la cual por medio de la presión del tornillo colocado á la izquierda de la figura sobre la pera de goma *S*, lleva hacia arriba *separadamente* los dos platillos y la cuchilla.

Con el objeto de que el *fiel* acuse las más mínimas inclinaciones de la cruz, es necesario darle á la aguja la mayor longitud posible, lo que se consigue colocando el arco dividido en la parte inferior de la columna *A B* y dirigiendo hacia abajo la aguja.

Como la más mínima diferencia de peso hará inclinar la cruz y como la suspensión es tan delicada, sucederá que cuando los pesos son iguales, el *fiel oscilará* á uno y otro lado del *cero* y como demorará un cierto tiempo

antes de que se pare, se podrá considerar como *buena* la pesada, cuando la aguja recorre un mismo número de grados, á uno y otro lado del *cero*. Con el objeto de evi-

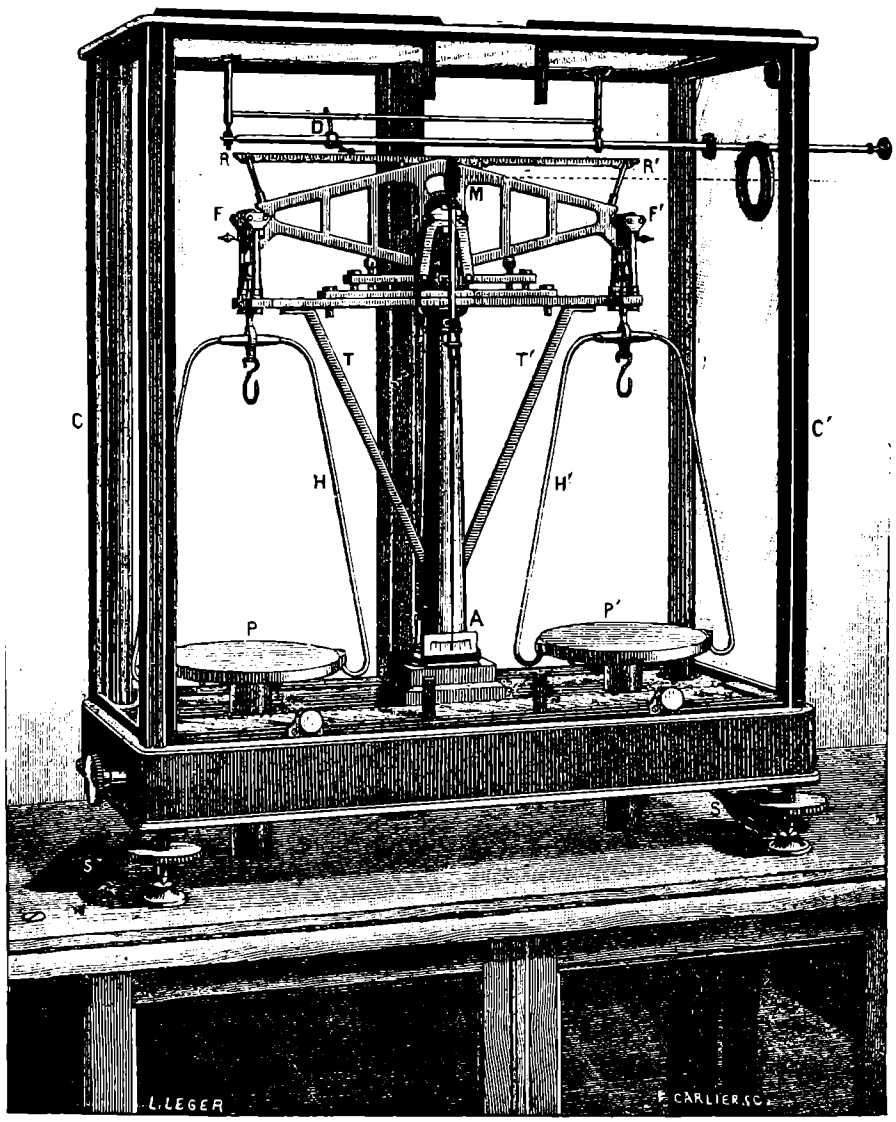


Fig. 134
Balanza de Ruprecht

tar las bruscas oscilaciones de los platillos, se tienen dos peras de caucho *S* y *S'* que pueden insuflar aire debajo del platillo que cae.

—Para hacer más visible cualquiera oscilación de la cruz, hay un espejo *M* fijado sobre el cuchillo y sirve para enviar á una mira lejana un rayo de luz reflejado y con esto se aumenta la precisión de la lectura para apreciar las pequeñas inclinaciones de la cruz.

—Para evitar la acción de las corrientes del aire se encierra toda la balanza dentro de una caja de vidrio, separándose una de sus paredes cada vez que se quiere operar.

—Para evitar que el *vapor de agua* que contiene el aire pueda atacar las piezas metálicas que forman la balanza, se *introduce* dentro de la caja de vidrio un platillo ó recipiente con *cal viva ó ácido sulfúrico.*

—Dentro de la caja de vidrio se suele colocar un *termómetro* para determinar la temperatura al hacer la pesada.

—Las pesas contrastadas son de platino y se manejan por medio de pinzas.

Cuando se quiere una gran aproximación se suelen usar unos *caballetes* de metal que se enhorquetan sobre el brazo *R R'* de la cruz, por medio de la varilla que atraviesa la cara lateral derecha.

El brazo *R R'* está graduado y según se coloque el *caballete* más ó menos cerca de las extremidades, así también acusará un peso mayor ó menor.

Esta es la balanza comunmente usada en los gabinetes de *física* y *química*, pero es necesario no pasar nunca su *límite de carga.*

La balanza de *Ruprecht* puede pesar hasta 5 kilógramos con una aproximación de *un décimo* de milígramo, es decir, 0gr.0001.

171. — Nonius ó Vernier. — El *Vernier* consiste en una *pequeña reglilla*, dividida de una manera particular que se adapta sobre otra que está dividida según los múltiplos y submúltiplos de la unidad de medida lineal que se quiere adoptar.

El *Vernier es movible* y por medio de una disposición particular, puede resbalar sobre la regla principal.

Se emplea para medir pequeñas longitudes ó mejor dicho para *aproximar* á la verdad ó *complementar* la medida acusada por la regla métrica y que *directamente* no puede dar más que aproximaciones no pequeñas.

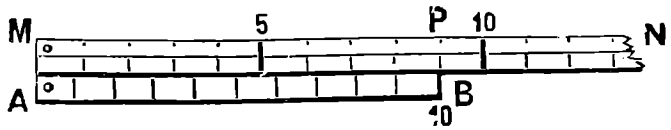


Fig. 135
Nonius ó Vernier

Con el *Vernier* se puede medir dimensiones lineales tan pequeñas como se quiera.

—Supongamos tener una regla *M N* dividida de *milímetro* en *milímetro* (*fig. 135*) y que queremos apreciar los *décimos de milímetro.*

Para conseguirlo tomemos una dimensión *M P = 9 milímetros* y apliquemos contra la regla *M N* otra reglilla *A B* cuya longitud sea igual á *M P.*

Si ahora dividimos la reglilla *A B* en *10 partes iguales*, resultará que cada división de la regla *A B* será 1/10 *menor* que cada división de la regla *M N*, es decir, que la diferencia entre una y otra división será la de *un décimo de milímetro.*

Fig. 136
Nonius ó Vernier

Si análogamente hubiéramos tomado 19 divisiones de la regla principal y dividiéramos ese espacio en *20 partes* iguales, tendríamos la aproximación de un *vigésimo de milímetro.*

—Para operar con este instrumento, supongamos querer determinar la longitud de un cuerpo *A C* (*fig. 136*)

Hagamos coincidir el extremo *C* del cuerpo con el extremo *M* de la regla principal y en seguida hagamos resbalar el Vernier hasta que coincida con el otro extremo *A* del cuerpo.

Suponiendo que la regla principal esté dividida de *centímetro* en *centímetro*, se observará que dicho cuerpo tiene de longitud *dos centímetros, más una cierta fracción*, para hallar la cual nos bastará observar *cual división del Vernier coincide* con una cualquiera *de la regla*.

En la figura se ve que coincide la *quinta división*, luego la longitud del cuerpo será

$$l = 2 \text{ centím.} + \frac{5}{10} = 2 \text{ cent.} + 5 \text{ milím.}$$

ó bien

$$l = 0^{m},025$$

El Vernier es contínuamente usado en varios instrumentos de física, como en el *barómetro*, el *catetómetro*, la *máquina de dividir*, etc.

172.—Este principio puede aplicarse también en los *Círculos graduados*, para las medidas angulares, en cuyo caso el Vernier suele llamarse con más propiedad *nonius*.

Cuando se aplica á los círculos graduados, la reglilla se halla sustituida por un pequeño arco concéntrico con el círculo graduado.

Si el círculo graduado está dividido *de medio en medio grado*, es decir de 30' en 30' y queremos hallar la aproximación de 1', nos bastará tomar 29 divisiones del círculo y dividirlo en 30 partes iguales.

Entonces el *nonius* nos dará la aproximación de 1/30 de cada división del círculo, es decir, nos dará la apro-

ximación de 1' puesto que cada división del círculo es de 30'.

173.— Tornillo micrométrico. — El tornillo micrométrico es un instrumento destinado á medir pequeños espesores y pequeños desplazamientos.

Consiste en un tornillo de *paso* muy pequeño, generalmente de 1/2 *milímetro* y que *se mueve* en una tuerca *fija*.

La cabeza está formada por un disco circular, dividido en un cierto número de partes (*fig. 137*).

Si suponemos que la cabeza *da una vuelta entera*, resultará que la extremidad del tornillo habrá avanzado de *un paso* igual á 1/2 milímetro ó sea 0m,0005.

Si el tornillo hubiera dado sólo una *media* vuelta, se tendría que la punta del tornillo habría avanzado *la mitad* de medio milímetro.

Si ahora consideramos que la cabeza está dividida en 100 partes iguales y hacemos girar el tornillo de *una sola división*, resultará que la extremidad del tornillo habrá avanzado *un centésimo* de medio milímetro, es decir, 0m,000005.

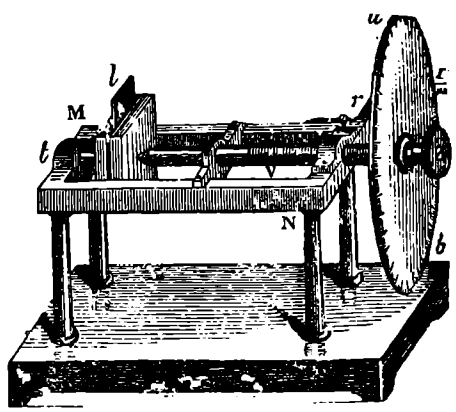


Fig. 137
Tornillo micrométrico

Vemos, pues, que *si extremamos las divisiones* del disco circular que constituye la cabeza del tornillo, podrá apreciarse dimensiones que la mente casi no concibe.

El tornillo micrométrico *se aplica* en las máquinas de dividir, en el esferómetro y en muchos instrumentos astronómicos.

174.— Esferómetro.—El *esferómetro* es un aparato destinado á determinar el *espesor* de objetos pequeños, como una lámina de vidrio, de oro, etc., y el *rádio de curvatura* de las superficies esféricas, como las de los lentes.

Consiste en un *tornillo micrométrico* (*fig. 138*) cuya tuerca está sostenida por tres pies que determinan los vértices de un triángulo equilátero.

Sobre uno de los pies del instrumento, está fijado un cuchillo graduado de *medio* en *medio* milímetro, igual al *paso* del tornillo.

La cabeza del tornillo micrométrico está dividida en 500 partes; de modo, pues, que el instrumento puede apreciar espesores iguales á 1/2 × 1/500 de milímetro, es decir, 1/1000 de *milímetro* ó bien 0m,000001. Supongamos querer *determinar el espesor* de una una lámina de oro.

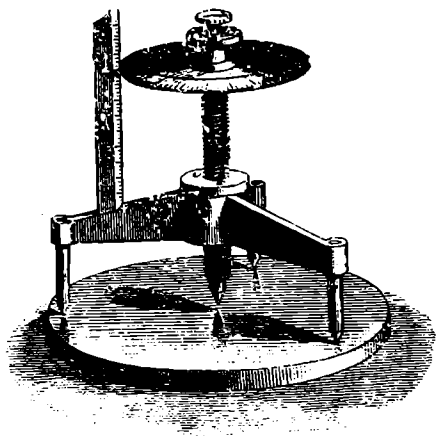


Fig. 138
Esferómetro

Se baja el tornillo micrométrico hasta que toque con su extremidad en la superficie del disco de vidrio que le sirve de apoyo. Si la operación está bien hecha, los cuatro puntos, es decir, la punta del tornillo y los tres pies estarán sobre el mismo plano del disco de vidrio, lo cual se notará moviendo suavemente el aparato. Si alguno de los cuatro puntos no está en contacto se oirá un pequeño golpecito sobre el vidrio.

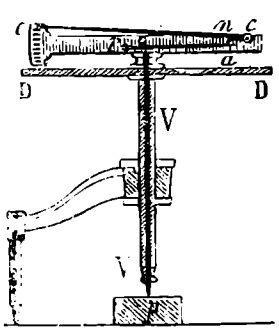


Fig. 139
Esferómetro

Como esta operación presenta sus dificultades, *M. Perreaux* la ha salvado (*fig. 139*) haciendo hueco al tornillo é introduciendo en su interior una varilla *p o* cuya extremidad *p* constituye el extremo del tornillo. Si el extremo *p* no está en el mismo plano que los tres pies del instrumento, la varilla *p o* penetra en el tornillo y entonces el extremo de la varilla *o* empuja un juego de dos palancas cuyo movimiento se pondrá de manifiesto por

el movimiento de una aguja *c n e* que recorre un arco graduado.

—Una vez apoyado el tornillo sobre el vidrio, se anotará la división del cuchillo y se leerá sobre el tornillo micrométrico la división que coincide con el filo del cuchillo.

—Supongamos que en el cuchillo anotamos la división *12* y en el tornillo la división *124*.

Se sube el tornillo y se coloca debajo de él la lámina de oro que se quiere medir y se vuelve á bajar el tornillo hasta que su extremidad toque la lámina de oro.

Léanse nuevamente las dos graduaciones y supongamos anotar 21 divisiones en el cuchillo y 359 en el tornillo. Entonces *el espesor de la lámina* estará dado por la diferencia de estas lecturas y las primeras.

Sería

$$E = (21 - 12)\, c + (359 - 124)\, t$$

ó bien

$$E = 9\, c + 235\, t \qquad (1)$$

Pero las *nueve* divisiones del cuchillo equivalen á *nueve* pasos, es decir:

$$9\, c = 9 \times 1/2^{mm} = 4^{mm},5 \qquad (2)$$

y también

$$235\, t = \frac{235}{500} \text{ de } \frac{1}{2} \textit{ milím.} = \frac{235}{500} \times \frac{1}{2} = \frac{235}{1000}$$

ó bien

$$235\, t = 0,^{mm}235 \qquad (3)$$

y sustituyendo los valores (2) y (3) en el (1) resultará

$$E = 4,^{mm}5 + 0^{mm},235 = 4^{mm},735$$

175.—Si se quiere *determinar el rádio de una superficie esférica*, colocaremos el esferómetro sobre la esfera de modo que apoyen los tres pies *A B C* y el extremo *O'* del tornillo *(fig. 140)*.

Como los tres pies A, B, C determinan un plano $H S X T$, se lleva el esferómetro sobre el disco de cristal y se mide *qué cantidad debe bajarse* para que el extremo del tornillo esté en el mismo plano que los pies.

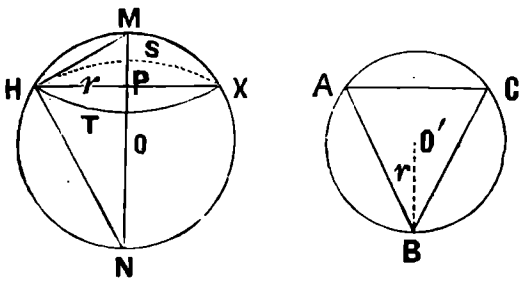


Fig. 140
Determinación del radio de una esfera

Esta cantidad está representada en la figura por $M P$.

El círculo $H S X T$ tendrá un radio $H P = O' B$, radio del círculo circunscrito al triángulo $A B C$ de los pies del instrumento dado por la fábrica, luego tenemos:

$$H P = O' B = r$$

—El triángulo $M H N$ que es rectángulo en H nos da

$$H P^2 = N P \times M P \qquad (1)$$

pero llamando R al radio de la esfera y a á la distancia dada por el esferómetro $M P$, resultará que

$$H P = r; M P = a; N P = 2 R - a$$

y sustituyendo en la (1)

$$r^2 = (2 R - a) \times a$$

ó bien

$$r^2 = 2 a R - a^2$$

ó también

$$2 a R = r^2 + a^2$$

y finalmente

$$R = \frac{r^2 + a^2}{2 a}$$

fórmula que nos da el valor del radio de la esfera en función de cantidades conocidas.

176.—Máquina de dividir.—La máquina de dividir es una máquina destinada á dividir con exactitud las reglas que se usan como escalas de los instrumentos de precisión, etc.

Consiste en un tornillo micrométrico V, (*fig. 141*) que no puede avanzar y cuyo movimiento de rotación produce el movimiento de una tuerca móvil e, en el sentido del eje del tornillo.

Fig. 141
Máquina de dividir

Esta tuerca e arrastra consigo una regla rigida metálica $r\,r'$ que lleva consigo un buril n que está fijo á una palanca móvil $n\,o$.

Este buril n es el que practica las divisiones sobre el tubo varilla ó lámina que se coloca sobre los soportes $t\,t'$.

Como se conoce el paso del tornillo micrométrico, nos será fácil operar con esta máquina.

—Esta máquina es la más sencilla. *Duboscq* la perfeccionó y más aún *Froment*, con lo cual ha podido este último trazar 1000 divisiones en un milímetro y siendo la máquina movida por un motor eléctrico.

Por una disposición particular han conseguido :

1°. Que el buril quede fijo, siendo la pieza que se quiere dividir la que se mueve.

2°. El tornillo por si sólo se detiene cuando el buril debe trazar la división.

3°. El buril por si solo marca lineas más ó menos largas cuando las divisiones corresponden á los números 5 ó 10 ó sus múltiplos.

177.—Catetómetro.—Este aparato está destinado á determinar la *diferencia de nivel entre dos puntos*, con una gran aproximación.

Es de contínua aplicación en los gabinetes de física y una de las máquinas de precisión más útiles.

Consiste en una regla rígida de bronce R, dividida de milímetro en milímetro, la cual está fija á un cilindro metálico $c\,d$, hueco y que puede girar alrededor de un eje que es vertical cuando la plataforma que constituye el pie del instrumento está horizontal, lo que se obtiene por medio de los tornillos a, a y por dos niveles $p\,p$.

Sobre la regla *R R* puede resbalar un anteojo *l l* que está fijado á dos abrazaderas *m, n* cuyo frente se ve en la figura 142.

Para operar con este instrumento se estaciona en un punto firme y se hace que el cilindro *c d* sea vertical, haciendo uso de los niveles *p, p* y tornillos *a, a.*

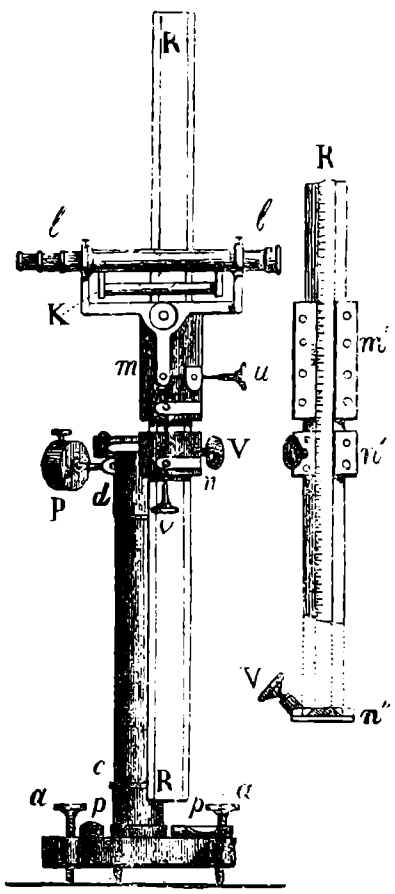


Fig. 142
Catetómetro

En seguida se mueve la regla hasta tanto que el eje del anteojo esté en dirección á uno de los puntos cuya diferencia de nivel se quiere determinar y se sube ó se baja rápidamente el anteojo, haciéndolo resbalar á lo largo de la regla, hasta que mirando por el anteojo se vea el punto que se quiere observar, y se fija el anteojo por medio del *tornillo de presión* V.

En seguida, moviendo el tornillo *u* se hace que la burbuja del nivel *K* quede perfectamente centrada, en cuyo caso el anteojo *estará horizontal.*

Para que la intercepción de los hilos del retículo coincida con el punto, se hace mover verticalmente el anteojo, por medio del *tornillo de precisión v.*

Se lee en que división el *cero* del nonius *m'* coincide con la regla.

Se afloja el tornillo de presión *V* y se vuelve á hacer resbalar el anteojo á lo largo de la regla hasta que se

vea el segundo punto que se quiera observar, repitiéndose con este punto las mismas operaciones que con el primero.

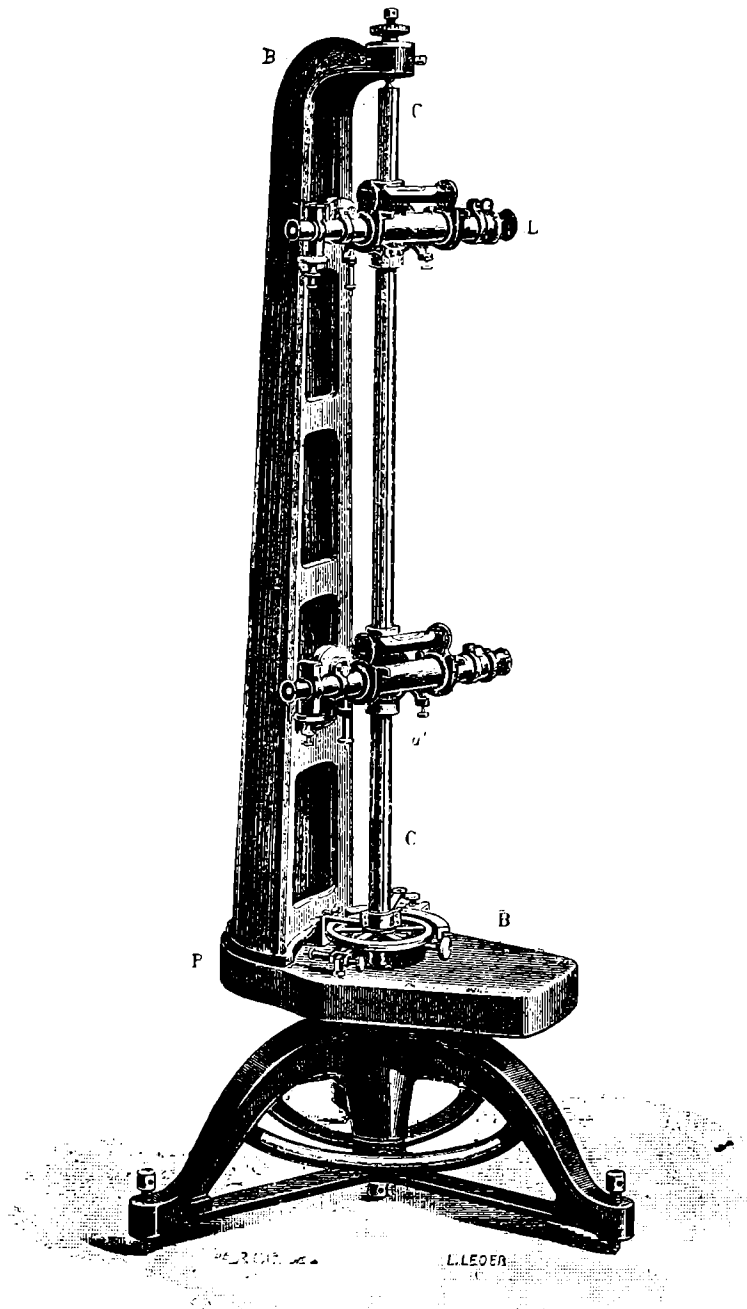


Fig. 143
Catetómetro á dos anteojos

Se vuelve á leer el nonius y la *diferencia* de las dos lecturas dará la *diferencia* de nivel entre los dos puntos.

178.—Hoy se construyen catetómetros á dos anteojos (*fig. 143*) y á regla dividida independiente.

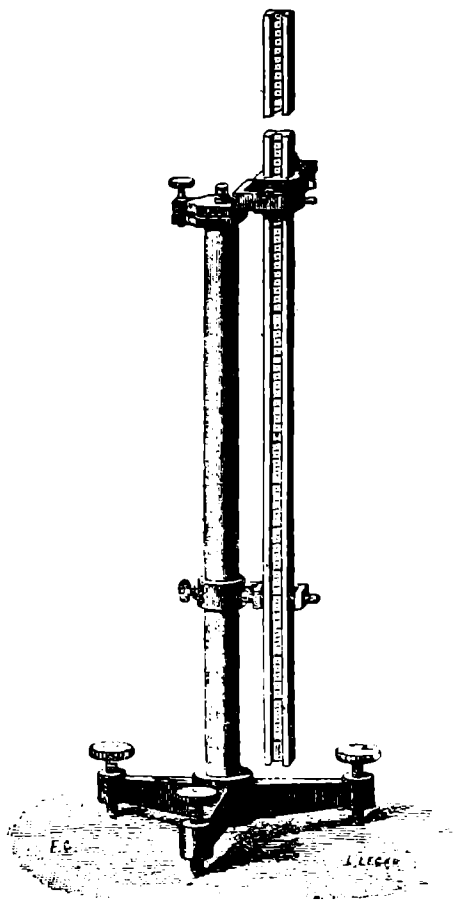


Fig. 144
Regla graduada para el catetómetro

Para operar con este *anteojo* basta dirigir la visual con cada *anteojo* á cada uno de los puntos cuya diferencia de nivel se quiere medir y una vez hecho eso, se dirigen las visuales de esos anteojos á una regla independiente (*fig. 144*), que se ha colocado bien vertical como si fuera un Catetómetro.

La *diferencia* de lecturas nos dará la *diferencia* de nivel.

CAPÍTULO IV

CAIDA DE LOS CUERPOS

179.—Caida de los cuerpos.—Dijimos anteriormente que los fenómenos de la gravedad *eran debidos* á la atracción de la tierra, por consiguiente, la gravedad debe *manifestarse* como una fuerza *constante en magnitud y dirección.*

Que es *constante en dirección*, ya lo hemos probado al hablar de la *plomada.* Luego, *debemos probar* que es *constante en magnitud* y que es la misma sea cual fuere la substancia del cuerpo.

180.—Influencia del aire.—A primera vista *parece* que la magnitud de la fuerza de la gravedad *es diferente* de un cuerpo á otro, pues si dejamos caer simultáneamente varios cuerpos como *una bala de plomo, una pluma de ave, un pedazo de papel,* etc., observamos que caen estos cuerpos con diferente *velocidad,* pues llega al suelo: 1º la bala, 2º la pluma y 3º el trozo de papel.

¿Si la intensidad de la gravedad fuera *la misma* no deberían caer todos los cuerpos con la misma velocidad?

Sí, siempre que no hubiera una fuerza extraña ó pasiva, cuya magnitud varía de substancia á substancia.

Esta fuerza es *la resistencia del aire.*

—Esta resistencia del aire la comprobó *Galileo* con el siguiente experimento:

Tomó *diferentes* cuerpos y dió *á todos* ellos una for-

ma esférica del *mismo diámetro* y los dejó caer desde una ventana de la *torre inclinada de Pisa*, y observó que *todos ellos* empleaban aproximadamente el mismo tiempo en llegar al suelo.

En cambio, si á las substancias ó cuerpos diferentes, les dejaba la *forma* que les es propia ó *formas* distintas, los cuerpos tardaban en llegar al suelo, tiempos varios.

181.—Martillo de agua.—La influencia del aire se hace muy sensible en los *líquidos*.

Efectivamente, si nosotros volcamos un vaso con agua, ésta no caerá formando un solo cuerpo, sino que se *subdividirá* y caerá en forma de gotas, tanto más pequeñas cuanto mayor sea la altura de donde la volcamos y esto es debido, á que el aire se interpone entre sus partes y las divide, cosa que puede hacer con facilidad por la poca cohesión que tienen las moléculas de los líquidos.

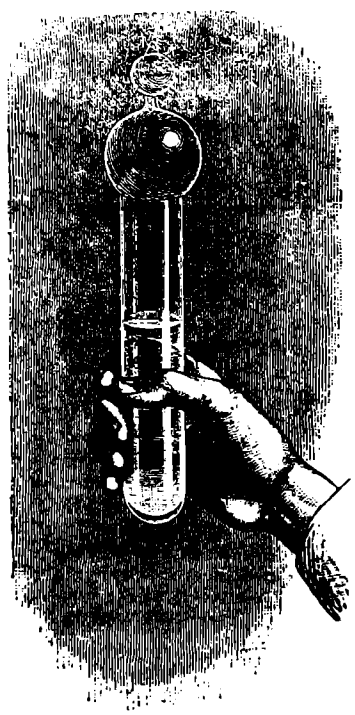


Fig. 145
Martillo de agua

Si el líquido *cayera en el vacío*, toda la masa líquida caería como si fuera sólida.

Para comprobarlo se hace uso de un aparatito muy sencillo llamado *Martillo de agua* (*fig. 145*), que consiste en un tubo de vidrio terminando por una esfera y dentro del cual se ha hecho el *vacío*, á cuyo efecto se hizo hervir el agua que contiene, de manera que el vapor de agua expulsará todo el aire interior. Se

cerró por medio de la lámpara de alcohol la extremidad del *tubo* y quedó en el interior del *tubo sólo* agua y su vapor que se condensó.

Preparado así el aparato, si se vuelca bruscamente, se verá que el agua cae formando una sola masa, lo cual se comprueba también por el *ruido seco* que produce al chocar contra el fondo del tubo.

Hace el mismo efecto que si el cuerpo que choca con el fondo del tubo, fuera un cuerpo metálico.

182.—Experimento de Prevost.—*Prevost* indicó otro experimento que es ingenioso y convincente.

Tomó un *disco de metal* como una moneda y diferentes substancias como *cera*, *papel*, etc., y las dejó caer desde la misma altura y observó, como ya se ha dicho, que llegaba al suelo 1º el disco, 2º la cera, 3º el papel, etc.

En seguida colocó el trozo de cera, el trozo de papel, etcétera, sobre el disco de metal *de manera que* ninguno de ellos sobrepasara de los bordes del disco, y dejándolo caer desde cualquier altura, notó que *todos ellos llegaban juntos* al suelo, porque la resistencia del aire *no pudo* obrar sobre los cuerpos que estaban encima del disco.

183.—Leyes de la caída de los cuerpos.—De los experimentos anteriores se deduce que las *leyes* de la caída de los cuerpos deben estudiarse suponiendo que los cuerpos caen en el vacío.

Dichas leyes son las siguientes:

1ª *Todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío.*

2ª *La velocidad adquirida por un cuerpo al caer en el vacío es proporcional al tiempo transcurrido desde que empezó la caída.*

3ª *Los espacios recorridos por un cuerpo que cae en el vacío son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.*

184.—Primera Ley.—Para demostrar la primera ley, nos valdremos de un aparato atribuído á *Newton* y que lleva el nombre de *Tubo de Newton.*

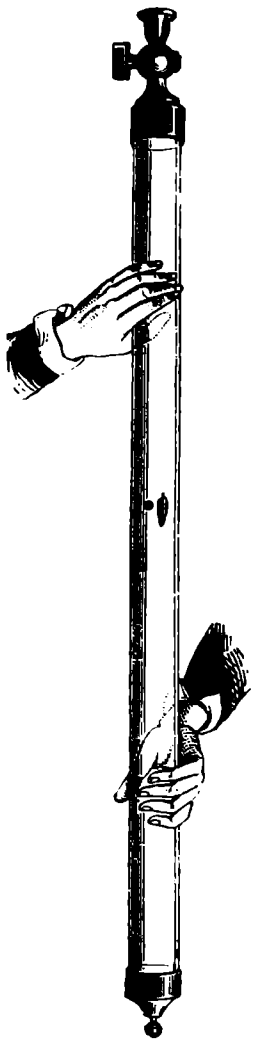


Fig. 146
Tubo de Newton

Este consiste (*fig. 146*) en un tubo de vidrio de 2 á 3 metros de largo, terminado en sus extremidades, por dos sombreros metálicos, teniendo uno de ellos un robinete que se puede atornillar sobre la platina de la *máquina pneumática* y terminando el otro extremo, por una disposición especial que permite sostener varios pequeños cuerpos, y dejarlos caer en un momento dado.

Para operar con este aparato se introducen en su interior varios cuerpos, por ejemplo *hierro, corcho* y *papel.* Si se dejan caer esos cuerpos en un momento dado, se verá que el hierro, llega primero al fondo del tubo, el corcho en seguida y finalmente el papel.

Coloquemos en seguida el tubo sobre la platina de la máquina pneumática, después de haber introducido en el tubo los tres cuerpos indicados y *hagamos el vacío.*

Si se vuelve á dejar caer los cuerpos, *se verá que los tres* llegan *al mismo tiempo* al fondo, lo cual nos comprueba la 1ª ley.

185.—Segunda y Tercera Ley. – Para demostrar estas dos leyes ha sido necesario valerse de artificios, pues no era posible que el operador siguiera el movimiento de un cuerpo que cae durante un cierto tiempo más ó menos largo. Tuvo que idearse el medio de conseguir *disminución de la velocidad* de la caida *sin que* el fenómeno quedara modificado.

Los aparatos empleados son la *Máquina de Atwood,* la *Máquina de trazo continuo de Morin,* el *Plano de Galileo* y la *Máquina de Rabbs,* cuya aplicación indicaremos de una manera general.

186. — Máquinas de Atwood. —La máquina de Atwood consiste en una polea fija y muy liviana en cuya garganta pasa un hilo de seda de muy pequeño peso, y que lleva en sus extremidades *(fig. 147)*, dos masas iguales m y m'.

Si se abandonan esas masas, ellas quedarán en equilibrio, ya estén á la misma altura ó ya estén á alturas diferentes como en la figura, pues ya dijimos que el *peso del hilo era muy pequeño* y por consiguiente despreciable.

Ahora bien, si sobre una de las masas m, colocamos un pequeño *peso adicional* p, el equilibrio ya no subsistirá y las masas se pondrán en movimiento, siguiendo las leyes de la caída de los cuerpos pero con una velocidad pequeña y *apreciable* en espacios pequeños.

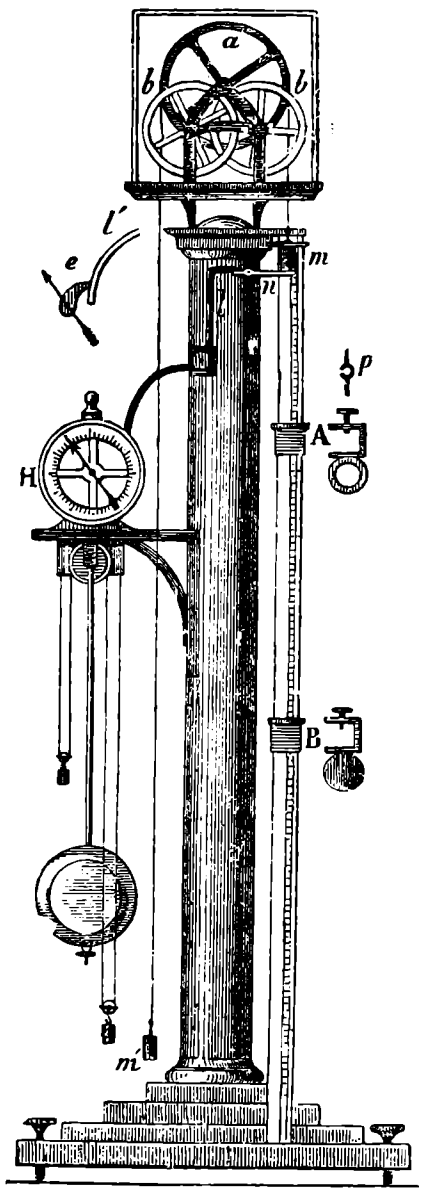


Fig. 147
Máquina de Atwood

187. — Para demostrar que *las leyes de la caída de los cuerpos* no se han alterado, nos bastaria observar que las leyes que se deducen con las masas m y m' y el peso adicional p' *son las mismas, cualquiera* que sea el peso de m y m'; luego *serán las mismas* cuando las masas sean *nulas,* es decir, cuando p *cae sólo.*

Luego tanto da que se estudie la caída del cuerpo solo p, ó acompañado por las masas m y m'.

188.—Por otra parte, si consideramos que cae sólo el peso adicional p' llamando n su *masa* y g la *aceleración* del movimiento uniformemente

acelerado que la *fuerza p* imprime á la masa n sabemos que

$$p = n.\ g \qquad (1)$$

Además, cuando el peso p hace poner en movimiento á las dos masas m y m' esta fuerza p es la misma que en el caso anterior, pero ahora tiene que poner en movimiento tres cuerpos cuya masa total es: $2\,m + n$, luego *siendo mayor* la masa, *será menor* la aceleración que llamaremos γ y por el mismo principio tendremos por expresión de la fuerza p

$$p = (2\,m + n)\,\gamma \qquad (2)$$

y como esta fuerza p es la misma de la ecuación (1) se tendrá

$$(2\,m + n)\,\gamma = n\,g$$

De donde sacamos la aceleración en el movimiento de la máquina de *Atwood.*

$$\gamma = \frac{n\,g}{2\,m + n}$$

ó bien

$$\gamma = g\,\frac{n}{2\,m + n}$$

Vemos, pues, que variando los pesos m y m' y n, podemos hacer que la intensidad de la gravedad se reduzca á *una fracción tan pequeña* como se quiera, de la intensidad de la gravedad correspondiente á cuando el cuerpo cae libremente, ó mejor dicho, podemos hacer que el movimiento de caída sea *tan lento* como se quiera.

Efectivamente, supongamos que las masas m y m' pesen 24,5 gramos y que $n = 1$ gr., entonces tendríamos

$$\gamma = g\,\frac{1}{2 \times 24{,}5 + 1} = g\,\frac{1}{49 + 1}$$

ó bien

$$\gamma = \frac{g}{50}$$

Es decir, que combinando de esa manera el peso de las tres masas, tendríamos que la velocidad de caída será $\frac{1}{50}$ de la velocidad que tendría el cuerpo si cayera libremente.

—Si se hiciera

$$m = m' = 495\ gr.$$
$$n = 10\ gr.$$

resultaría

$$\gamma = g\,\frac{10}{2 \times 495 + 10} = g\,\frac{10}{990 + 10} = g\,\frac{10}{1000} = \frac{g}{100}$$

es decir, que la velocidad de caída sería $\frac{1}{100}$ de la velocidad que tendría si el cuerpo cayera libremente.

Completando la descripción de la máquina de *Atwood* agregaremos que á la polea se le da una *extrema movilidad,* haciendo que su eje apoye sobre la circunferencia de cuatro ruedas cruzadas dos á dos y que se ponen en movimiento cuando la polea gira. De esa manera se reduce á un mínimo la resistencia debida al rozamiento.

Para facilitar el estudio de la caída, la máquina de *Atwood* tiene una regla dividida en milímetros colocada verticalmente á lo largo de la línea que recorrerá la masa *m* al caer.

Sobre esta regla se pueden hacer correr dos *discos A* y *B;* uno *lleno* y el otro con un *anillo circular.*

Finalmente hay un *péndulo* que bate el *segundo* y cuya aguja al moverse puede hacer caer una chapita *n* sobre la cual está descansando una de las masas *m.*

189.—Ley de los Espacios. — Para demostrar esta Ley se coloca la masa *m aumentada del peso p,* sobre la chapita *n;* se *retira* el disco *A* y en seguida *se hace oscilar el péndulo,* el cual hace sonar el timbre en cada oscilación que verifica.

Cuando la aguja del péndulo llega al punto *cero,* el resorte de que hablamos hace caer la lámina y la masa *empieza* su movimiento de caída.

Muévase el disco lleno *B* á lo largo de la regla hasta conseguir, repitiendo una y otra vez la operación, que la masa *m* choque sobre el disco *al mismo tiempo* que el péndulo dá la *segunda* campanada.

Entonces leyendo sobre una regla, la división que corresponde á la posición del disco, tendremos *el espacio recorrido en el tiempo* que media entre una y otra campanada, es decir, *en un segundo.*

—Supongamos tener

$$e = 20 \text{ } centímetros$$

Repitase la operación volviendo á colocar la masa sobre la chapita *n* y búsquese la posición que deberá tener el disco *B,* para que la masa *m* choque sobre él, *al sentirse la tercera* campanada, es decir, al cabo de *dos* segundos, y leyendo la división correspondiente, tendremos que al fin del 2º *segundo* habrá recorrido 80 *centímetros,* es decir que

$$e' = 80 \text{ } centímetros$$

—Volviendo á repetir la operación, se tendría que la masa *m,* habría recorrido en *tres* segundos

$$e'' = 180 \text{ } centímetros$$

Luego:

en 1s el espacio recorrido es.... $e = 20$ ctm
» 2s » » » » .... $e' = 80$ ctm
» 3s » » » » .... $e'' = 180$ ctm
» 4s » » » » .... $e''' = 320$ ctm
....

Esta série de igualdades nos da

$$e : e' : e'' : e''' : .... = 20 : 80 : 180 : 320....$$

y dividiendo el 2º miembro por 20 resultará

$$e : e' : e'' : e''' : .... = 1 : 4 : 9 : 16 :. ..$$

que se puede escribir

$$e : e' : e'' : e''' : .... = 1 : 2^2 : 3^2 : 4^2 :. ..$$

y como los tiempos empleados para recorrer los espacios e, e' e'' e''' .... han sido 1, 2, 3, 4.... segundos, la expresión anterior nos dice: «*Los espacios recorridos son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos*».

190.—Ley de las velocidades. — Para determinar esta ley, es necesario que recordemos que cuando una *fuerza constante* obra sobre un cuerpo, esta fuerza le imprime un movimiento *uniformemente acelerado,* pero, si en un momento dado cesa de obrar la fuerza (**143**) el cuerpo sigue con movimiento *uniforme* «cuya velocidad es igual á la velocidad de que estaba animado el cuerpo en el momento que cesa de obrar la fuerza».

—Sabido esto, coloquemos la masa m con el peso adicional p sobre la chapita n y hagamos oscilar el péndulo, después de haber *colocado el disco anular A* en la división que corresponde á *un segundo* de caída.

Desprendida la chapita n, la masa m empezará su caída por la acción *constante* de la fuerza p, pero al batirse el segundo, el peso adicional p será detenido por el disco anular A y la masa m *seguirá moviéndose con movimiento uniforme* y con la velocidad que le había imprimido la acción de la gravedad.

Esta velocidad se determina midiendo el espacio que recorre la masa m *en un segundo,* en seguida se coloca el disco B como se ve en la figura, en un punto tal, que cuando el péndulo da la *tercera* campanada la masa choque con él.

Luego esa distancia AB mide la velocidad de la caída de un cuerpo después de *un segundo.*

Supongamos que sea

$$V = 20 \text{ } divisiones$$

En seguida se coloca el disco A en la división correspondiente á *dos segundos* de caída y repitiendo la operación, se verá que al dar la *cuarta* campanada, la masa chocará con el disco B á una distancia de A igual á 40 divisiones.

Es decir que la velocidad al cabo de 2 *segundos* será

$$V' = 40 \text{ } divisiones$$

Repitiendo la operación para *tres* segundos, se tendrá

$$V'' = 60 \text{ } divisiones$$

Luego tendríamos que la velocidad

$$\begin{array}{lll} \text{al cabo de } 1^s \ldots. & V & = 20 \\ \text{» » » } 2^s \ldots. & V' & = 40 \\ \text{» » » } 3^s \ldots. & V'' & = 60 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & & \end{array}$$

luego tendriamos que

$$V : V' : V'' : \ldots. = 20 : 40 : 60 : \ldots.$$

ó bien

$$V : V' : V'' : \ldots. = 1 : 2 : 3 : \ldots.$$

pero los tiempos de caída han sido 1, 2, 3,.... *segundos* luego se tiene que:

«*Las velocidades adquiridas en la caída de un cuerpo, son proporcionales á los tiempos.*»

191. — Estas dos leyes de la caída de los cuerpos son *las mismas* leyes que *caracterizan el movimiento uniformemente variado;* pero este movimiento tiene origen por la acción de una *fuerza constante;* luego resulta que *la intensidad de la gravedad es constante,* que es lo que nos habiamos propuesto demostrar.

192. — Aparato de trazo continuo de Morín.—El aparato de trazo continuo de *Morín* cuya primera idea es debida á *Poncelet,* permite estudiar la ley de los *espacios* recorridos en la caida de los cuerpos, no ya de segundo en segundo, como en la máquina *Atwood,* sino en intervalos de tiempo tan pequeños como se quiera y eso *sin necesidad* de disminuir la velocidad de la caida.

Esta máquina consiste en un cilindro vertical de 2m de alto, que puede girar alrededor de su eje por la acción de una pesa *Q (fig. 148),* que cae y desarrolla una cuerda sobre una polea, la cual por medio de una rueda dentada y un tornillo, hace que el cilindro gire alrededor de su propio eje, con un movimiento uniformemente *acelerado.*

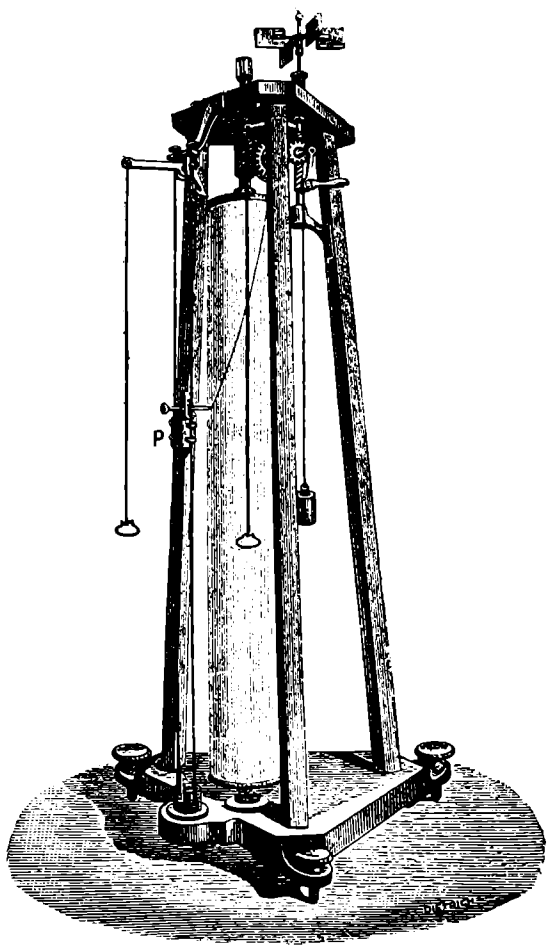


Fig. 148
Máquina de Morin

Para conseguir la *uniformidad* del movimiento, se ha colocado otro tornillo sin fin en contacto con la misma rueda dentada, tornillo que hace mover unas paletas colocadas en la parte superior del aparato, las cuales encuentran una resistencia en el aire que al cabo de un cierto tiempo *anula la aceleración* de la gravedad, y por consiguiente el movimiento se hace *uniforme.*

Un manubrio que por medio de un hilo está unido á una palanca que sostiene al peso *Q,* permite dejar caer ese peso en el momento que se quiera.

Otro cuerpo pesado *P,* que se puede dejar caer libremente y guiado por dos alambres tendidos, se desprende en el momento que se desee. Este peso tiene un lápiz horizontal, que roza sobre el cilindro y que por consiguiente puede trazar una línea sobre él.

193. — Si se deja caer el cuerpo *sin que el cilindro esté en movimiento,* el lápiz trazará sobre el cilindro una *línea vertical* que sería una generatriz del cilindro.

—Si se deja *inmóvil el cuerpo P* y se hace girar el cilindro, el lápiz trazará sobre el papel una *circunferencia.*

—Finalmente, si se pone en movimiento el cilindro y si después que por la acción del regulador el movimiento *se hace uniforme,* dejamos caer el cuerpo, el lápiz ya no trazará una recta ni una circunferencia, sino que trazará una *línea que será la resultante* de los dos movimientos.

Imaginemos que hemos rodeado el cilindro con una hoja de papel y que después de haber hecho funcionar el aparato, hemos desprendido esa hoja de papel que desarrollada, tomará la forma del rectángulo *A B, C D (fig. 149).*

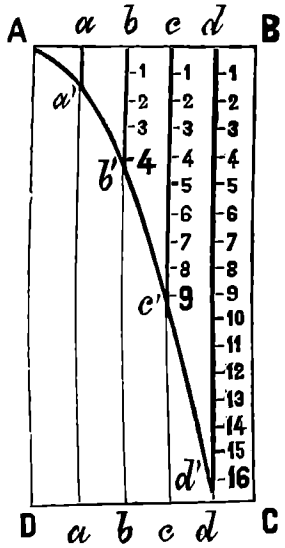


Fig. 149
Máquina de Morin

La línea *A B* será el desarrollo de la circunferencia del cilindro; luego si tomamos distancias, *Aa, ab, bc, cd,....* iguales é imaginamos las líneas *aa, bb, cc,dd,....* éstas serán generatrices que en su movimiento de rotación se presentan ante el lápiz después de *tiempos iguales* entre sí é iguales á los tiempos que tardan en recorrer los espacios *Aa, Ab....*

El lápiz, al empezar el movimiento, parte del punto *A* y cuando la generatriz *aa* se le ha puesto en frente, el cuerpo habrá recorrido en su caída un espacio *aa'*. Cuando la generatriz *bb* se presenta frente al lápiz el cuerpo habrá recorrido un espacio *bb'* y asi sucesivamente.

Si nos imaginamos que el cilindro ha tardado *un segundo* en recorrer el espacio *Aa; dos segundos* en recorrer el espacio *Ab, tres segundos* el espacio *Ac,* etc., los espacios *Aa, Ab, Ac,....* nos medirán *los tiempos* que han transcurrido desde el momento que empezó la caída y como *aa', bb', cc';....* miden los *espacios* recorridos en la caída, si nosotros determinamos la relación que existe entre las longitudes *Aa, Ab....* etc., y *aa', bb', ...* tendremos determinada la relación que existe entre los tiempos transcurridos y los espacios recorridos.

—Ahora bien, midiendo las longitudes *aa', bb' cc'....* veremos que si hacemos

$$aa' = 1$$
resultará..... $bb' = 4$
..... $cc' = 9$
..... $dd' = 16$
.....

pero 1, 4, 9, 16...., son los *cuadrados* de los números 1, 2, 3, 4....; y

estos son los *tiempos empleados* en la caida; luego queda demostrada la ley.

—Esta ley se puede escribir algebráicamente diciendo:

$$\frac{aa'}{A\,a^2} = \frac{bb'}{B\,b^2} = \frac{cc'}{C\,c^2} = \ldots$$

y por geometría se sabe que la curva que satisface á esta fórmula es una *parábola,* luego el cuerpo al caer, describe sobre el cilindro una *parábola.*

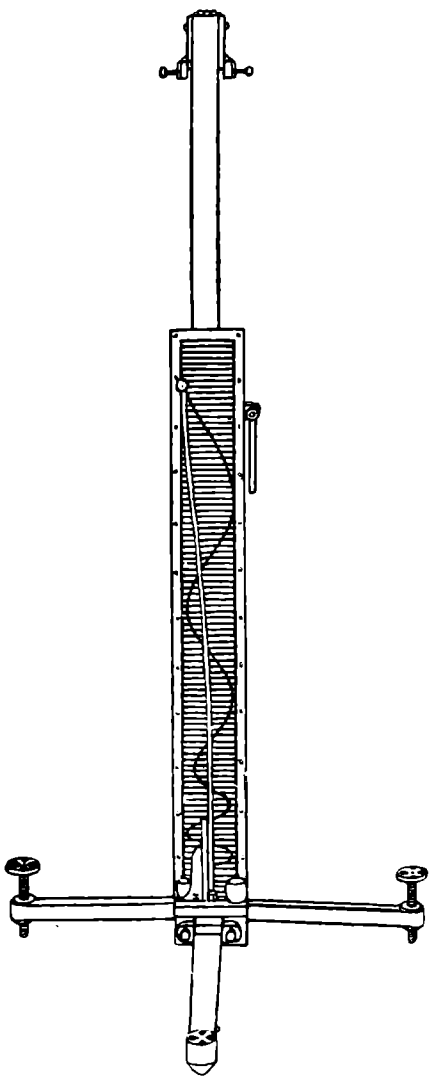


Fig. 150
Máquina de Rabbs

194. – Plano inclinado de Galileo. — Para determinar las leyes de la caída de los cuerpos, *Galileo* usó una regla larga en uno de cuyos lados hizo una canaleta que forró de cuero y en la cual hacia correr una bola de bronce.

Daba diferentes inclinaciones á su regla, lo que la convertia en un plano inclinado y por consiguiente según fuera la relación que existía entre la *base* y la *altura* de ese plano inclinado, así también *disminuía* de una cantidad mayor ó menor la *velocidad* de la caída del cuerpo.

Él se basaba en lo que hemos demostrado (**154**) al tratar del equilibrio en el plano inclinado. Como se comprende, ésta es una máquina muy primitiva y sujeta á los errores producidos por el frotamiento y por la observación.

195.—Aparato de Rabbs.—Este aparato permite comprobar la tercera ley de un modo muy ingenioso.

Toma una varilla elástica delgada con una masa en su extremo superior, dotándola en ese extremo de un lápiz horizontal.

Frente á ese lápiz se pone una tablilla vertical que se puede levantar y dejar caer. Se recubre la tablilla con una hoja de papel y se arrima contra el lápiz.

Si se levanta la tablilla y se deja caer, el *lápiz trazará una recta vertical.*

Si se hace oscilar el péndulo (varilla), y se deja quieta la tablilla, el lápiz trazará *un arco* ó *recta horizontal.*

Pero si al dejar caer la tablilla se pone en movimiento el péndulo, la línea trazada por el lápiz será la indicada en la figura.

Decidiendo se tiene que la *segunda* onda tiene una longitud **4** veces mayor que la primera; que la tercera onda tiene una longitud **9** veces mayor que la primera, es decir, que al fin de *tiempos iguales* (pues el péndulo tiene movimiento isócrono), los espacios recorridos están entre si como los números 1 : 4 : 9 : 16...., luego queda comprobada la ley.

CAPÍTULO V

PÉNDULO

196.—Péndulo.—Hemos visto que cuando un cuerpo pesado se mueve en un plano inclinado, este cuerpo está solicitado solamente por *una parte* de la fuerza de la gravedad, pues *la otra parte* queda destruída por la rigidez del plano.

Hay otra propiedad muy importante indicada por *Galileo* y es que:

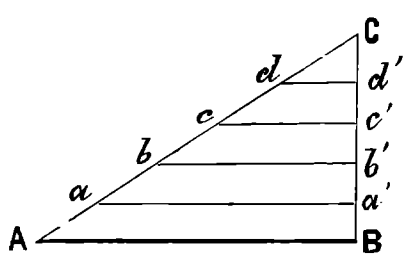


Fig. 151
Plano de Galileo

«Cualquiera que sea la inclinación del plano, el cuerpo que se mueve sobre él habrá adquirido en cualquier punto de su caída, una *velocidad igual* á la que habría adquirido si hubiera caído vertical y libremente desde la misma altura.»

Sea *A B C* (*fig. 151*) el plano inclinado y supongamos que un cuerpo caiga partiendo de un punto *C*, decimos que al llegar el cuerpo á los puntos *a, b, c, d*, tendrá la misma velocidad que habría tenido en los puntos *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, si el cuerpo hubiera caído verticalmente, partiendo del mismo punto *C*.

Si en vez de recorrer el cuerpo un *plano inclinado*, recorriera una *curva A B C D* (*fig. 152*) se podría considerar esta curva, como formada por una serie de pla-

nos inclinados infinitamente pequeños *AB*, *BC*.... en cuyos puntos *B*, *C*,.... el cuerpo tendría la misma velocidad que en los puntos *N*, *O*,.... situados sobre la misma horizontal, en el caso de que el cuerpo hubiera caído verticalmente desde la misma altura *M*.

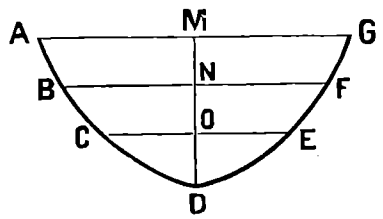


Fig. 152
Plano de Galileo

El móvil que ha partido de *A* recorriendo la curva *A B C*.... á medida que va bajando, va también *aumentando* de velocidad, *en virtud de la aceleración* de la gravedad, y cuando llega al punto más bajo *D*, en virtud de la fuerza viva adquirida, seguirá marchando en dirección *DEFG*, pero con un movimiento *retardado*. Llegado al punto *G*, volverá á bajar y elevarse hasta el punto de partida *A* y así seguirá moviéndose si no hubiere fuerzas que trataran de modificar su movimiento.—Esas fuerzas son la resistencia del aire y el frotamiento.

Si á ese cuerpo que hemos considerado en movimiento *lo imaginamos suspendido* de un hilo, entonces tendríamos constituído un *péndulo*.

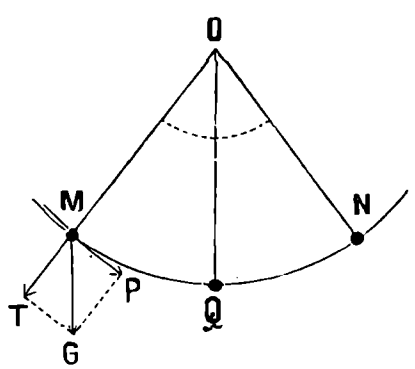


Fig. 153
Péndulo

197.—Péndulo simple—Supongamos tener un hilo, fijo en *O* y llevando en el otro extremo un peso *Q* (*fig. 153*). Abandonado á sí mismo el peso *Q*, el péndulo tomará la posición *OQ*.

Separémoslo de su posición de equilibrio y supongámonos que lo llevamos al punto *M* donde lo abandonamos.

Sobre él actuará la fuerza de la gravedad *G* que podemos considerar descompuesta en dos; una *T* en la

dirección del hilo y otra *P* perpendicular á esa dirección ó tangente á la curva *M Q N*.

La primera fuerza *T* quedará anulada por la tensión del hilo y la segunda fuerza *P*, será la *fuerza motriz* que tenderá á hacerlo bajar hasta el punto *Q*, en cuyo punto como ya hemos dicho, no se detendrá, sino que seguirá su marcha hasta el punto *N*, de donde volverá á caer hasta llegar nuevamente al punto *M* y así sucesivamente.

El movimiento que así se obtiene, toma el nombre de *movimiento oscilatorio.*

– Se denominan:

Oscilación simple, el paso del punto *M* al punto *N* y vice-versa.

Amplitud de la oscilación, el ángulo *M O N* formado por las dos *posiciones extremas* del péndulo.

Duración de la oscilación, el tiempo que emplea en pasar del *punto M al N y vice-versa.*

Centro ó eje de oscilación, el punto alrededor del cual se supone gira el péndulo.

Longitud del péndulo, la distancia entre el punto material y el eje de oscilación.

198.—El péndulo que se estudia teóricamente es el *péndulo ideal ó péndulo simple* que consistiría en:

Un punto material pesado, suspendido á un hilo flexible, inextensible, considerado sin masa y sin peso y que está ligado por un extremo á un punto fijo alrededor del cual puede oscilar en el vacío dicho punto material.

En la práctica, no se puede obtener el *péndulo simple;* por consiguiente, no podemos estudiar más que los *péndulos compuestos*, que consisten en una *esfera ó masa pesada* suspendida al extremo de una varilla liviana.

199.—Isocronismo.—Si á un péndulo cualquiera lo hacemos oscilar de manera que la amplitud de la oscila-

ción *no pase de 5 ó 6 grados*, se observa que el número de oscilaciones que da en un cierto tiempo, es el mismo que da el mismo péndulo cuando la amplitud aumenta ó disminuye *muy poca* cantidad. Esto es lo que se llama el *isocronismo* del péndulo, y entonces se dice que las *oscilaciones son isócronas*, es decir, que el *número de oscilaciones es el mismo, en tiempos iguales.*

Se tiene así, la *ley del isocronismo* que dice:

«Las *pequeñas* oscilaciones del péndulo simple, son *isócronas*».

200.—Fórmula del Péndulo.—Sea M la masa de un péndulo. Al caer de M á E sabremos que toma la misma velocidad que si cayera de D á F la cual es

$$v = \sqrt{2\,l\,g}$$

ó bien

$$v = \sqrt{2\,g \times D\,F} \quad (1)$$

Supongamos que el ángulo α es tan pequeño que se puede tomar sin error sensible la cuerda $M\,O$ por el arco $M\,O$ y que lo mismo suceda con $E\,O$.

Los triángulos rectángulos $C\,M\,O$ y $C\,E\,O$ nos dan

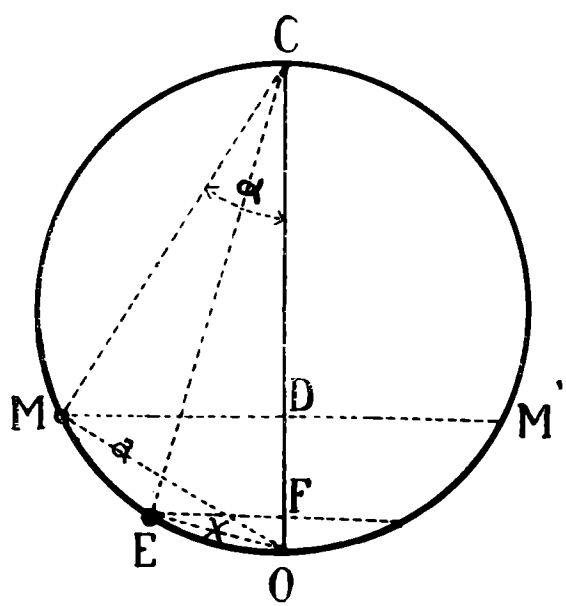


Fig. 154
Movimiento pendular

$$M\,O^2 = 2\,C\,O \times D\,O$$
$$E\,O^2 = 2\,C\,O \times F\,O$$

de donde

$$D\,O = \frac{M\,O^2}{2\,C\,O}$$

$$F\,O = \frac{E\,O^2}{2\,C\,O}$$

y haciendo $M\,O = a$ y $E\,O = x$ sale

$$D\,O = \frac{a^2}{2\,l}$$

$$F\,O = \frac{x^2}{2\,l}$$

de donde

$$D\,F = D\,O - F\,O = \frac{a^2 - x^2}{2\,l}$$

y sustituyendo en la (1) sale

$$v = \sqrt{2\,g\,\frac{a^2 - x^2}{2\,l}}$$

es decir

$$v = \sqrt{\frac{g}{l}(a^2 - x^2)} \quad \cdot \quad \textbf{(A)}$$

Si $x = o$, es decir, si el péndulo está en el punto más bajo se tiene

$$v = \sqrt{\frac{g}{l}a^2}$$

es decir

$$v = a\sqrt{\frac{g}{l}}$$

que es la *máxima velocidad* que puede adquirir el péndulo.

201.—Para calcular el tiempo T de una oscilación desarrollemos el arco $M\,O\,M' = 2\,a$ sobre una línea recta y describamos sobre ella como diámetro una circunferencia.

Supongamos que el punto P se mueve en la circunferencia con movimiento uniforme, de velocidad igual á

$$V = a\sqrt{\frac{g}{l}}$$

El punto P' proyección de P se moverá con movimiento alternativo sobre el diámetro $M\,M'$ y á una distancia x del centro ese punto P' se moverá con la misma velocidad que anima al péndulo á la misma distancia de la posición de reposo O, ó, diciéndolo en otras palabras, la proyección oscilará sobre el diámetro $M\,M'$ y tendrá en cada punto la misma velocidad que tiene el péndulo sobre el arco por él descrito.

—El *tiempo* T que emplea el péndulo para hacer una *oscilación doble* es igual, pues al tiempo que emplea P' para hacer una oscilación sobre el diámetro, puesto que en ambos casos son iguales el *espacio* y la *velocidad*, pero la proyección P' emplea para hacer una oscilación el mismo tiempo que emplea el móvil P en dar una vuelta entera, es decir

$$T = \frac{e}{r}$$

ó bien

$$T = \frac{2\,\pi\,R}{V}$$

ó sea

$$T = \frac{2\,\pi\,a}{a\sqrt{\frac{g}{l}}}$$

de donde

$$T = \frac{2\,\pi}{\sqrt{\frac{g}{l}}}$$

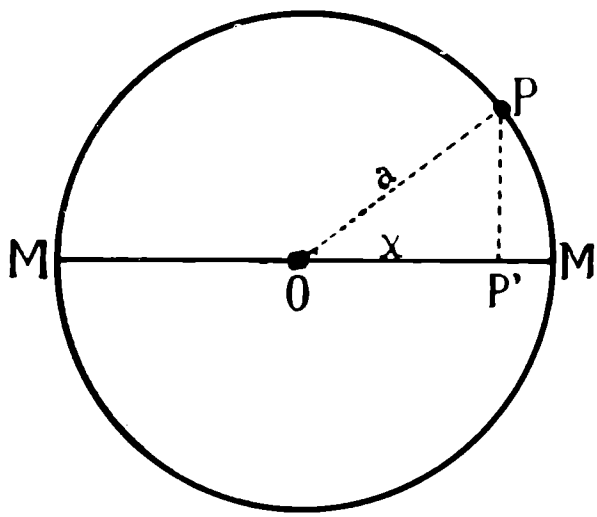


Fig. 155
Duración de una oscilación

ó también

$$T = \frac{2\,\pi}{\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{l}}}$$

ó sea

$$T = \frac{2\,\pi\,\sqrt{l}}{\sqrt{g}}$$

ó finalmente

$$T = 2\,\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Este será el tiempo de una oscilación doble, luego la fórmula que nos da *el tiempo de una oscilación* simple será

$$\mathbf{T = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

202.—Leyes del péndulo.—Además de la ley del isocronismo anteriormente anunciada, hay otras *cuatro* que se deducen de la fórmula:

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

que como hemos visto ha sido deducida con el auxilio de la *Mecánica Racional* y que es aplicable al *péndulo simple que oscila en el vacío*, con *amplitudes pequeñas*.

En esta expresión ya vimos que representaba:

t = duración de una oscilación simple.

l = longitud del péndulo.

g = intensidad de la gravedad.

π = relación del diámetro á la circunferencia ó sea 3,14159.

Es necesario que los alumnos recuerden que una cantidad *es proporcional* ó *directamente* proporcional, cuando aumentando la una *aumenta también* la otra, mientras que dos cantidades son *inversamente* proporcionales cuando á cada aumento de la una corresponde una *disminución* de la otra.

Asi, si tenemos la expresión

$$x = \frac{a \times b}{c}$$

se tendria que x es directamente proporcional á a y b, pues aumentando a ó b *aumentaría* x, mientras que x es *inversamente* proporcional á b, pues aumentado el valor de b, *disminuiría* el de x.

203.—Ley de las sustancias. — *La duración de las oscilaciones es independiente de la sustancia de que está formado el péndulo.*

Esto es evidente, pues basta examinar la fórmula para notar que no hay en ella ninguna cantidad que pueda variar, variando la sustancia de que está hecho el péndulo.

204.—Ley de amplitud.—*La duración de la oscilación es independiente de la amplitud.*

Esto se deduce también de la fórmula, por la misma razón que hemos indicado en la ley anterior, pero recuérdese siempre que es cierto para oscilaciones de *amplitud pequeña*.

205.—Ley de la longitud.--*La duración de la oscilación es proporcional á la raíz cuadrada de la longitud del péndulo.*

Efectivamente, tomemos un péndulo de longitud l en el cual el tiempo de la oscilación, será:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (1)$$

Si tomamos otro péndulo de longitud l' el tiempo de las oscilación ya no será t sino otro tiempo distinto t' que será dado por la fórmula

$$t' = \pi\sqrt{\frac{l'}{g}} \qquad (2)$$

Comparando la (1) y la (2) resultará

$$\frac{t}{t'} = \frac{\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}{\pi\sqrt{\frac{l'}{g}}}$$

de donde

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{\frac{l}{g}}}{\sqrt{\frac{l'}{g}}}$$

ó bien

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l'}}$$

que traducida al lenguaje vulgar, nos dará el enunciado de la 3.ª *Ley*, es decir, *la duración de la oscilación del péndulo es proporcional á la raíz cuadrada de su longitud.*

206.—Ley de la intensidad de la gravedad.—*La duración de la oscilación es inversamente proporcional á la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad.*

Tomemos un péndulo de longitud l y sabremos que

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (1)$$

Si llevamos *el mismo péndulo á otro punto* de la tierra, veremos que el tiempo ya no es el mismo, puesto que g habrá variado y se tendrá

$$t' = \pi\sqrt{\frac{l}{g'}} \qquad (2)$$

y comparando las expresiones (1) y (2)

$$\frac{t}{t'} = \frac{\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}{\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}} = \frac{\sqrt{\frac{l}{g}}}{\sqrt{\frac{l}{g'}}}$$

ó bien elevando el cuadrado

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{\frac{l}{g}}{\frac{l}{g'}}$$

que se puede escribir

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{l}{g} : \frac{l}{g'}$$

ó bien efectuando la división

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{g'\,l}{g\,l}$$

y simplificando

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{g'}{g}$$

y extrayendo la raíz cuadrada

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{g'}}{\sqrt{g}}$$

que nos da el enunciado de la *Cuarta Ley*.

207. - Comprobación experimental.—Estas leyes pueden comprobarse experimentalmente usando un bastidor (*fig. 156*) al cual se suspenden varios péndulos *A*, *B*, *C* y *D*, los tres primeros de la misma longitud, pero formados con distintas sustancias, y el último *D* de la *misma sustancia* que el *C* pero de una *longitud cuatro veces* menor.

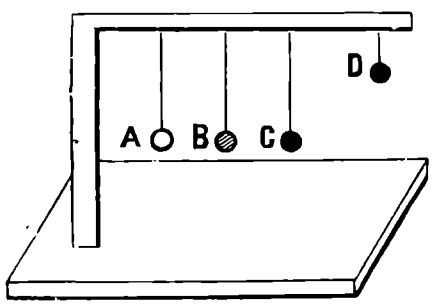


Fig. 156
Leyes del péndulo

Ley de isocronismo.— Se hace oscilar *un péndulo* y se verá que debido á las resistencias pasivas, *la amplitud* de la oscilación irá disminuyendo.

Cuando la amplitud llegue á ser de tres ó cuatro grados solamente, contemos 20 oscilaciones y veamos el tiempo empleado. Si enseguida contamos otras 20 oscilaciones y otras 20 después, se notará que *el tiempo empleado es el mismo;* luego la duración de *una* oscilación es la misma.

Ley de las sustancias.—Hagamos oscilar los tres péndulos *A, B, C*, que son de *igual longitud*, pero de tres sustancias distintas, desviándolas con una regla con el objeto de que la amplitud de la oscilación sea la misma, y se observa que los tres péndulos dan el mismo *número de oscilaciones* en el mismo tiempo.

Ley de la amplitud.—Se hace oscilar *un péndulo* con una amplitud pequeña y se mide el tiempo empleado en 100 oscilaciones.

Se detiene el péndulo y se vuelve á hacer oscilar con una amplitud distinta, *pero también pequeña* y se cuentan otras 100 oscilaciones.

El tiempo empleado en estas 100 oscilaciones *será igual* al empleado en las 100 primeras.

Ley de la longitud.—Se hace oscilar el péndulo *C* y el *D*.

Se cuentan 100 oscilaciones del péndulo *D* y se anota el tiempo. Se cuentan 100 oscilaciones del péndulo *C* y se vuelve á anotar el tiempo.

El tiempo empleado en 100 oscilaciones del péndulo *C* será *doble* del empleado en 100 oscilaciones del péndulo D y como la longitud del péndulo *C* es *cuatro veces* mayor que la del péndulo *D*, queda comprobada la ley.

Ley de la intensidad de la gravedad.—Para comprobar esta ley, no habría más que transportarse con el *mismo péndulo* á distintos puntos de la tierra donde los valores de *g* fueran conocidos y muy diferentes y contados los tiempos empleados en un número fijo de

oscilaciones, y comparar estos distintos tiempos con los distintos valores de *g*.

208.—Péndulo compuesto.—Ya digimos que el *péndulo simple* es ideal y el que se aplica es el *péndulo compuesto*, que consiste generalmente en una esfera ó en un disco circular en forma de lenteja que está suspendido por medio de una varilla ó un hilo de pequeña masa.

Si se hace uso de un *péndulo compuesto*, suponiendo que la amplitud de la oscilación es pequeña, que se mueva en el vacío y que es nulo ó mínimo el rozamiento en el eje de suspensión, á este péndulo se le pueden aplicar las mismas leyes ó la misma fórmula que al *péndulo simple de la misma longitud.*

En ese caso, se dice que el péndulo compuesto es *sincrónico* con el péndulo simple, es decir, que la duración de la oscilación es la misma.

209.—Longitud de oscilación del péndulo compuesto.—Para poder, pues, comparar un péndulo compuesto con el péndulo simple, es necesario que definamos qué es lo que se entiende por *longitud* del péndulo.

Cuando hacemos oscilar un péndulo compuesto *todas las moléculas* de que está formado oscilan de la *misma manera*, lo cual no podría ser de otro modo, pues todas las moléculas están *ligadas entre sí* por la fuerza de cohesión.

Por un esfuerzo de la mente, *imaginemos* que cada una de estas moléculas esté *suspendida aisladamente* por un hilo sin peso, al mismo eje de suspensión del péndulo y tendremos así *formado un sistema de péndulos simples* de *distinta longitud* y que por consiguiente, deberán tener una *duración* de oscilación *distinta*, es decir, que unos oscilarán más ligeros y otros más despacio.

Como en *realidad*, esos péndulos están todos unidos,

pues son moléculas de un mismo cuerpo, los más *cercanos* al eje de suspensión serán *retardados* en sus movimientos, por los péndulos más *lejanos*, y éstos, á su vez, se encontrarán *acelerados* por los de arriba; luego *inevitablemente*, entre las moléculas superiores y las inferiores debe haber algunas, que en el movimiento oscilatorio, no sean *retardadas ni aceleradas*, y oscilen por consiguiente *como* si estuvieran independientes del sistema.

Estas moléculas están equidistantes del eje de suspensión y en su *conjunto* forman el *eje de oscilación*.

El punto donde esta línea corta al plano vertical que pasa por el centro de gravedad del péndulo, se llama *Centro de oscilación*.

La distancia entre el centro de oscilación y el eje de suspensión, es lo que se llama *Longitud de oscilación*.

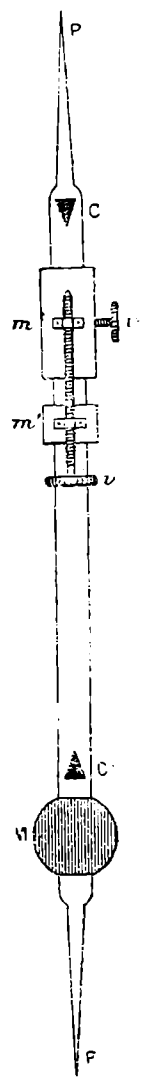


Fig. 157
Péndulo reversible de Katen

210. — Determinación experimental del centro de oscilación.—La determinación experimental del *centro de oscilación* está basada en una propiedad del péndulo, descubierta por *Huyghens*, que dice:

«El punto de suspensión y el centro de oscilación *son recíprocos*», es decir que si suspendemos el péndulo por su eje de oscilación, la duración de la oscilación *será la misma* que cuando estaba suspendido por su punto de suspensión.

Luego, no hay más que determinar *por tanteos* cuál es ese nuevo punto de suspensión y midiendo la distancia al primitivo punto de suspensión, se tendrá la longitud de oscilación.

—Este principio aplicó *Kater* para construir su *Péndulo Reversible* (*fig. 157*) ideado

por *Prony*, que consiste en una regla de metal que tiene atravesados dos cuchillos C y C' que vienen á ser los *puntos de suspensión.*

Una masa M está fijada á la regla y otras dos m y m' pueden correr á lo largo de la regla y acercarse la una á la otra hasta obtener por tanteos la igualdad de la duración de la oscilación.

La distancia entre las aristas de los cuchillos, nos dará la longitud l del péndulo simple sincrónico. Cuando los péndulos afectan formas regulares, la *Mecánica Racional* permite *calcular* esa longitud de oscilación.

211.—Medición de la duración de una oscilación.—Suponiendo que las oscilaciones sean isócronas, para determinar la duración de *una* oscilación, con la mayor precisión, no se hace más que contar el tiempo que emplea el péndulo en cumplir un gran número de oscilaciones, por ejemplo 100 y dividir el tiempo observado por el número de oscilaciones cumplidas.

212.—Aplicaciones del péndulo.—A pesar de su extrema sencillez el péndulo es uno de los instrumentos más preciosos de la Física.

Se aplica en:

Medir el tiempo.

Determinar la forma de la tierra.

Probar la rotación de la tierra.

213.—Medida del tiempo.—A pesar de que se le atribuye á *Huyghens* la idea de la *aplicación del isocronismo* del péndulo, á la medida del tiempo, parece que la primera idea fué de *Galileo* y realizada por su hijo en 1649.

Una rueda dentada R es puesta en movimiento ya sea por un peso (*fig. 158*) que al caer desarrolla una cuerda ó ya sea por una hélice de acero que se enrolló y que por elasticidad trata de desarrollarse.

En cualquiera de estos dos casos, una aguja que

estuviera adherida al extremo *M* del eje de la rueda, se movería circularmente pero *con movimiento variado.*

Para regularizar el movimiento se ideó colocar un arco *ab* llamado *ancla*, que con el movimiento de vaivén que le imprime el *Péndulo P* por medio de la orquilla *f*, va dejando pasar un diente de la rueda á cada *oscilación doble* del péndulo, y como las oscilaciones *son isócronas*, resultará que cada diente se moverá á *intervalos iguales*, que es lo que se pretendía.

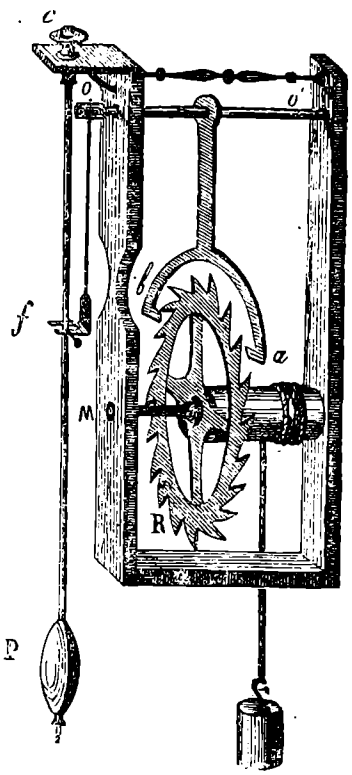


Fig. 158
Péndulo de un reloj

—Como el péndulo *hace un trabajo,* resulta que su movimiento trata de retardarse y para que esto no suceda, á cada doble oscilación recibe de la rueda dentada un pequeño impulso comunicado por la presión del diente de la rueda sobre los planos inclinados que terminan el ancla.

F14.—Medida de la intensidad de la gravedad.—Por medio del péndulo puede determinarse el valor de la intensidad de la gravedad en un punto cualquiera de la tierra.

Efectivamente, la fórmula del péndulo

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

nos da

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

ó bien

$$t^2 g = \pi^2 l$$

ó finalmente

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2} \qquad (1)$$

Entonces, si tomamos un péndulo de longitud l y medimos como hemos indicado antes, la duración de una oscilación, y sustituimos esos valores en la (1) se tendrá determinada la intensidad de la gravedad.

Borda y Cassini, operando con toda clase de precauciones en el Observatorio de París, hallaron el valor

$$\mathbf{g = 9.8088}$$

que como ya hemos dicho, *varía* de uno á otro punto de la tierra.

Este valor nos dice que:

Un cuerpo que cae en Paris *en el vacío* y partiendo del estado de reposo adquiere *en un segundo* de caída una velocidad tal de poder recorrer en el 2.° *segundo* —siempre que la gravedad cese de obrar—un espacio de $9^m,8088$ ó mejor dicho:

Un cuerpo que cae en París en el vacío y partiendo del estado de reposo, *recorre en el primer segundo* de su caida, un espacio de

$$\frac{9^m 8088}{2} = \mathbf{4^m,9044}$$

La gravedad en Buenos Aires fué determinada en 1897 por un oficial de marina austriaco y obtuvo como resultado

$$\mathbf{g = 9.7966}$$

En La Plata fué determinada por el doctor Alescio, de la marina italiana, en junio de 1905 y obtuvo

$$\mathbf{g = 9.7975}$$

En Montevideo fué determinada en 1894 por el teniente de la armada austriaca, Bersa de Deidenthol, y obtuvo

$$\mathbf{g = 9.7973}$$

A la la latitud de 45° el valor es

$$\mathbf{g = 9.8060}$$

En el ecuador $\mathbf{g = 9.7801}$

En el polo $\mathbf{g = 9.8309}$

215.—Determinar la forma de la tierra.—Hasta fines del siglo XVII se creía que la tierra era esférica, pero *Richer* enviado á Cayena, por la *Academia de Ciencias*, observó que *la duración* de la oscilación de *su péndulo* era menor que en Paris.

Huyghens atribuyó ese fenómeno á la fuerza centrífuga desarrollada por la rotación de la tierra y á que la tierra debía ser aplanada en los polos, cosa que después se comprobó por el cálculo y las observaciones de gran número de sabios.

Si la tierra fuera esférica y teniendo presente (**118**) que en virtud de las leyes de la Gravitación Universal, se supone que la atracción se hace como si toda la masa estuviera reunida en su centro, se tendría que *la intensidad de la gravedad debería ser igual* en todos los puntos de la tierra, pues la distancia entre el centro de la tierra y la superficie sería igual, por ser *radios* de la misma esfera.

No siendo igual la intensidad de la gravedad, resultará, que los radios no son iguales; luego la tierra *no es esférica.*

—Vemos fácilmente, que determinando la intensidad de la gravedad de varios puntos, también se tendrían las *longitudes de los radios* correspondientes á esos puntos y por consiguiente, con una serie de observaciones, tendríamos la *forma exacta de la tierra.*

Para aplicar el péndulo á esta determinación de la forma de la tierra, debemos recordar la 2ª parte de la ley de *Newton* (**116**) que nos dice que «las atracciones se hacen en razón inversa del cuadrado de la distancia».

—Supongamos que en un punto de la tierra hacemos oscilar un péndulo de longitud l y obtenemos el tiempo

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

y llevando el *mismo péndulo* á otro punto, sea el tiempo

$$t' = \pi \sqrt{\frac{l}{g'}}$$

Comparando las dos ecuaciones resultará:

$$\frac{t}{t'} = \pi \frac{\sqrt{\frac{l}{g}}}{\sqrt{\frac{l}{g'}}} = \frac{\sqrt{\frac{l}{g}}}{\sqrt{\frac{l}{g'}}}$$

ó bien, elevando el cuadrado

$$\frac{t}{t'} = \frac{\frac{l}{g}}{\frac{l}{g'}} = \frac{g'\,l}{g\,l}$$

ó finalmente

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{g'}{g} \qquad (1)$$

Recordando ahora la 2ª parte de la ley *Newton*, y llamando r y r' los rádios de la tierra en esos puntos donde g y g' son las intensidades de la gravedad, se tendrá:

$$\frac{g'}{g} = \frac{r^2}{r'^2}$$

y sustituyendo en la (1)

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{r^2}{r'^2}$$

y extrayendo la raíz cuadrada

$$\frac{t}{t'} = \frac{r}{r'}$$

luego, conociendo los tiempos de la oscilación del péndulo y el rádio terrestre de un punto cualquiera que se toma por unidad, se puede determinar el rádio del otro punto.

—Conociendo el rádio de infinitos puntos de la tierra, se puede determinar su *forma*, que es la de un *elipsoide* de revolución, representando el aplanamiento de los polos una fracción equivalente á $\frac{1}{300}$ *próximamente* del rádio del ecuador.

—Esa misma fórmula nos dice, que cuanto *mayor es el rádio, tanto mayor* será el tiempo de la oscilación; luego, en los polos, un péndulo andará más ligero que en el ecuador y por consiguiente, que el péndulo varía marchando del polo al ecuador, es decir, que *intensidad de la gravedad varía con la latitud.*

216.- Péndulo que bate el segundo.—Conociendo el valor de g en un lugar nos es fácil determinar el *péndulo á segundo*, es decir, calcular la longitud que deberá tener el péndulo *para que haga una oscilación pequeña en un segundo.*

—Para esto, en la formula del péndulo

$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (1)$$

hacemos $t=1^s$ y sustituimos el valor de g, que se supone conocido. Si operamos en Paris, tendríamos

$$g = 9.8088$$

luego, sustituyendo los valores en la ecuación (1) saldrá

$$1^s = 3{,}14159\sqrt{\frac{l}{9{,}8088}}$$

ó bien

$$\frac{1}{3{,}14159} = \sqrt{\frac{l}{9{,}8088}}$$

y elevando el cuadrado

$$\frac{1^2}{(3.14159)^2} = \frac{l}{9.8088}$$

luego

$$\frac{1}{9{,}86958} = \frac{l}{9.8088}$$

ó sea

$$l = \frac{9{,}8088}{9.86958}$$

y finalmente

$$l = 0^{m},99386$$

lo que nos da la *longitud del péndulo que bate el segundo* en París.

Según *Bessel* que ha reducido sus observaciones, al vacío, la intensidad de la gravedad en París, es 9.8096 y la longitud del péndulo á segundo 0,993781.

La longitud del péndulo en el *ecuador* es $0_{m},991$ y en el *polo* $0_{m},966$.

217. — Prueba de la rotación de la tierra. — Por medio del péndulo se demuestra que la tierra gira.

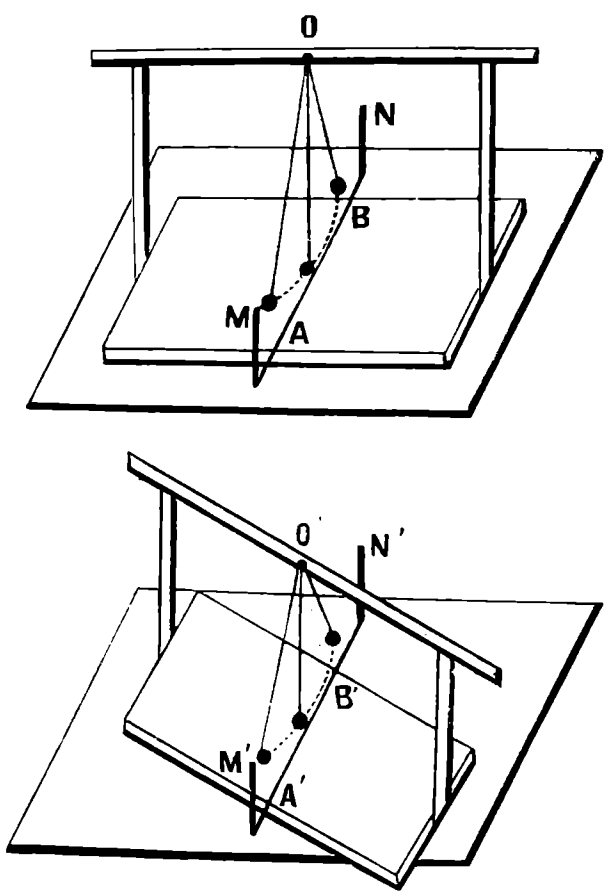


Fig. 159
Péndulo que oscila en el espacio

Para eso, tomemos un péndulo suspendido en un marco y hagámoslo oscilar en un plano cualquiera *M A B N* (*fig. 159*), cuya posición se podrá fijar por miras ó puntos de referencia *M* y *N*.

Si hacemos girar el marco de manera que el punto de suspensión *O* quede siempre sobre la misma vertical, se verá que el péndulo seguirá siempre oscilando en el plano determinado por las dos miras *M' N'* que son las mismas *M N*.

Luego, *si la tierra no gira* el péndulo *deberá* oscilar siempre en el *mismo* plano. Eso no sucede, luego *la tierra gira*.

—Que el péndulo no oscila siempre en el mismo plano, ya lo habían observado los Académicos de Florencia hacia 1660, pero ellos no supieron explicar la causa del fenómeno.

El físico *Foucault sabiendo* que la tierra giraba, dedujo que al oscilar libremente el péndulo *no lo haría* siempre en el mismo plano.

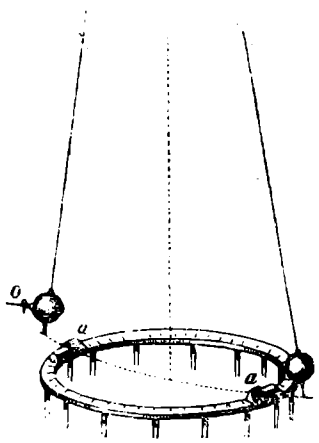


Fig. 160
Péndulo de Foucault

Eso lo comprobó en 1851 suspendiendo de la cúpula del Panteón de París un péndulo formado por una bola de 28 kilogramos de peso por medio de un hilo de acero de 50 metros de largo (*fig. 160*).

En la parte inferior tenía la esfera un estilo que pasaba *rozando* sobre un montículo de arena que cubría una barandilla circular.

Si el péndulo hubiera oscilado siempre en el mismo plano, una vez que hubiera marcado sobre la arena su paso, habría pasado siempre por los mismos puntos. Pero se vió que por lo contrario, el péndulo en su oscilación iba deshaciendo poco á poco los montículos de arena que cubrían la barandilla.

Como es indispensable que el péndulo no reciba ninguna fuerza lateral mientras oscila se ideó ligar el péndulo á un hilo O el cual se quemaba al quererse empezar el movimiento.

En el polo el péndulo tardaría 24 horas en completar su vuelta al mismo plano.

En el Ecuador no habría desviación aparente; la duración sería cada vez mayor á medida que se acercara el péndulo del polo al ecuador.

A 45° de latitud el péndulo tardaría 33h 34m.

218.—Interpretación del valor g.—Ya hemos dicho que se representaba con la letra g *la velocidad adquirida* por un cuerpo que cae libremente *después de un segundo* de caída.

Dijimos también que el movimiento de la caída de los cuerpos es un movimiento *uniformemente acelerado* y por consiguiente se le puede aplicar las fórmulas de dicho movimiento, es decir:

$$V = g\,t \qquad (1)$$
$$e = \tfrac{1}{2}\,g\,t \qquad (2)$$

Si en la (2) hacemos $t = 1''$, resultará

$$e = \tfrac{1}{2}\,g$$

ó bien

$$g = 2\,e$$

que nos dice que: «La aceleración debida á la gravedad es igual al *doble del espacio recorrido* en el *primer segundo* de su caída».

Luego, si suponemos $g = 9.8088$, un cuerpo que cae, en el 1er *segundo habrá recorrido:*

$$e = \frac{9.8088}{2} = 4.\text{m}9044$$

y teniendo presente la fórmula (2), al fin del 2º *segundo habrá recorrido* un espacio

$$e' = 4{,}9044 \times 2^2 = 19{,}6176$$

al final del 3er *segundo habrá recorrido*

$$e'' = 4{,}9044 \times 3^2 = 44.1396$$

y así sucesivamente.

219.—Tratemos ahora de *determinar la velocidad de la caída* en un momento dado, conociendo no el tiempo, sino el espacio recorrido.

Para eso, eliminemos t entre la (1) y la (2), de las cuales sacamos:

$$t = \frac{v}{g} \qquad (3)$$

$$t^2 = \frac{2e}{g} \qquad (4)$$

Elevando al cuadrado la (3) resultará

$$t^2 = \frac{v^2}{g^2}$$

é igualando con la (4)

$$\frac{v^2}{g^2} = \frac{2e}{g}$$

de donde

$$v^2 = \frac{2eg^2}{g}$$

ó bien

$$v^2 = 2eg$$

y finalmente

$$v = \sqrt{2eg} \qquad (5)$$

fórmula que nos dice, que para un cuerpo que cae libremente en el vacio, «*la velocidad adquirida en un instante dado, es proporcional á la raíz cuadrada* de *la altura de la caída*».

La fórmula (5) se puede escribir

$$v = \sqrt{2 \times 9.8088 \times e} = \sqrt{19.6176 \times e} = \mathbf{4{,}429}\sqrt{\ e}$$

Entonces, si el cuerpo cae de 16 metros, la *velocidad adquirida* al llegar al suelo será

$$v' = 4.429 \sqrt{16} = 4{,}429 \times 4 = 17{,}716$$

Si cae de 25m $v'' = 4{,}429 \sqrt{25} = 4{,}429 \times 5 = 22{,}145$

» » » 100m $v''' = 4{,}429 \sqrt{100} = 4{,}429 \times 10 = 44{,}290$

220.—Cuerpo lanzado hacia arriba.—Si un cuerpo es lanzado hacia arriba con una *velocidad inicial*, esta velocidad será *retardada* por la gravedad, para cada segundo, en un valor de 9.8088, es decir, de *cuanto se habría acelerado* si el cuerpo cayese.

Si el cuerpo hubiera sido lanzado con una velocidad inicial

$$v = 39\text{m},2352$$

al fin del *primer* segundo su velocidad sería:

$$\begin{array}{rrl} & v' & = 39,2352 - \mathbf{1}\ (9,8088) = 29\text{m},4263 \\ \text{Al fin del } 2^{o} & v'' & = 39,2352 - \mathbf{2}\ (9,8088) = \ 19,6176 \\ \text{» » » } 3^{o} & v''' & = 39,2352 - \mathbf{3}\ (9,8088) = \ 9,8088 \\ \text{» » » } 4^{o} & v'''' & = 39,2352 - \mathbf{4}\ (9,8088) = \ 0,0000 \end{array}$$

luego, el cuerpo subiría durante 4s y enseguida caería *empleando el mismo tiempo* en su caída.

—Si suponemos que un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba, cayó después de 10s , es claro que tardó solo 5s en recorrer el espacio que nos daría la fórmula

$$e = \frac{1}{2}\, t^2\ g$$

y aplicando valores

$$e = \frac{1}{2} 9.8088 \times 5^2 = 4,9044 \times 25$$

ó bien

$$e = 122\text{m},61$$

221.—Variaciones de la gravedad.—La intensidad de la gravedad varía:

1° Con la *altura*.

2° Con la *latitud*, debido á la forma de la tierra.

3° Con la latitud debido á la *fuerza centrífuga* producida por la rotación de la tierra.

222.—Variación de g por la altura.—Sabemos que la intensidad g de la gravedad «varía en razón inversa del cuadrado de la distancia al centro»; luego, á medida que nos elevamos sobre el nivel del mar la intensidad de la gravedad debe disminuir. Pero, dada la pequeñez de las alturas que podemos considerar sobre la tierra, puede despreciarse esa disminución de g.

Sin embargo, cuando se quiere proceder con toda escrupulosidad, puede usarse la siguiente fórmula:

$$g = g' \left(1 + \frac{2\,h}{R}\right)$$

que nos da la intensidad de la gravedad *referida al nivel del mar*, siendo g y g' las intensidades de la gravedad al nivel del *mar* y á una altura h, y R el *radio* de la tierra.

223.—Si nos introducimos en el *interior de la tierra*, la intensidad de la gravedad *irá aumentando al principio* hasta una profundidad igual á $\frac{1}{6}$ del radio terrestre, debido á la mayor densidad de las capas interiores, *enseguida*, disminuirá hasta llegar á un tercio del radio y *seguirá disminuyendo* hasta que en el *centro* de la tierra $g = 0$.

224.—Variación de g debido á la latitud.—Con la latitud también varía la intensidad de la gravedad.

La intensidad es *mínima* en el *ecuador* y *máxima* en los *polos*.

Dos causas influyen para eso: la *menor longitud del radio* terrestre en los polos y la *fuerza centrífuga*.

La disminución del radio terrestre influye por la menor distancia del polo al centro de la tierra, disminución que hace que la *atracción* sea $\frac{1}{568}$ *menor en el polo* que en el ecuador; pero debido á la *acción reunida* del aplanamiento de la tierra y de la *fuerza centrífuga*, resulta que la gravedad es $\frac{1}{200}$ *aproximadamente* menor en los polos que en el ecuador.

De modo, pues, que si un cuerpo en el polo pesara 200 kilógramos, en el ecuador sólo acusaría un peso de 199 kilógramos, es decir, perdería *5 gramos por cada kilogramo*.

Esto sería en el caso de que se usara un dinamómetro como el de *Leroy*, pero si se usara la balanza no se constataría ese hecho, como se comprende fácilmente.

225.—Fuerza Centrífuga.—Se llama así la *tendencia que tiene todo cuerpo* animado de un movimiento *circular* á *alejarse del centro* de rotación, fuerza que, para que haya movimiento circular, es necesario que sea contrarrestada por otra fuerza igual y contraria, que trata de precipitar el cuerpo hacia el centro de rotación.

Esta segunda fuerza se llama *Fuerza centrípeta*.

—La fuerza *centrífuga* se manifiesta constantemente en la vida privada.

Todos conocemos las hondas para arrojar piedras, que consisten en dos hilos que se tienen en la mano y en cuyo centro hemos apoyado una piedra.

Si animamos esta piedra de un *movimiento circular* conservando los dos extremos del hilo en la mano, veremos que á medida que aumenta la velocidad también aumenta la *tensión* del hilo. Esta tensión es la manifestación de la fuerza *centrífuga* y la rigidez del hilo es la de la *centrípeta*.

226.—La fuerza centrífuga está sujeta á las siguientes leyes:

1º *Es proporcional al cuadrado de la velocidad.*

2º *Es proporcional á la masa del móvil.*

3º *Es inversamente proporcional al radio de la circunferencia descripta por el móvil.*

Tenemos ejemplos y *aplicación de la fuerza centrífuga* en infinidad de casos, por ejemplo:

—Si hacemos girar un vaso lleno de agua suspendido por un hilo no cae ni una sola gota debido á que el agua en virtud de la fuerza centrífuga es comprimida contra el fondo del vaso.

—Es por la fuerza centrífuga que el acróbata se inclina hacia el centro del circo cuando marcha parado sobre el caballo.

—Es por la misma razón que no se deben pasar con gran velocidad las curvas *de pequeño radio* de los tranvías y ferrocarriles, y es por la fuerza centrífuga que se eleva el rail exterior para evitar el descarrrilamiento.

—Es necesario recordar el efecto de la fuerza centrífuga al ir parado sobre la plataforma de los tranvías cuando estos pasan con mucha velocidad por curvas rápidas. Finalmente, podemos indicar la aplicación de la fuerza centrífuga para secar la ropa de los lavaderos públicos.

Consiste el aparato en un tambor que está animado de un movimiento de rotación que da 1500 revoluciones por minuto. La ropa en virtud de la fuerza centrífuga se ve comprimida contra las paredes laterales del tambor y bastan unos 7 á 8 minutos para terminar la operación.

227.—Verificación experimental de las leyes de la fuerza centrífuga.—Para verificar experimentalmente las leyes de la fuerza centrífuga nos valdremos del aparato indicado en la *fig. 161* que consiste en un marco *a b*,

al cual se le pueden ajustar diferentes piezas y que se puede animar de un movimiento de rotación por medio de la manivela *m* y una combinación de ruedas dentadas.

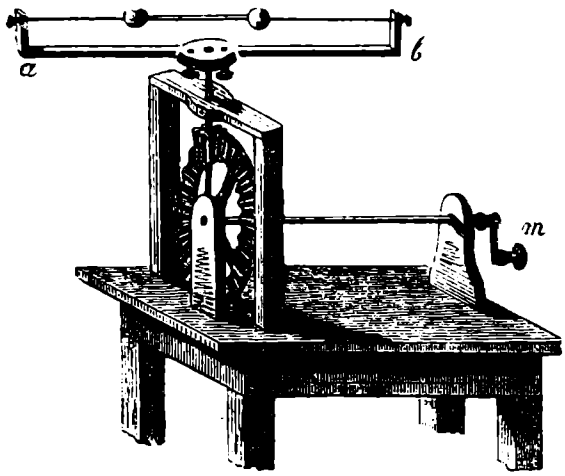


Fig. 161
Fuerza centrífuga

Empecemos por colocar sobre el bastidor *a b* una varilla metálica que atraviesa dos esferas *ligadas entre sí* por medio de un hilo, y que pueden correr hacia las extremidades de la varilla.

—Veamos los experimentos que se pueden hacer con estas dos esferitas:

1º Colóquense las dos esferas, *sin estar unidas por el hilo*, en el centro de la varilla.

Muévase el manubrio *m* y se verá que las dos esferas van á chocar contra los soportes *a* y *b*, y ese choque es tanto más fuerte cuanto más rápido es el movimiento; luego, la fuerza centrífuga es *proporcional á la velocidad*.

2º *Liguemos* las dos esferas por un hilo y supongamos que las dos tienen la *misma masa* y están equidistantes del centro.

Empezando el movimiento de rotación, las dos esferas quedan inmóviles, es decir, no corren á lo largo de la varilla.

3º Pongamos en las mismas condiciones dos esferas, pero una de mayor *masa* que la otra y se verá que una vez que se empieza el movimiento la esfera que tiene *mayor masa arrastrará* á la otra; luego estos dos experimentos comprueban que la *fuerza centrífuga es proporcional á la masa.*

4º Si suponemos que una de las esferas tiene *doble masa* que la otra y colocamos la esfera sobre la varilla de manera que sus *distancias al centro estén en razón inversa de sus masas,* es decir, la que tiene masa *mitad* á una distancia del centro *doble* de la otra, se observará que iniciado el movimiento las esferas *no se mueven;* luego, *la fuerza centrífuga está en razón inversa al rádio del círculo.*

228.—Podemos aplicar este mismo aparato á estudiar la acción de la fuerza centrífuga *sobre los líquidos.*

Para esto, apliquemos sobre el bastidor *a b,* la pieza *A* (*fig. 161*) que, como vemos, consiste en dos esferas unidas por tubos á un receptáculo que está sobre el centro y que contiene agua.

Empezando el movimiento, se verá que el líquido sale del receptáculo y va subiendo tanto más, cuanto más rápido es el movimiento, hasta llegar á las esferas.

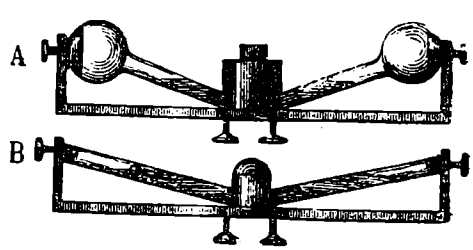


Fig. 162
Fuerza centrífuga

Cesado el movimiento, el líquido vuelve á bajar.

Finalmente, podemos hacer otro experimento usando la pieza *B* (*fig. 162*) que consiste en dos tubos que contienen agua y además una bala de plomo el uno y una bala de corcho el otro.

Haciendo mover el aparato se verá que la bala de plomo sube atravesando el agua y va á chocar contra el fondo superior del tubo y que en el otro tubo el agua

se eleva y la bala de corcho queda en contacto con el agua, pero *en la parte inferior* de la columna de agua.

Esto es debido á la *diferencia de masas* entre el plomo, el agua y el corcho.

229.—Variación de la gravedad debida á la fuerza centrífuga.—Sabiendo que la tierra gira alrededor de su eje, es natural que todos los cuerpos que están sobre ella reciban el efecto de la fuerza centrífuga, efecto que tiende á elevar el cuerpo sobre la superficie de la tierra, y por consiguiente, tiene un efecto contrario al de la *gravedad*.

Pero, como se sabe que: «Cuando varios cuerpos de *misma masa* describen en el *mismo tiempo* circunferencias de *diferente* rádio, las fuerzas centrífugas son *proporcionales* á los rádios de la circunferencia», resulta, que los cuerpos que están colocados en el *ecuador*, tendrán una fuerza centrífuga *máxima*, porque será *máximo el radio* de la circunferencia que describe un punto de la superficie de la tierra en su rotación alrededor de *su eje* y será *nula* en el polo porque allí el radio es igual á *cero*.

Por consiguiente, la gravedad *varía con la latitud debido á la fuerza centrífuga*.

—Se ha encontrado, que *en el Ecuador* la fuerza centrífuga es proximamente $\frac{1}{289}$ de la gravedad, y como

$$\frac{1}{289} = \frac{1}{17^2}$$

resulta, que si la tierra girara con una *velocidad 17 veces mayor*, la fuerza centrífuga *equilibraría* en el ecuador á la acción de la gravedad, y entonces un cuerpo abandonado á sí mismo no *caería*, sino que se conservaría *suspendido en el aire*.

LIBRO CUARTO

HIDROSTÁTICA

CAPÍTULO PRIMERO

EQUILIBRIO DE LOS LIQUIDOS

230.—Caracteres de los líquidos.—Ya dijimos (11) que los líquidos se *caracterizan* por la extrema movilidad de sus moléculas, que hace que no tengan por sí mismos *forma alguna*, sino la forma de las vasijas que los contienen.

Las fuerzas de cohesión entre las moléculas son casi nulas y solo se hacen sensibles en líquidos viscosos.

La parte de la física que estudia las condiciones de *equilibrio* de los líquidos, así como las presiones que se ejercen en su interior y sobre las paredes de las vasijas que los contienen, se llama *Hidrostática*.

La que estudia los *líquidos en movimiento* se llama *Hidrodinámica*.

La que trata de las *aplicaciones* de los conocimientos adquiridos se llama *Hidráulica*.

231.—Compresibilidad de los líquidos.—Los líquidos son compresibles como todos los demás cuerpos, lo cual se puede demostrar por medio del *Piezómetro de Oersted*.

Este aparato *(fig. 163)* consiste en una vasija de vidrio de paredes resistentes, sostenida por un pié de bronce y cubierta en la parte superior por un disco del mismo metal que se atornilla á un anillo que está fijado á la vasija.

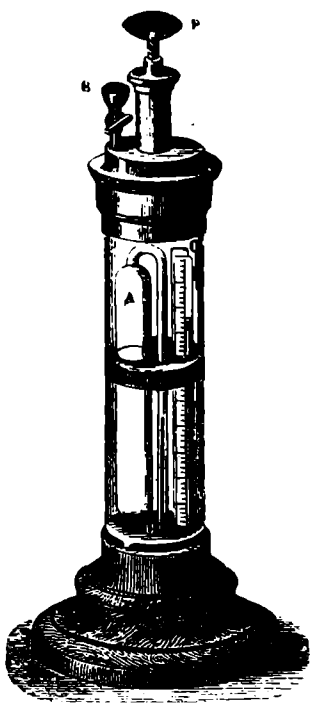


Fig. 163
Piezómetro de Oersted

Esa tapa metálica está dotada de un embudo *R* y de un tornillo de presión *P* que al girar puede penetrar dentro del tubo empujando un pistón.

En el interior de la vasija hay un recipiente de vidrio *A*, que está destinado á contener el líquido cuyo *coeficiente de compresibilidad* se quiere determinar y terminado por un tubo capilar encorvado que tiene la extremidad inferior sumergida en un baño de mercurio.

Dentro de la misma vasija hay una tablilla dividida que tiene fijado un termómetro y un tubo cerrado en la parte superior y abierto en la inferior *B*, que constituye un *manómetro á aire comprimido* y que nos servirá para *medir la presión* que se ejerce.

Para operar, se introduce una pequeña capa de mercurio en el fondo de la vasija, se coloca el recipiente *A* lleno del líquido cuya *coeficiente de compresibilidad* se quiere determinar, se llena la vasija con agua que se introduce por el embudo *R*, *se determina la temperatura* y se hace girar el tornillo *P*.

A medida que gira el tornillo, se va introduciendo el pistón, el cual ejercerá *presión* sobre el agua que llena la vasija y se verá que el *mercurio sube* por el tubo capilar y por el manómetro.

En seguida *se deja enfriar el agua* que se había calentado por efecto de la compresión y cuando llega á tener la misma temperatura que cuando

se empezó la operación, se lee en la regla dividida la altura del mercurio en los dos tubos.

La altura á que ha llegado el mercurio en el manómetro nos da la *presión*, y la altura á que llega en el tubo capilar nos da la *compresión sufrida por el líquido* contenido en *A*.

Como previamente se determinó la *relación* que existia entre una división del tubo capilar y el *volumen* del recipiente, por medio de un cálculo sencillo se determina el *coeficiente de compresibilidad* que no es más que *la contracción de la unidad* de volumen por la *unidad* de presión, siempre que la *temperatura* se haya mantenido *constante*.

—*Regnault* con un aparato de su invención que permitía medir á un mismo tiempo la contracción del líquido y la del recipiente y fundándose en numerosos experimentos y en cálculos esmerados, encontró el *coeficiente de compresibilidad* de varios líquidos á *cero* grados de temperatura y á la *presión normal*.

Encontró los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \textit{Agua} &= 0{,}000.050 \\ \textit{Mercurio} &= 0{,}000.0029 \\ \textit{Eter} &= 0{,}000.111 \end{aligned}$$

—Dedujo también, que para el *agua y el mercurio* la compresibilidad es *dentro de ciertos límites de presión proporcional á la presión*, y que el coeficiente de compresibilidad *disminuye*, para el agua y el mercurio, al *elevarse* la temperatura.

Con el *éter* se verifica el *fenómeno contrario*.

Si en el piezómetro volvemos á elevar el pistón *P*, se notará que el líquido vuelve inmediatamente á su *volumen primitivo* lo cual prueba que *los líquidos son perfectamente elásticos*.

232.—Principio de Pascal.—Si tenemos un tubo (*fig. 164*) cilíndrico, que contenga agua, que suponemos *sin peso*, y si introducimos un pistón *P*, el agua se verá empujada y ascenderá por la rama *B hasta que la llene* casi por completo.

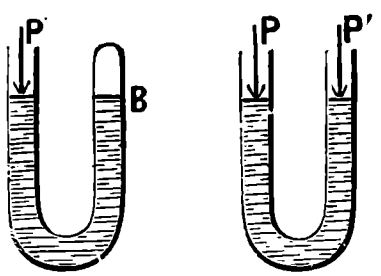


Fig. 164 Fig. 165
Principio de Pascal

Si suponemos en seguida, que *B* está abierto y seguimos empujando el pistón *P* (*fig. 165*) el agua seguirá subiendo de la misma can-

tidad que baje el pistón y necesariamente se verterá por el orificio *B*; pero si en *B* aplicamos otro pistón *P'*, y ejercemos sobre él una *presión igual* á la que se ejerce sobre *P*, el líquido ya no se moverá, es decir, que quedará en equilibrio.

233.—Sea ahora una vasija de forma cualquiera (*fig. 166*) que suponemos llena de agua y con dos *aberturas iguales A* y *B* cerradas por medio de dos pistones.

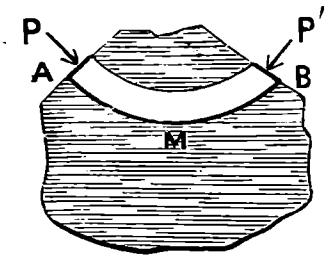


Fig. 166
Principio de Pascal

Si *introducimos* el pistón *P* un *centímetro*, por ejemplo, se verá que el pistón *P' sale* también un *centímetro*, ó mejor, si colocamos sobre el pistón *P* un peso de *un kilogramo* veremos que deberemos colocar sobre *P'* otro peso de un *kilogramo* para que no haya movimiento.

Esto se comprende fácilmente, pues se puede imaginar un tubo *ideal AMB*, que tenga en todos sus puntos la misma sección que las aberturas *A* y *B*, y esa formación del tubo ideal la podemos concebir, suponiendo que el agua se ha solidificado alrededor del tubo *AMB*, sin que se hayan variado las condiciones del líquido contenido en el interior de la vasija, pues hemos supuesto que el agua *no tiene peso*.

Digamos una vez por todas, que hablamos del agua por abreviación, pero que lo que decimos del agua se dice para *todos* los líquidos.

234.—Ahora bien, supongamos que la vasija tenga *tres aberturas* en vez de *dos*, iguales (*fig. 167*) y entonces se comprende que si ejercemos una presión de 10 kilogramos sobre el pistón *A*, también necesitaremos ejercer una presión de 10 kilogramos sobre *cada uno* de los otros dos pistones *B* y *C*.

Podemos imaginar que los dos pistones *B* y *C*, *están en contacto* (*fig. 168*) y *también se verificará* lo que hemos dicho. Por consiguiente, en vez de poner dos pistones *B* y *C*, podemos poner uno sólo *D* (*fig. 169*) pero con una sección *doble* de la sección *A* y entonces, para que haya equilibrio necesitaremos colocar un peso de 20 kilogramos sobre el pistón *D*, es decir, pues, que para una *abertura doble* hemos necesitado una *presión doble* para obtener el equilibrio, lo

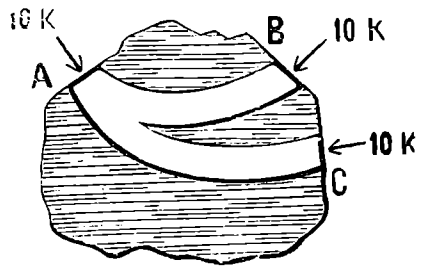


Fig. 167
Principio de Pascal

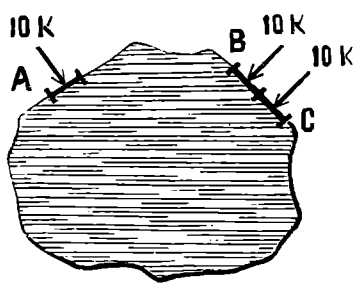


Fig. 168

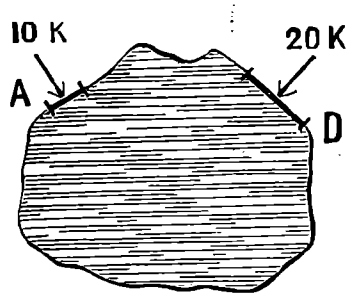


Fig. 169

Principio de Pascal

cual se puede expresar diciendo, que la presión que se ejerce sobre un líquido, supuesto sin peso, contenido en una vasija «es trasmitida á todos los puntos de las paredes internas, *proporcionalmente á la extensión* de la pared que se considera.»

Este es el *principio de Pascal*, ilustre genio que á los 39 años de edad moría (1662) legándonos todo su caudal de ciencia, que le valió aún en vida fama universal.

—Actualmente se enuncia el principio de *Pascal* diciendo:

Si sobre una porción plana de la superficie de un líquido se ejerce una presión cualquiera, esta presión

se trasmite integralmente en todos sentidos á toda porción plana de pared igual á la primera.

«Pascal lo enunció diciendo, si en un pistón de sección, igual á 1, empuja un hombre, éste *equilibrará* el esfuerzo de 100 hombres que hagan presión con un pistón 100 veces mayor y seguramente vencerá á 99.»

235.—Demostración experimental.—El principio de *Pascal* se puede demostrar haciendo uso del aparato siguiente:

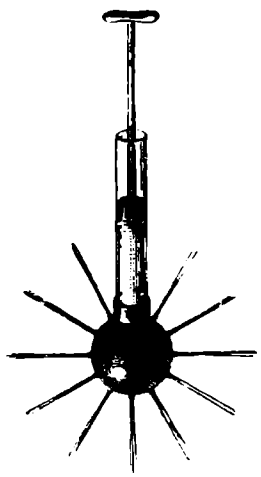


Fig. 170
Principio de Pascal

Una esfera hueca á la cual se han (*fig. 170*) adaptado pequeños tubos distribuidos en su superficie.

La esfera está unida á un tubo cilíndrico que está munido de un pistón.

Llénese de agua la esfera: introdúzcase el pistón y se verá salir por todos los tubitos, chorros de agua que *llegarán á la misma distancia.*

Esto nos prueba que la presión *se trasmite en todos sentidos.*

236.—Para demostrar la *proporcionalidad de las presiones á las superficies,* nos valdremos de dos cilindros verticales (*fig. 171*) de diámetro desigual que comunican entre sí por otro tubo horizontal.

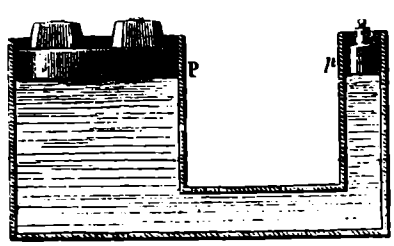


Fig. 171
Principio de Pascal

Supongamos que un cilindro tenga una sección *20 veces mayor* que el otro y si introducimos dos pistones sobre los cuales colocamos peso, observaremos que *para obtener el equilibrio* deberemos colocar en el pistón del cilindro grande un peso también *20 veces mayor* que en el pistón pe-

queño, es decir, si se colocan 10 kilog. en p, deberemos colocar 200 kilog. en P.

Si la diferencia de las secciones de los cilindros fuera de 1 á 1000, veríamos que 1 kilog. bastaría para equilibrar un peso de 1000 kilogramos; luego queda demostrado que se verifica la proporción

$$\frac{P}{P'}=\frac{S}{S'}$$

que es el *Principio de Pascal.*

237.—Caso de los líquidos pesados.—Hasta ahora supusimos que el líquido *era sin peso*, pero como esto no se verifica en la práctica, es necesario tener presente que las presiones que se ejercen sobre las superficies planas del líquido, no son sólo las *exteriores*, sino *también las debidas al peso del líquido*, que serán tanto más considerables cuanto mayor será la profundidad á que está la superficie plana que se considera.

238.—Generalización del principio de Pascal.—El principio de *Pascal es también verdadero* para toda porción plana tomada *en el interior* del liquido.

Efectivamente, toda porción $m\ n$ (*fig. 172*) plana, sufre una presión proporcional á su superficie, lo cual comprenderemos fácilmente, imaginando que la porción $m\ n$ forme parte de una superficie ideal $B\ m\ n\ C$, que suponemos en el interior del liquido y que imaginamos también, solidificada la porción del líquido comprendida entre esta superficie y la pared de la vasija BDC.

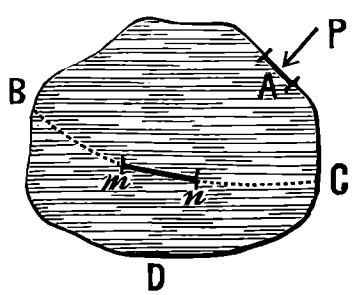


Fig. 172
Presión interior

En ese supuesto, la porción $m\ n$ será una porción de la *superficie* del líquido; luego estará sujeta á la misma ley.

Ya hemos dicho que con ese supuesto no se modifican ni las presiones exteriores ni el estado de equilibrio del liquido.

239.—Aplicación del principio de Pascal.—*Pascal* imaginó aplicar su principio á máquinas destinadas á desarrollar

grandes esfuerzos, pero no consiguió su objeto por la dificultad de obtener perfectos ajustes.

Bramah consiguió por un medio ingenioso, el *perfecto ajuste* deseado y desde entonces la *Prensa Hidráulica* ha tenido una continua aplicación en todos los ramos de la industria donde se necesita desarrollar una gran fuerza.

Actualmente se usa para la compresión de la lana, algodón, paños, papel, para esprimir el aceite de las semillas; para la fabricación de las velas esteáricas, para probar las máquinas á vapor; la resistencia de las cadenas y cabos empleados en la marina, y una infini-

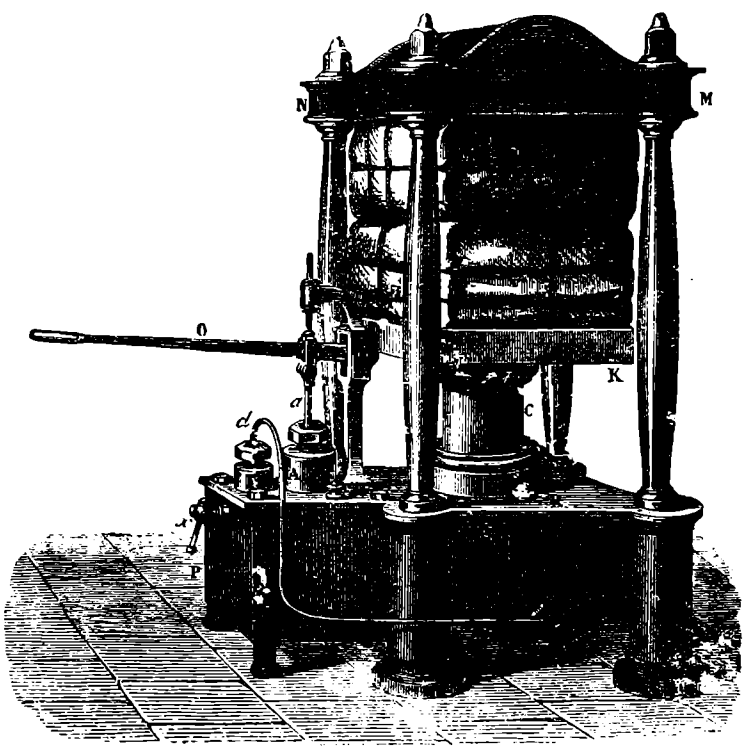


Fig. 173
Prensa hidráulica

dad de aplicaciones de las cuales indicaremos algunas, al fin de este capítulo.

La *prensa hidráulica* consiste en un pistón *C (fig. 173)*

de grandes dimensiones y que puede subir y bajar en un cilindro *B* de paredes resistentes.

Este cilindro lleva en su parte superior una plataforma *K* que es guiada en su movimiento por cuatro columnas *M*, *N* que están coronadas por una cubierta de fierro *MN*, también muy resistente.

Subiendo el cilindro *C*, comprime como lo indica la figura, los objetos que se colocan sobre la plataforma *K*.

Una *bomba de inyección a* (*fig. 174*) aspira por la

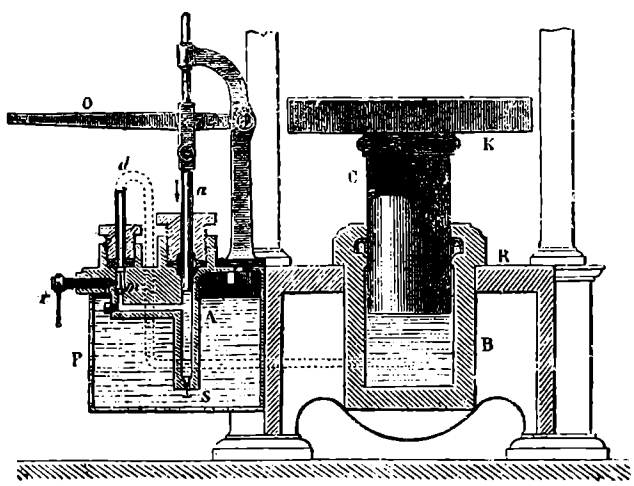


Fig. 174
Prensa hidráulica

válvula *S*, el agua contenida en un depósito *A* y la inyecta por medio del tubo *md* al cilindro *B* debajo del pistón.

En virtud del principio de *Pascal*, si suponemos que el pistón *C* tenga una sección 100 veces mayor que la sección del pistón *a*, resultará que la presión que se ejerce en *a* se *centuplicará* en *C*.

—Para hacer notar el enorme efecto de esta máquina, supongamos que la sección de *C* sea 1000 veces mayor que la de *a* y supongamos que el pistón *a* recibe su acción por medio de una palanca *O* que suponemos *10 veces mayor* que la palanca de la resistencia.

Si un hombre mueve la palanca *O* desarrollando una

fuerza de 20 kilógramos, resultará que el esfuerzo transmitido por el pistón será $= 20 \times$ *brazo de palanca*, es decir:

$$20 \times 10 = 200 \text{ } \textit{kilogramos}$$

pero como la sección de *C* es mil veces mayor que la de *a*, resultará que el efecto transmitido por el pistón será:

$$200_k \times 1000 = 200.000_k = 200 \text{ } \textit{Toneladas}$$

es decir, que un hombre desarrollando un esfuerzo de 20 kilogramos, habrá producido un esfuerzo de 200 toneladas.

Esto es en el supuesto de que la relación entre las secciones de los pistones sea de 1: 1000.

Es necesario tener presente que aquí también se aplica el principio que dice: «lo que se gana en fuerza, se pierde en velocidad».

240.—Al desarrollarse una tan grande presión debajo del pistón *C*, el agua trata de pasar entre el cilindro y el pistón, lo cual produce pérdida de fuerza.

Bramah evitó esto ideando un ajuste perfecto por medio de una piecita de cuero impermeable al agua y que consiste en un cuero circular encorvado en forma de canaleta (*fig. 175*) que se coloca en una encanaladura hecha en el cilindro.

Fig. 175
Prensa estopa de Bramah

Uno de los costados de la canaleta se ajusta contra el cilindro y el otro costado contra el pistón.

Cuanto mayor es la presión del agua, también tanto mayor y más perfecto es el ajuste.

241.—Prensa Esterhidráulica.—Cuando se quiere pasar un cierto límite de presión, la bomba de inyección no

funciona con perfección y entonces *Desgoffé* ideó hacer penetrar dentro del cilindro una barra á tornillo que desaloja el agua y obliga á subir el cilindro *A* (*fig. 176*).

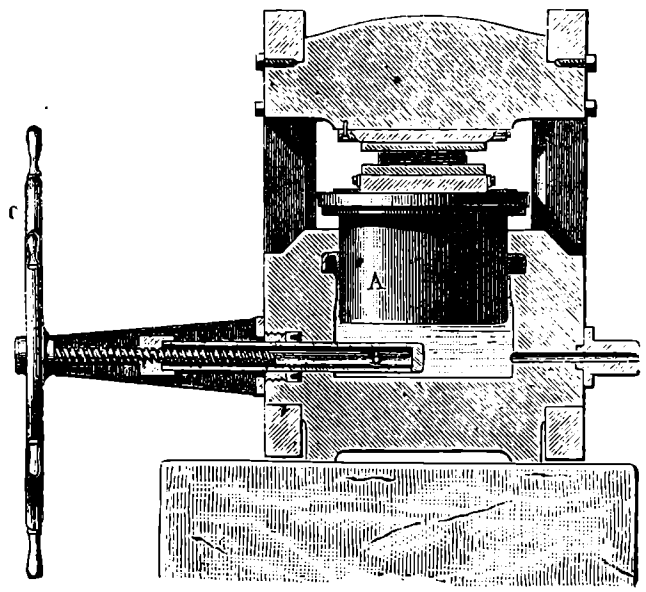


Fig. 176
Prensa esterhidráulica

Otra modificación consiste en suprimir la bomba de inyección y reemplazarla con una cuerda de tripa que está fuera del cuerpo de bomba y que puede arrollarse á un torno colocado en el interior del depósito, y movido desde el exterior.

A medida que la cuerda se va arrollando al torno va desalojando el agua y por consiguiente, ejerciendo una enorme presión que levanta al pistón *B*.

CAPÍTULO II

EQUILIBRIO DE LOS LIQUIDOS PESADOS

242.—Presión en un punto interior.—Todo lo que hemos dicho hasta ahora, relativo á los líquidos, ha sido para líquidos supuestos *sin peso*, cosa que no se verifica en la naturaleza.

En la práctica, á las presiones exteriores habrá que agregar las presiones interiores, es decir, las debidas á la acción de la gravedad.

En los líquidos pesados, también se verifica que «un punto interior del líquido recibe presiones iguales y dirigidas en todo sentido».

Para demostrar eso, imaginemos tener una vasija con agua é imaginemos una porción de ese líquido que rodea un punto O (*fig. 177*) y concibamos también solidificado el resto del líquido.

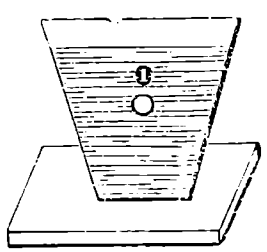


Fig. 177
Presión en un punto interior

Sobre la superficie que rodea á *O*, se ejercerán además de las presiones exteriores las presiones *debidas al peso* del líquido contenido *dentro* de dicho elemento, presiones que serán diferentes para cada elemento de superficie; pero si imaginamos que la superficie que rodea al elemento *O* vaya siendo cada vez menor, también irán siendo menores esas diferencias, hasta que llevando esa disminución hasta el infinito, sucederá con respecto al punto *O* lo que sucedía para *un punto* en un líquido no pesado.

Puede, pues, considerarse que el líquido contenido dentro del elemento *O no está sujeto* á la acción de la gravedad, y si imaginamos una serie de planos que pasen por el punto *O*, todos ellos, cualquiera que sea la inclinación, sufrirán presiones proporcionales á la extensión de su superficie, *con tal que* tomemos extensiones de superficie tan pequeñas, que estén contenidas en el elemento *O*.

Todo esto prueba que el *principio de la igualdad de presión*, se verifica no sólo para los líquidos supuestos sin peso, sino *también para los líquidos pesados*.

243.—Presión en una misma capa horizontal.—Tomemos dos puntos *A* y *B* situados sobre el mismo plano horizontal en el interior de una masa líquida *(fig. 178)*, contenida en un vaso cerrado:

Imaginemos: 1º que alrededor de los puntos *A* y *B*, se hayan trazado dos círculos elementales, verticales y paralelos entre sí.

2º Que sobre esos círculos se imagine formado un cilindro.

3º Que se haya solidificado todo el líquido menos el comprendido dentro de ese cilindro.

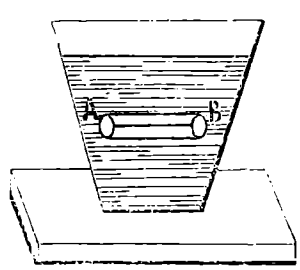


Fig. 178
Presión en una capa horizontal

Ahora bien, sobre ese cilindro líquido pueden obrar dos clases de fuerzas; las debidas á una *presión exterior* y las debidas á la *gravedad*.

Las presiones exteriores se transmiten igualmente para toda porción de superficie igual y como los círculos elementales *A* y *B son iguales*, resulta que la presión exterior será igual en *A* y en *B*.

Ahora en cuanto á la acción de la gravedad, sabemos que su acción es *vertical* y como hemos imaginado que el cilindro tiene su eje *A B horizontal*, resultará que *no hay motivo* para que ejerza mayor presión sobre

una base que sobre la otra; luego los elementos *A* y *B* reciben también *igual presión* por la acción de la gravedad.

Como antes recibían *igual presión* por efecto de las acciones exteriores, se deduce el principio que dice:

En un líquido en equilibrio la presión es la misma en todos los puntos de una misma capa horizontal.

244.—Verificación Experimental.—Tómese una vasija con agua é introdúzcanse tres tubos (*fig. 179*) *t*, *t'* *t''* teniendo cuidado de que la abertura inferior esté colocada sobre un mismo plano horizontal *a b* y se observará, que á pesar de la distinta dirección de la abertura el líquido *se elevará á la misma altura* en el interior del tubo.

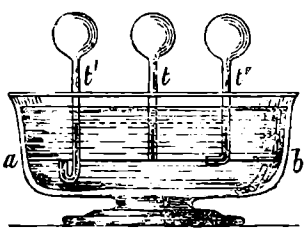


Fig. 179
Presión en una capa horizontal

245.—Diferencia de presión en dos capas horizontales que están á diferente altura.—Supongamos que los dos puntos *A* y *B* estén colocados en dos capas distintas y *verticalmente*, é imaginemos que esos puntos sean los centros (*fig. 180*) de dos círculos que constituyen las bases de un cilindro *AB*.

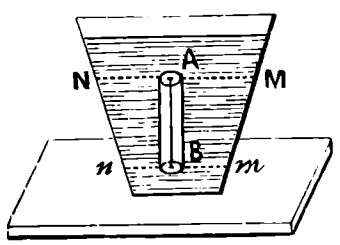


Fig. 180
Diferencia de presión en dos capas

Imaginemos solidificado todo el líquido menos el del cilindro y entonces tendremos, que sobre los elementos *A* y *B*, obran como en el caso anterior dos clases de presiones; las presiones exteriores y las debidas al *peso* de líquido que forma el cilindro.

Las presiones exteriores son iguales sobre las dos bases, puesto que éstas tienen igual superficie, pero las presiones debidas á la gravedad del líquido interior *no son iguales.*

Efectivamente, la base superior *A* no soporta peso alguno y la base inferior *B* soporta todo el peso del cilindro, es decir, que *la presión en dos puntos de capas horizontales colocados á diferente profundidad, es proporcional á la diferencia de nivel entre las dos capas horizontales.*

Este es el *Teorema General de la Hidrostática.*

246.—Superficie libre de un líquido.—Hasta hora hemos supuesto que el líquido llenaba por completo las vasijas y supongamos ahora que la vasija no esté llena.

Ya dijimos que la superficie del líquido en estas condiciones *se dispone horizontalmente,* es decir, perpendicular á la vertical.

—Esto se puede demostrar valiéndonos de los principios establecidos anteriormente.

Efectivamente, supongamos que la superficie libre del líquido se haya dispuesto según *a b c d (fig. 181)* y consideremos dos elementos *m* y *n* iguales, de una capa *horizontal PQ.* Consideremos también los filetes líquidos *bn* y *cm* y tendremos que la presión en *n* será igual al peso del cilindro *bn* y la presión en *m* será el peso del cilindro *cm* (**245**); pero las presiones en *m* y *n tienen que ser iguales* (**243**) por pertenecer á una misma capa horizontal; luego el peso del cilindro *bn tendrá que ser igual* al peso del cilindro *cm.* Estos dos cilindros son de la misma sustancia y tienen la misma base; luego *sus alturas tienen que ser iguales,* es decir, que debemos tener

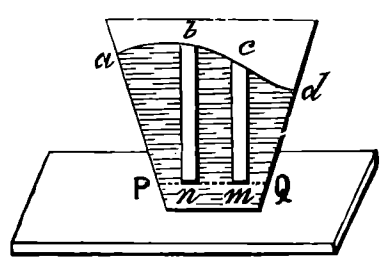


Fig. 181
Superficie libre de un liquido

$$cm = bn$$

y como la capa *PQ* es horizontal, la igualdad anterior

nos conduce á que la línea *bc tiene que ser horizontal*, luego *la superficie libre del líquido es horizontal.*

—Esto es cierto cuando se trata de porciones limitadas de agua; es sólo un caso particular de otro principio que dice:

La superficie libre de un líquido no puede estar en equilibrio, sino cuando la superficie se dispone normalmente á la resultante de las fuerzas que solicitan la masa líquida.

De modo, pues, que la superficie de un líquido sólo será horizontal cuando las verticales están tan cercanas que se pueden tomar como paralelas.

Por eso es que las aguas del mar se disponen según una superficie convexa y esa superficie en la cercanía de las grandes montañas no será horizontal, porque la plomada es desviada por la masa de la montaña.

247.—Presión sobre el fondo de un vaso.—Vamos á determinar la presión que una masa líquida ejerce sobre el fondo horizontal de un vaso.

Supongamos tener un vaso cilíndrico *ABCD* (*fig. 182*) y consideremos un elemento superficial *m* de la capa horizontal que está en contacto con el fondo.

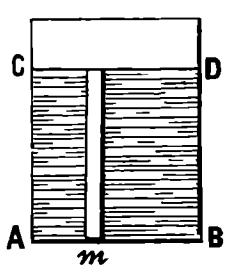


Fig. 182
Presión en el fondo de un vaso

Este elemento sufrirá una presión (245) igual al peso de un cilindro líquido cuya base es la superficie elemental y cuya altura es la distancia vertical entre la capa *AB* y la superficie libre del líquido.

Pero también sabemos (243) que todos los puntos de la capa *AB* sufrirán la misma presión; luego la capa *AB* que es el fondo del vaso, sufrirá la *suma de las presiones ejercidas* sobre sus elementos superficiales y de aquí el enunciado que dice:

La presión ejercida por un líquido sobre el fondo

horizontal de la vasija que lo contiene, es igual al peso de un cilindro cuya base es el fondo del vaso y cuya altura es la distancia comprendida entre el fondo y la superficie libre del líquido.

248.—Este *principio es general*, sea cual fuere la forma de la vasija.

Supongamos tener la vasija *ABCD* (*fig. 183*) y consideremos un elemento superficial *S* de su fondo.

Ese elemento sufre una presión igual al peso de un cilindro líquido cuya base es el elemento superficial y cuya altura es la distancia entre el fondo y la superficie libre del líquido.

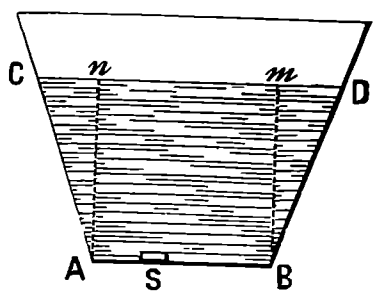


Fig. 183
Presión en el fondo de un vaso

Ahora bien, cada uno de los elementos de la capa horizontal *AB tienen que sufrir una presión igual*, no mayor ni menor, luego, la presión total sobre el fondo, es el peso del líquido contenido en el cilindro *ABmn*, lo cual nos comprueba la verdad de la regla para este caso.

El líquido contenido sobre las partes *A C n* y *B D m*, no ejerce acción sobre el fondo y su presión es soportada por las paredes laterales *A C* y *B D*.

249.—Supongamos que la vasija tenga la forma indicada en la *fig. 184* y consideremos un elemento *S* sobre su fondo horizontal.

Sobre este elemento, el líquido ejercerá una presión igual al peso de un cilindro líquido, cuya base sea la superficie elemental y cuya altura sea la distancia del fondo á la superficie libre del líquido y como el elemento *S'* sufrirá igual presión y lo mismo *todos los elementos* de la capa *A B*, resultará que el fondo recibirá una presión igual á la *suma* de todas las presiones, es decir, sufriría una presión igual al peso del cilindro *A B n m*.

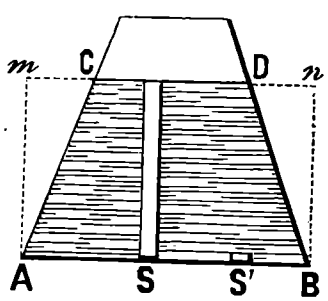


Fig. 184
Presión en el fondo de un vaso

250.—Finalmente, supongamos el caso indicado en la *fig. 185* en el cual ninguna porción del fondo del vaso se encuentra colocada verticalmente debajo de la superficie libre del líquido.

El elemento *m* de la capa *n' c* recibe la presión de un filete líquido,

cuya altura es $n\,m$; luego toda la capa $n'\,c$ recibe una presión igual al peso de un cilindro líquido, cuya base es $n'\,c$ y cuya altura es $n\,m$.

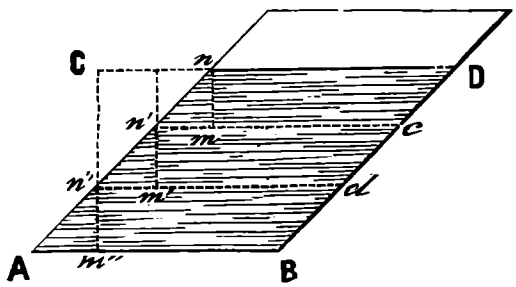


Fig. 185
Presión en el fondo de un vaso

Considerando ahora la capa horizontal $n''\,d$ un elemento m' recibirá la presión de un cilindro líquido cuya altura es $n'\,m'$, *más* la presión que ya sufrian los elementos de la capa $n'\,c$ y que se transmite *íntegramente* á la capa $n''\,d$. Luego, el elemento m' de la capa $n''\,d$ sufre la presión del peso de un cilindro cuya altura es

$$n'\,m' + n\,m$$

Las mismas consideraciones haríamos para el elemento m'' del fondo, qne sufriria una presión igual al peso de un cilindro cuya altura es:

$$m''\,n'' + m'\,n' + m\,n = C\,m''$$

pero $C\,m''$ es *la distancia entre el fondo del vaso y la superficie libre del líquido;* luego para este caso también se aplica el principio.

251.—De todo lo dicho se deduce que *la presión sobre el fondo de un vaso es independiente de la forma de la vasija y de la cantidad absoluta del líquido que contiene. Sólo depende de la altura y de su densidad.*

252.—Verificación Experimental.—La verdad del principio anterior puede comprobarse con el *Aparato de Haldat.*

Este consiste en un tubo acodado *a b c* (*fig. 186*), sostenido como el resto del aparato por un bastidor de madera.

El brazo *a* está terminado por una tuerca *R* en la cual pueden atornillarse una después de otra las vasi-

jas *m, n, p, q, s,* de *diferente forma* y *capacidad* pero cuyas bases ó *fondos* son todos *iguales.*

Para operar con él, empecemos por atornillar el vaso cilíndrico *m* sobre la tuerca *R* y echemos en él una cierta cantidad de agua, cuya *altura* se marcará por medio del tornillo α.—A medida que va aumentando el agua en la vasija, se nota que el mercurio que previamente se colocó en el tubo acodado, *se eleva* en la rama *c* hasta *c'* por ejemplo, cuyo punto se marca por medio de un anillo que puede correr á lo largo de la rama *c.*

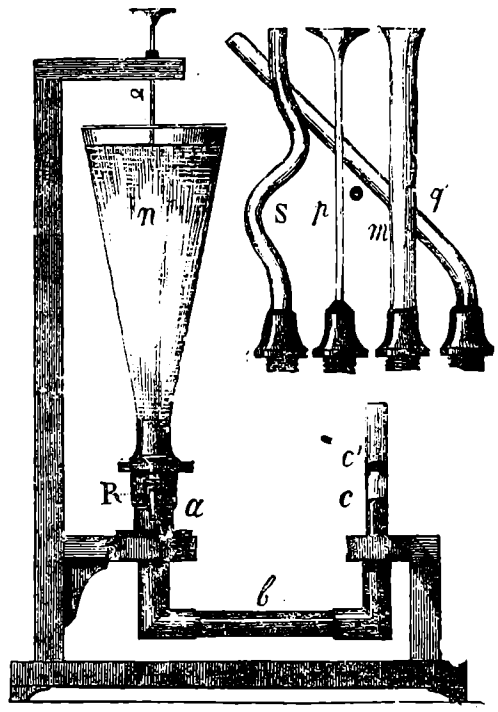


Fig. 186
Aparato de Haldat

La altura á que llega el mercurio en la rama *c*, *mide la presión del agua* contenida en la vasija sobre su fondo.

Si enseguida sacamos el vaso *m* y colocamos el *n*, llenándolo de agua hasta enrasar también con la extremidad del tornillo α, se verá que el mercurio vuelve á *subir en la rama c* justamente hasta el anillo y lo mismo se verificará si colocamos las vasijas *p, q, s.*

Esto comprueba *experimentalmente* la verdad del principio.

253.—Aparato de Masson.—El aparato de *Masson* sirve también para comprobar lo mismo.

Consiste en una balanza (*fig. 187*) que tiene un platillo en uno de los extremos de la cruz, y en el otro extremo, un hilo que lleva suspendido

un obturador *a* que se puede ajustar sobre el fondo de los vasos *M*, *P*, *Q*, de *distinta forma y capacidad,* pero *de fondos iguales.*

Se fija un vaso cualquiera *M* sobre la tuerca y sosteniendo con la mano el obturador *a*, se vierte agua hasta que la superficie libre enrase con el tornillo *O*.

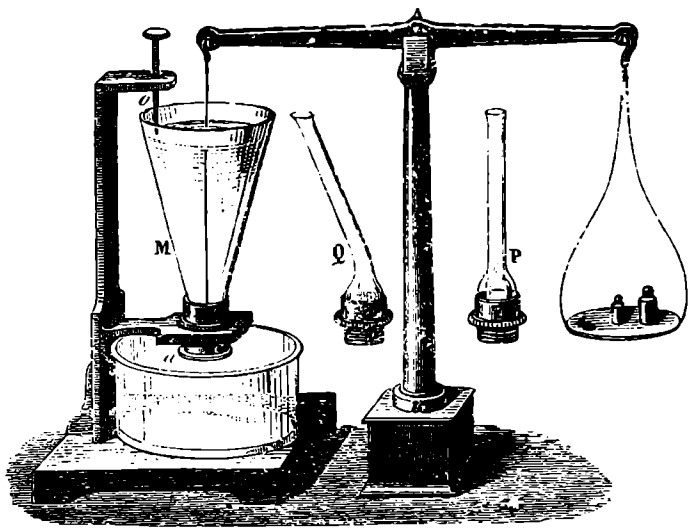


Fig. 187
Aparato de Masson

Enseguida se colocan pesos en el platillo de la balanza hasta que la cruz quede horizontal. Entonces los pesos *medirán la presión que el líquido ejerce sobre el fondo* del vaso.

Si se colocan las vasijas *P* y *Q*, repitiendo las mismas operaciones, se notará que *se necesitan los mismos pesos para mantener el equilibrio* de la balanza, luego, las presiones sufridas por el fondo han sido *iguales* á pesar de la diferente forma y capacidad de los vasos.

254.—Paradoja Hidrostática.—Supongamos que los vasos *M*, *P*, *Q*, pesados vacíos y directamente sobre una balanza acusen *el mismo peso.*

Fijémosles un fondo, llenémoslos de un mismo líquido y volvámoslos á pesar. Es natural que *el peso ya no será el mismo*, pues en unos hay más líquido que en otros.

Esta aparente contradicción de que la *presión* sobre

el fondo de varios vasos sea *igual* y que el *peso* sea *distinto*, es lo que se llama *Paradoja Hidrostática.*

Cuando estudiemos las presiones sobre las paredes laterales, nos daremos perfectamente cuenta de esto.

255.—Presión sobre las paredes laterales.—El líquido contenido en una vasija, no sólo ejerce presión sobre su fondo sino también sobre las paredes laterales.

Esto se comprueba abriendo un pequeño agujero en una pared lateral. El líquido se lanzará hacia afuera, lo cual prueba que sobre la pared se ejerce una presión que es normal, pues el líquido sale *normalmente* á la superficie de la pared.

Que la presión *debe ser normal*, es evidente, pues si fuera oblícua se podría descomponer en dos, una normal al elemento de pared y otra tangente á ésta.

La fuerza normal no tiene más efecto que comprimir el líquido contra la pared, pero la otra fuerza daría lugar á un movimiento del líquido y por consiguiente *ya no habría equilibrio*, lo cual es contrario al supuesto.

—Vamos á demostrar ahora que: «La presión sobre una porción *plana* de una pared lateral de un vaso, es igual al peso de una columna líquida cuya base será la porción plana de superficie y la altura, la distancia del centro de gravedad de la superficie á la superficie libre del líquido.»

Tengamos el elemento *a b* de la pared lateral de la vasija (*fig. 188*). Sobre el elemento *a* se ejercerá la misma presión que sobre la capa *a a''*; sobre el *c* se ejercerá la misma presión que sobre la capa *c c'* y sobre el elemento *b*, se ejerce la misma presión que sobre la capa horizontal *bb'* pero como sobre las capas *aa'*, *bb'* y *cc'* se ejercen presiones distintas, resultará que sobre los elementos del plano *ab* se ejercen presiones *iguales á la suma* de los pesos de los *cilindros elementales*, cuyas bases son los elementos de superficie del plano *ab* y cuyas alturas son las distancias desde los puntos del plano á la superficie libre del líquido.

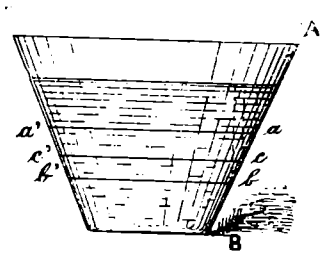


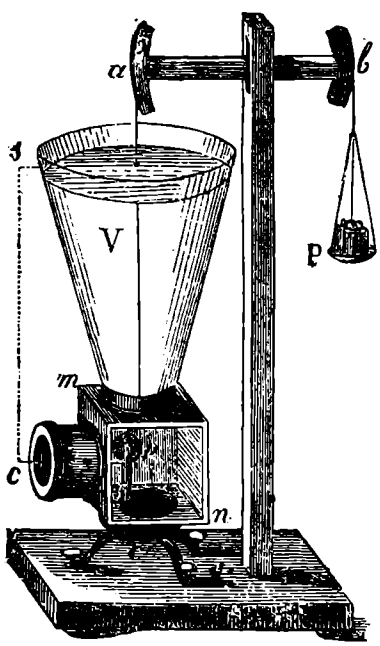
Fig. 188
Presión sobre las paredes

Pero á esta suma podemos sustituir el peso del volumen del liquido cuya base es la porción plana *ab* y cuya altura es la *media* de las distancias de los puntos del plano á la superficie libre.

Ahora bien, el *centro de gravedad* de la porción plana es el punto que está colocado á esa *distancia media* de la superficie libre del liquido, lo cual comprueba el enunciado.

El punto de aplicación de esa presión está más abajo del centro de gravedad de la porción de pared, y su determinación, aunque no muy difícil cuando la superficie considerada tiene una forma geométrica, es muy complicada cuando afecta otras formas.

256.—Verificación Experimental.—Para verificar experimentalmente este principio nos valdremos de un aparato llamado *Máquina de Pascal* y que consiste *(fig. 189)* en *un cubo* con tres paredes laterales de vidrio, teniendo la cuarta una tuerca en la que se puede atornillar un tubo *c*, dotado de un pistón móvil el cual está ligado por medio de un hilo, que pasando por una polea interior *p* y por una palanca superior *a b* termina en un platillo *P* en donde se colocan pesos.



Máquina de Pascal
Fig. 189

Se vierte agua en la vasija *V* y como la presión del agua empuja el pistón, se colocan pesos en el platillo hasta que se obtenga el equilibrio.

Se mide la distancia *c s* entre el centro del pistón y la superficie del líquido y se saca el cilindro *c:* se tapa la abertura y se atornilla el mismo cilindro en la cara inferior del cubo *c'*.

Vuelve á echarse agua en la vasija *V* y se verá que el peso *P*, equilibrará la presión sobre el fondo, cuando

la altura del agua sobre el pistón *c'* sea igual á la altura que habíamos medido antes *c s*.

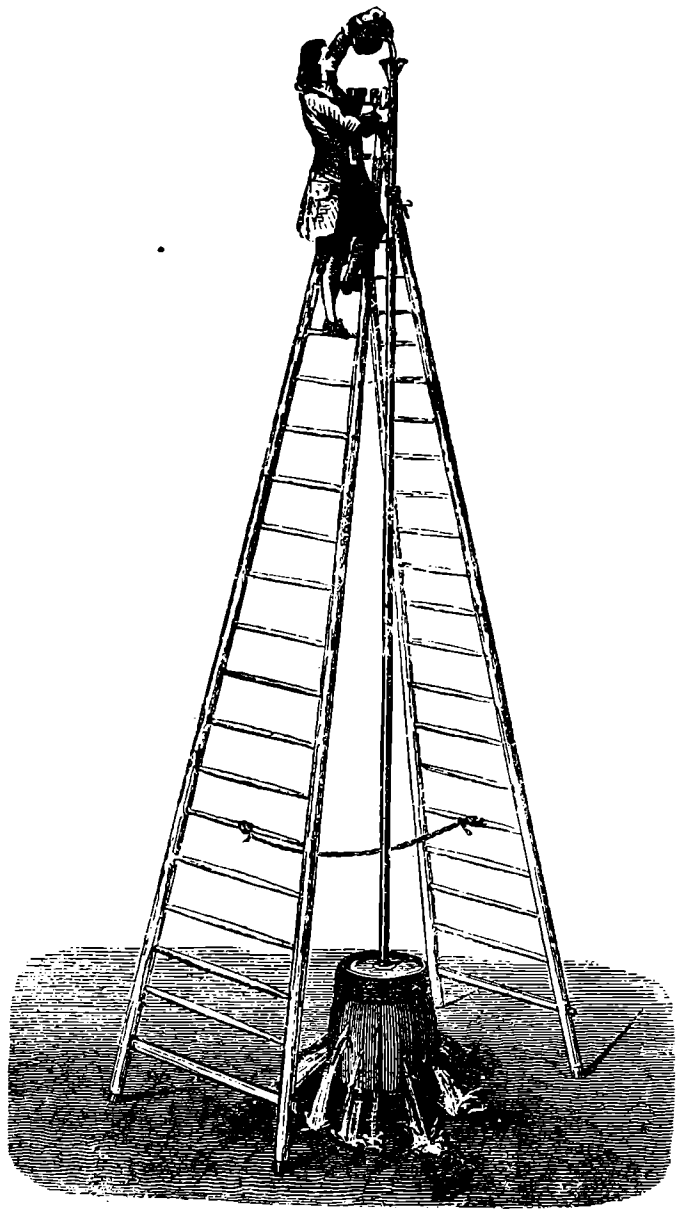


Fig. 190
Tonel de Pascal

Veremos entonces que la presión es igual en el *pistón vertical y en el horizontal,* siempre que la altura de la columna líquida sea la misma.

257.—Tonél de Pascal—Hay infinidad de experimentos y aparatos que se fundan sobre los principios establecidos anteriormente.

Uno de ellos es el *Tonél de Pascal*, que consiste en un tonel común que se llena de agua y al que se adapta ajustadamente un tubo de hierro de pequeño diámetro de unos 10 metros de alto (*fig. 190*).

Si por la parte superior del tubo se vierte agua hasta una cierta altura, agua que puede estar *contenida en una jarra* pequeña, se ve que el tonél bajo la acción de esa pequeña cantidad de agua, hace explosión, debido á que *en realidad* la presión equivale al peso de un cilindro líquido cuya base es la del tonél y cuya altura es la de la columna líquida en el tubo.

258.—Torniquete hidráulico.—Consiste este aparato en una vasija *M* que está suspendida superior é inferiormente (*fig. 191*), de manera que puede girar alrededor de un eje vertical.

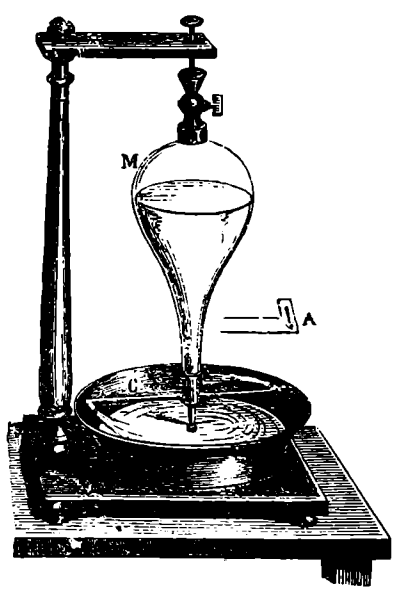


Fig. 191
Torniquete hidraulico

El recipiente está terminado en su parte inferior por un tubo horizontal *C* con sus extremidades acodadas.

Si se llena de agua el recipiente *M* y se abren las aberturas del tubo horizontal, se verá que el aparato empieza á girar alrededor de su eje vertical y su velocidad será tanto mayor, cuanto mayor es la altura del líquido, es decir, cuanto mayor es la *presión*.

Este movimiento, como se comprende, es debido á las

presiones laterales que ejercen los líquidos sobre las vasijas que los contienen.

Efectivamente, supongamos tener el tubo *M* (*fig. 192*). Mientras está cerrado, se ejercen las presiones *P* y *P'* sobre las paredes laterales, las que se destruyen y conservan el equilibrio.

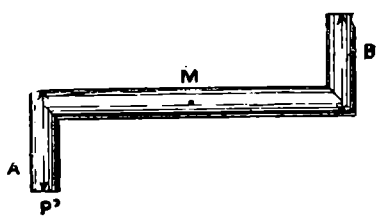


Fig. 192

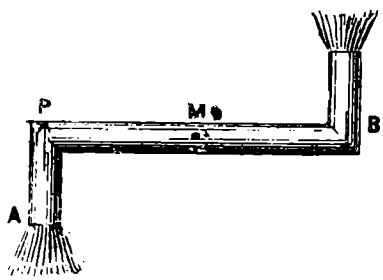


Fig. 193

Trinquete hidráulico

Si se abre la abertura *A* (*fig. 193*) ya no existirá la presión *P'* y el líquido podrá salir libremente mientras que la presión *P*, tendrá por efecto hacer girar el aparato, pues se habrá formado una *cupla* ó *par* de fuerzas.

Estos aparatos llevan el nombre de *vasos á* reacción.

259.—Flotador á reacción.—Un recipiente *V* conteniendo agua y dotado de un robinete *M* (*fig. 194*), está sostenido por un trozo de corcho que flota en una vasija con agua. Abriendo el robinete *M* el agua del recipiente *V* se vierte por él y subsistiendo sólo la presión *P*, se verá que el flotador *marchará* en sentido contrario al escape del agua.

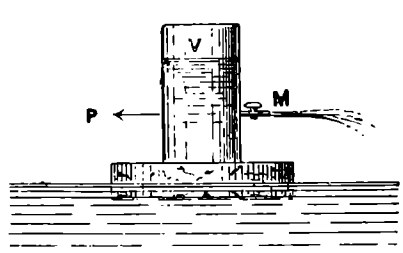


Fig. 194

Flotador á reacción

260.—Péndulo á reacción.—Una esfera hueca y munida de un robinete *N* (*fig. 195*) está llena de agua y suspendida por un hilo.

Si se abre el robinete se verá que el péndulo empezará á oscilar.

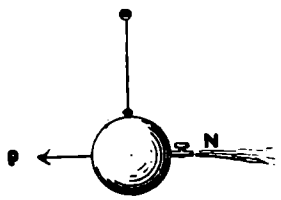


Fig. 195
Péndulo á reacción

261.—Presión de abajo hacia arriba.—Ya dijimos que la presión que se ejerce *sobre los líquidos*, ó la que *ellos mismos ejercen*, se transmite *en todos sentidos.*

Ya hemos comprobado que se verifica en lo que se refiere á las presiones de *arriba hacia abajo* y las presiones sobre las *paredes laterales:* vamos á comprobar ahora, que también se verifica de *abajo hacia arriba.*

Para eso tomemos un tubo abierto en sus extremidades, pudiendo ser la abertura inferior horizontal como *a* (*fig. 196*), ú oblícua como *b*. Adaptemos en la extremidad inferior un disco de *mica*, para que su peso sea despreciable y sosteniéndolo por medio de un hilo, introduzcamos el tubo así obturado dentro de una vasija que contenga agua.

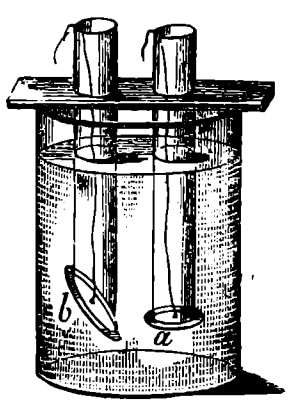


Fig. 195
Presión de abajo hacia arriba

Una vez introducido el tubo, podremos abandonar el hilo, y veremos que el disco queda adaptado al tubo, lo cual es debido á *la presión que de abajo hacia arriba*, ejerce el líquido.

Si enseguida echamos agua en el interior del tubo se verá que el disco de mica se desprenderá del tubo *cuando la columna de agua interior* haya llegado á la *misma altura* del agua de la vasija, luego:

La presión de abajo hacia arriba que se ejerce sobre

una superficie cualquiera, es igual al peso de una columna de agua que tenga por base la superficie considerada y por altura, la altura del líquido sobre dicha superficie.

—En el fondo de los mares se ejercen presiones enormes, pues cada diez metros de altura equivale aproximadamente á la presión de una atmósfera.

CAPÍTULO III

PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

262.—Cuerpos sumergidos en los líquidos.—Cuando un cuerpo está *enteramente* sumergido en un líquido, todos los puntos de su superficie soportan presiones más ó menos intensas según sea la profundidad á que están sumergidos.

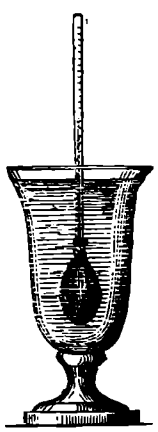


Fig. 197
Principio de Arquimedes

Esto se puede comprobar por medio de una vejiga llena de un líquido cualquiera, por ejemplo, vino, (*figura 197*) perfectamente ajustada á un tubo de vidrio.

Si se introduce la vejiga dentro de una vasija con agua, se notará inmediatamente que el líquido que estaba en la vejiga empieza á subir por el tubo, lo cual es debido á la *presión* que ejerce el agua sobre las paredes de la vejiga.

263.—Supongamos ahora, que el cuerpo sumergido en el líquido sea el cilindro *m n* (*figura 198*). Este cilindro sufrirá presiones de abajo hacia arriba, de arriba hacia abajo y lateralmente.

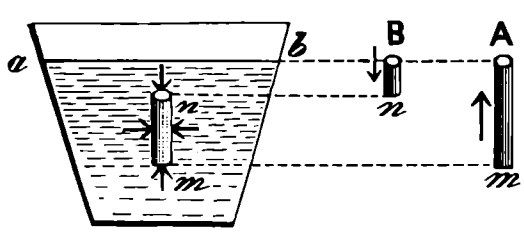


Fig. 198
Principio de Arquimedes

Estas últimas quedan anuladas porque serán siempre *dos á dos iguales* y contrarias.

La presión de *arriba hacia abajo* estará representada por el peso del cilindro líquido B, teniendo por base la base n y por altura, la distancia á la superficie libre del líquido.

La presión de *abajo hacia arriba* está representada por el peso del cilindro líquido A, que tiene por base la superficie m y por altura, la distancia al nivel del líquido; luego el cuerpo recibirá evidentemente de *abajo hacia arriba* una presión igual á

$$A - B$$

que es *igual al peso del volumen* de líquido igual al del cuerpo sumergido $m\ n$.

—De aquí se deduce el *principio de Arquímedes*, que dice:

Todo cuerpo sumergido en un líquido pesado en equilibrio, recibe de abajo hacia arriba un empuje igual al peso del volumen del líquido desalojado.

Es evidente que este principio es cierto, sea cual fuere la forma del cuerpo sumergido.

264.—Verificación Experimental.—Para verificar experimentalmente la verdad de este principio, nos valdremos de la *Balanza hidrostática* (*fig. 199*), que como vemos, no es más que una balanza de suspensión superior, cuya columna tiene una cremallera D, y un piñón C, para poder subir y bajar á voluntad la cruz de la balanza y cuyos platillos tienen en su parte inferior un ganchito.

Como útiles complementarios para el experimento, hay una vasija con agua y *dos cilindros* uno hueco y otro macizo, pero tales que el macizo pueda *enchufar* exactamente dentro del cilindro hueco.

Para operar, colguemos del ganchito de uno de los

platillos el cilindro hueco *A* y debajo de él, el cilindro de macizo *B*.

En el otro platillo colóquense pesos hasta que se obtenga el *equilibrio*.

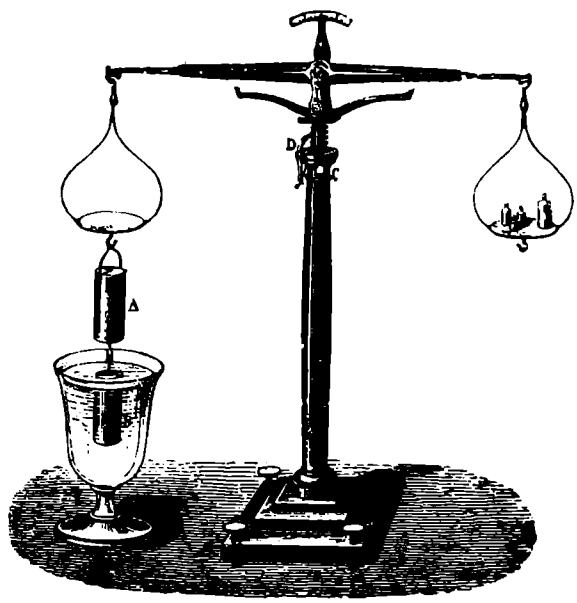


Fig. 199
Balanza hidrostática

Enseguida llevemos la vasija con agua debajo del cilindro macizo *B* é introduzcamos este cilindro dentro del agua, como lo indica la figura.

Después de esta operación, *parecerá* que el cilindro *B haya perdido peso* y la balanza se inclinará del lado de los pesos.

Esto prueba la primera parte del principio, es decir, que el *cuerpo sumergido ha recibido un empuje de abajo hacia arriba*.

—Tenemos, pues, roto el equilibrio, pero si llenamos de agua el cilindro hueco *A cuya capacidad interior es igual al volumen del cilindro macizo B*, el equilibrio se *restablecerá*, lo cual prueba la segunda parte del principio es decir, que el empuje es igual *al peso del volumen del líquido desalojado*.

265.—Si se quiere usar para la verificación un cuerpo de forma cualquiera como el *c* (*fig. 200*) se suspende debajo del platillo de la balanza hidrostática y se toma una vasija *V* con agua, cuyo nivel *a* se marca.

Se coloca sobre el platillo que sostiene el cuerpo un pequeño vaso *f*, y se establece el equilibrio.

Enseguida se sumerge el cuerpo en el agua, como se ve en la figura, y se observará que el nivel del líquido se habrá elevado hasta *n'*. El líquido que ocupa la vasija, desde *n* á *n'*, representará el volumen del cuerpo.

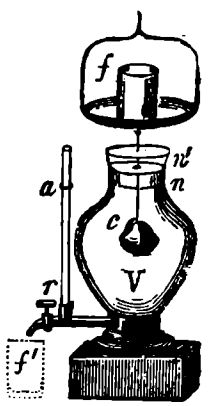


Fig. 200
Principio de Arquímedes

Se saca el vaso *f*, se coloca debajo del robinete *r* y se deja salir agua hasta que el nivel del líquido haya vuelto á *n*; luego habremos sacado un volumen de líquido *igual* al volumen del cuerpo.

Se vuelve á colocar el vaso *con el líquido* en su primitivo lugar y se verá que estando el cuerpo sumergido en el agua *el equilibrio se habrá restablecido.*

266.—Esa *pérdida aparente* de peso, que sufre un cuerpo al sumergirse en los líquidos, ha hecho que primitivamente se enunciara el *principio de Arquímedes* diciendo:

Un cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso igual al peso del líquido que desaloja.

267. Problema de Arquímedes.—Se cuenta que el descubrimiento de este principio fué debido á que habiendo *Hieron*, rey de Siracusa, encargado á su joyero que le construyera una corona con 20 libras de oro que le entregó y sospechando que el joyero hubiese mezclado plata con el oro, encargó á *Arquímedes* que *sin destruir la corona*, calculara qué cantidad de plata había en la corona.

Habiendo ya notado *Arquímedes*, en el baño, el empuje que su cuerpo sumergido en el líquido recibía, determinó la densidad del oro y de la plata, y anotando el empuje ó pérdida aparente de peso de la corona al sumergirse en el agua, pudo resolver el problema planteado.

268.—Recíproco del principio de Arquímedes.—Hemos visto que un cuerpo sumergido en un liquido *recibe un empuje de abajo hacia arriba* igual al peso del líquido que el cuerpo desaloja. Ahora bien, sabemos que la *acción* es igual y contraria á la *reacción* (**105**) y si el liquido ha ejercido un empuje sobre el cuerpo, á su vez el cuerpo ejercerá también una presión sobre el líquido.

Este principio que es el *recíproco* del principio de Arquímedes, se expresa diciendo:

Todo cuerpo sumergido en un líquido pesado en equilibrio, ejerce sobre el líquido una presión dirigida de arriba hacia abajo, igual al peso del líquido desalojado.

269.—Verificación experimental.—Para verificar experimentalmente este principio, nos valdremos de los mismos elementos usados para verificar el principio anterior.

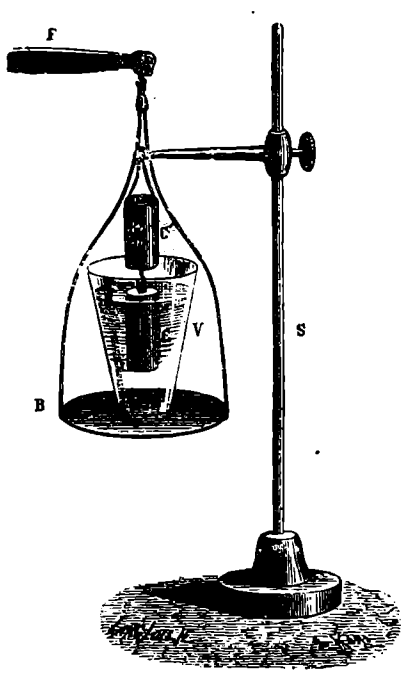


Fig. 201
Principio de Arquímedes

Se coloca la vasija con agua V sobre el platillo *B* de la balanza hidrostática (*fig. 101*) y se establece el equilibrio.

Sobre el soporte *S* colócanse los dos cilindros que usamos en el experimento anterior — y moviendo convenientemente la cruz de la balanza, se introduce el cilindro macizo *C* en el agua.

Inmediatamente se verá que el equilibrio de la balanza se ha roto inclinándose la balanza hacia el lado en que está la vasija.

Esto prueba que el líquido ha recibido una *presión de arriba hacia abajo*.

Enseguida se saca *de la vasija* V una cantidad de agua suficiente para llenar el cilindro hueco *C* y

se verá que el equilibrio queda restablecido. Esto nos prueba la segunda parte del principio, es decir, *que la presión es igual al peso* de un volumen de agua igual al líquido desalojado.

270.—Equilibrio de los cuerpos sumergidos en los líquidos.— Hemos visto que cuando un cuerpo está sumergido en un líquido, está sugeto á la acción de múltiples fuerzas, pero las fuerzas que tratan de romper el equilibrio son dos:

1º *El peso del cuerpo.*

2º *El empuje del líquido.*

Estas fuerzas son contrarias. La primera está dirigida de arriba hacia abajo y la segunda de abajo hacia arriba.

Según predomine una ú otra de estas fuerzas, se tendrán diferentes fenómenos.

—Si el *peso es igual al empuje*, entonces el cuerpo estará en equilibrio en cualquier posición dentro del agua.

—Si el *peso es mayor que el empuje*, el cuerpo se irá al fondo.

—Si el *peso es menor que el empuje*, entonces el cuerpo subirá á la superficie, saliendo fuera del agua parte de él.

271.—Verificación experimental.—Para verificar esto tomemos tres vasijas *S*, *D* y *N* (*fig. 202*).

En la primera *S*, pongamos *agua salada;* en la segunda *D*, pongamos *agua destilada* y en la tercera *N*, una mezcla conveniente de *agua dulce y salada.*

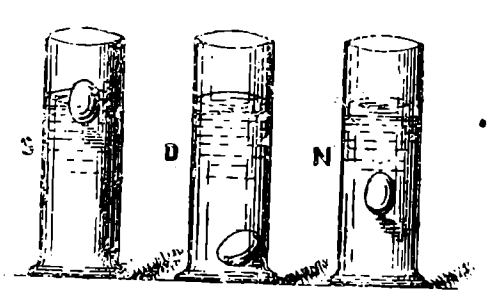


Fig 202
Cuerpos flotantes

Si se introduce un huevo en cada vasija, se notará

que en la vasija *S* el huevo flota porque el *empuje es mayor* que el peso del huevo.

En la segunda vasija *D*, el huevo va al fondo porque el *empuje es menor* que el peso.

En la tercera vasija *N*, el huevo queda en un punto cualquiera del líquido porque *el empuje es igual* al peso del huevo.

Pero como el peso del huevo ha sido siempre el mismo, resulta que *el empuje es el que ha variado* y para que esto se verifique, es necesario que en igualdad de volumen haya sido diferente el peso del líquido, lo cual se expresa diciendo que los líquidos tienen distinta densidad.

272.—Ludión.—Este aparato llamado también *Diablo cartesiano*, tiene el mismo objeto que el experimento anterior.

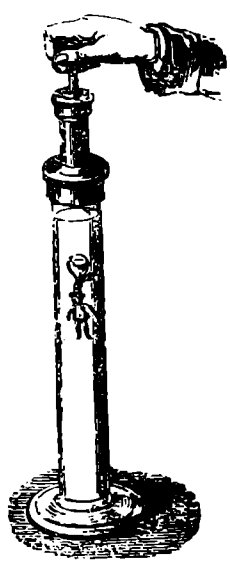


Fig 203
Ludión

Consiste en un tubo cilíndrico de vidrio (*fig. 203*) cerrado en la parte superior por una armadura de cobre munida de un pistón que se puede introducir á simple presión.

En el tubo se ha vertido agua y dentro del agua se ha colocado un diablillo hueco de porcelana, que tiene un pequeño agujero para permitir la entrada del agua dentro del cuerpo del muñeco.

Dejando quieto el pistón, el diablillo flota, porque su peso es menor que el peso del líquido desalojado, es decir, porque su densidad es menor que la del agua.

Introduciendo el pistón el diablillo se irá á fondo.

¿Qué ha sucedido?

Al introducir el pistón se ha comprimido el aire, cuya presión se ha transmitido al líquido, el cual com-

prime á su vez el aire interior del diablillo y permite la entrada de una cierta cantidad de agua al interior del muñeco.

El volumen del diablillo ha quedado siempre el mismo, pero su peso ha aumentado por la introducción del agua; luego ha aumentado su densidad y por consiguiente, *es mayor el peso que el empuje;* luego el diablillo *se ve obligado á bajar.*

En el experimento anterior era el agua la que variaba de densidad, y en este caso, es el cuerpo el que varía de densidad.

273.—Equilibrio de los cuerpos flotantes.—Ya dijimos que cuando un cuerpo sumergido en un líquido pesado en equilibrio, sufre un empuje de abajo hacia arriba *mayor que su peso*, el cuerpo *subirá* y llegando á la superficie, parte de él, *emergerá* del líquido, en cuyo caso *el líquido desplazado será menor* y por consiguiente, el empuje *disminuirá* también, hasta que llegará un momento en que el *empuje del líquido será igual al peso del cuerpo.*

—Esta es una de las condiciones de equilibrio de los cuerpos flotantes, que se enuncia diciendo:

Para que un cuerpo flote sobre la superficie de un líquido, es necesario que el peso del cuerpo sea igual al peso del líquido desalojado por la parte sumergida.

274.—Esta ley se puede *verificar experimentalmente* por medio del experimento indicado en la *fig. 204*, que como vemos, consiste en un recipiente que contiene agua y que está munido de un tubo lateral *m*,

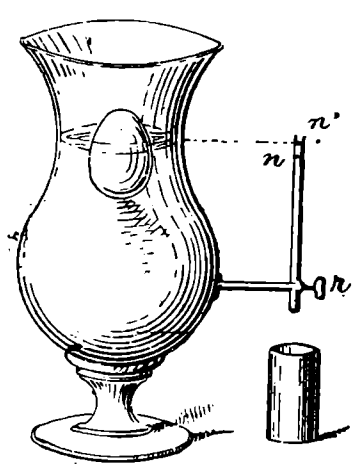


Fig. 204
Cuerpos flotantes

destinado á marcar el nivel del líquido por medio de un anillo *n* que puede correr á lo largo del tubo.

Supongamos que el nivel del líquido está en *n*. Si introducimos en el líquido una esfera hueca, el nivel se elevará á *n'* y si por el robinete *r* quitamos agua hasta que el nivel vuelva á *n*, esa cantidad de agua *medirá* el líquido desalojado por la *parte* de esfera que está sumergida.

Ahora bien, si se *pesa el líquido*, se verá que ese peso *será igual al peso de la esfera*, es decir, igual al peso del cuerpo flotante.

275.– La *segunda Ley* del equilibrio de los cuerpos flotantes se expresa diciendo que:

El centro de gravedad G del cuerpo y el centro C

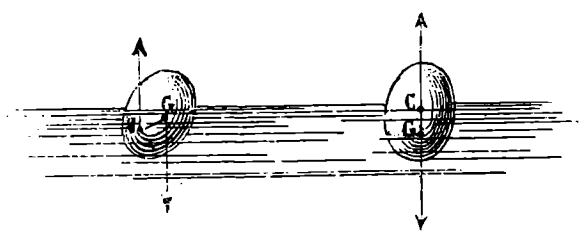


Fig. 205
Cuerpos flotantes

(fig. 205) de empuje del líquido desalojado, deben estar sobre la misma vertical.

Esto es evidente, pues sino estuvieran sobre la misma vertical, tendríamos en dos puntos *G* y *C* de un cuerpo aplicadas dos fuerzas iguales y contrarias, lo cual nos produciría *un par ó cupla*, que tendría por efecto hacer *girar* el cuerpo; luego el cuerpo no estaría en equilibrio; luego el supuesto es imposible.

276.—Estabilidad del equilibrio de los cuerpos flotantes.—Veamos ahora la condición para que el equilibrio sea *estable*.

Si por la forma del cuerpo flotante ó por su heterogénea constitución resulta que *el centro de gravedad del cuerpo está debajo del centro del empuje* ó centro de gravedad del liquido desalojado, es evidente que el *equilibrio* será *estable*.

Si el centro de gravedad del cuerpo flotante *está arriba* del centro de empuje, el equilibrio *podrá ser ó no ser estable*.

Todo dependerá de la posición de un punto especial que se considera en el interior del cuerpo flotante y que se llama *Metacentro*.

277.—Supongamos tener el cuerpo flotante indicado en la *fig. 206* y sean G el centro de gravedad del cuerpo y C el centro del empuje.

Supóngase también, que hemos desviado el cuerpo de su posición de equilibrio. El punto G habrá pasado á G', y el punto C á C'.

En ese caso, levantando la vertical que pasa por C', podemos considerar que el empuje E está aplicado en O intersección de la vertical C' O con la recta G' A'.

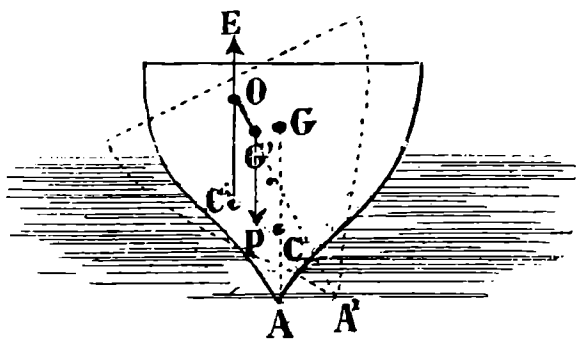


Fig. 206
Metacentro

Como el peso P del cuerpo estará *siempre* aplicado en el punto invariable G', resultará un *par de fuerzas* cuyo efecto es restituir el cuerpo á su primitiva posición; luego en este caso, el equilibrio es *estable*.

278.—Supongamos ahora que el punto G haya pasado á G' (*fig. 207*), pero que el punto C haya pasado á C'.

Haciendo la misma construcción que en el caso anterior y considerando aplicado en O el empuje E, resultará que la cupla P G' O E tenderá á *inclinar más y más el* cuerpo; luego en este caso el equilibrio es *inestable*.

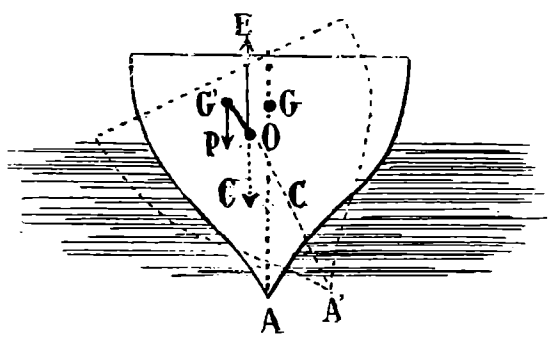


Fig. 207
Metacentro

Observemos que en el 1er caso, es decir, cuando el equilibrio es *estable*, el punto O *está más arriba que el centro de gravedad* del cuerpo, mientras que en el 2º *caso*, en que el equilibrio es *inestable*, el punto O está debajo del centro de gravedad del cuerpo.

—Este punto O es el *metacentro*.

Luego la *condición de estabilidad* de los cuerpos flotantes es que *«el metacentro se encuentre arriba del centro de gravedad del cuerpo»*.

Cuando el centro de gravedad del cuerpo está debajo del centro de empuje, el metacentro está *siempre* arriba del centro de gravedad del cuerpo; luego en este caso, el equilibrio es *siempre estable.*

—Podemos definir el *metacentro* diciendo que es:

El punto de intersección de la línea que une el centro de gravedad del cuerpo y el centro de empuje cuando el cuerpo está en equilibrio, con la vertical que pasa por el nuevo centro de empuje cuando se ha desviado el cuerpo de su posición de equilibrio.

279.—Equilibrio de líquidos superpuestos.—Si mezclamos dos líquidos que no se disuelven ó combinan y los ponemos en una misma vasija, se verá que el líquido *más denso* va al fondo y el menos denso se dispone arriba del primero y que *la superficie de separación de los líquidos es un plano horizontal.*

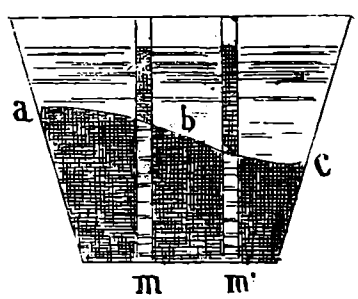


Fig. 208
Líquidos superpuestos

Supongamos (*fig. 208*) que hemos mezclado mercurio y agua y que la superficie de separación ha tomado la forma *a b c*. Como sabemos que todos los puntos de una capa horizontal de un líquido *deben sufrir igual presión,* resultará que los elementos *m* y *m'* deberán sufrir igual presión, lo cual no sucederá si aceptamos que la superficie de separación tome la forma de *a b c;* luego esa superficie *tiene que ser horizontal.*

Fig. 209
Líquidos superpuestos

Si en vez de ser dos líquidos, fueran *varios que no se combinan* ó mezclan, los líquidos se dispondrán por capas, yendo á la parte inferior los que en igualdad de volumen pesan más (por orden de densidades).

Eso se comprueba por medio de un tubo (*fig. 209*),

en el que se ha colocado *mercurio, una disolución salina, alcohol y petróleo.*

Si agitamos el tubo y lo dejamos enseguida reposar, veremos que los cuatro líquidos se separarán por orden de densidad y que la superficie de separación entre cada dos de ellos es horizontal.

280.—Para demostrar que la superficie de separación de los líquidos tiene que ser horizontal, imaginemos que hemos vertido *dos líquidos* en una vasija. Sabemos que la superficie $P\,Q$ *(fig. 210)* se dispone horizontalmente y vamos á demostrar que la superficie $M\,N$ le será paralela, es decir, será horizontal.

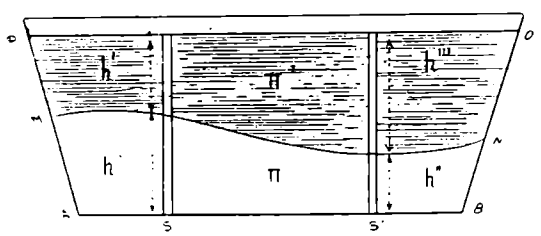


Fig. 210
Superficie libre de un líquido

Si consideramos dos elementos superficiales S y S' y sobre ellos consideramos el filete líquido, resultará que $s\,h$ y $s\,h'$ representarán el volumen de los filetes líquidos superpuestos sobre s y que $s'\,h''$ y $s'\,h'''$ serán los volúmenes de los filetes líquidos superpuestos sobre s'.

El peso de esos filetes sería respectivamente

$$s\,h\,\pi,\ s\,h'\,\pi',\ s'\,h''\,\pi \quad \text{y} \quad s'\,h'''\,\pi'$$

luego la presión ejercida sobre s y s' sería respectivamente

$$P = s\,h\,\pi + s\,h'\,\pi' \quad \text{y} \quad P' = s'\,h''\,\pi + s'\,h'''\,\pi'$$

y si suponemos que la base $A\,B$ sea horizontal, resultará que las presiones son iguales, luego sale

$$s\,h\,\pi + s\,h'\,\pi' = s'\,h''\,\pi + s'\,h'''\,\pi'$$

y como los elementos superficiales son iguales, resulta dividiendo por s

$$\pi\,h + \pi'\,h' = \pi\,h'' + \pi'\,h'''$$

y trasponiendo términos

$$\pi\,h - \pi\,h'' = \pi'\,h''' - \pi'\,h'$$

ó bien

$$\pi\,(h - h'') = \pi'\,(h''' - h')$$

luego

$$\frac{\pi}{\pi'} = \frac{h''' - h'}{h - h''} \qquad (1)$$

Pero los liquidos son cualesquiera, luego los pesos especificos π y π' son cualesquiera, luego la razón $\frac{\pi}{\pi'}$, es cualquiera, luego es indeterminada, luego

$$\frac{\pi}{\pi'} = \frac{O}{O}$$

luego la (1) nos da

$$\frac{h''' - h'}{h - h''} = \frac{O}{O}$$

es decir

$$\begin{aligned} h''' - h' &= O \\ h - h'' &= O \end{aligned}$$

y para que se verifique eso es necesario que

$$\begin{aligned} h''' &= h' \\ h &= h'' \end{aligned}$$

luego las lineas $A\,B$, $M\,N$ y $P\,Q$ son paralelas y como $P\,Q$ es horizontal resultará que $M\,N$ es un *plano horizontal.*

281.—Equilibrio de un liquido en vasos comunicantes.—Supongamos que el recipiente que contiene el líquido esté formado por dos vasos A y B que *se comunican* por un tubo C.

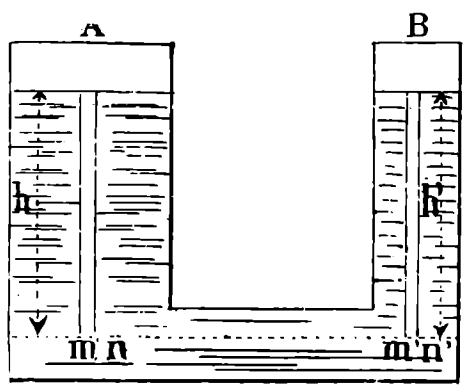


Fig. 211
Vasos comunicantes

Los elementos m n y m' n' pertenecientes á una misma capa horizontal (*fig. 211*), sufrirán la misma presión que si el liquido estuviera *en una sola vasija.*

La presión sobre el elemento $m\,n$, será expresada por el peso de una columna líquida de base $m\,n$ y altura h, es decir, la expresión será igual *al peso* da un cilindro *cuyo volumen es*

$$v = m\,n \times h$$

luego el peso será, recordando que es igual al *peso específico multiplicado por el volumen*

$$P = m\,n \times h \times \pi$$

siendo π el peso específico del líquido.

Análogamente la presión sobre el elemento $m'\,n'$ será expresado por

$$P' = m'\,n' \times h' \times \pi$$

—Si el líquido *debe estar en equilibrio*, las dos presiones P y P' correspondientes á una *misma capa horizontal deben ser iguales;* luego para que haya equilibrio debe tenerse

$$m\,n \times h \times \pi = m'\,n' \times h' \times \pi$$

Pero $m\,n$ y $m'\,n'$ son iguales y π es común porque el líquido *es el mismo*, luego podemos suprimir cantidades iguales en ambos miembros y resultará

$$h = h'$$

que es la condición de equilibrio.

—Ahora bien, nosotros habiamos tomado los elementos $m\,n$ y $m'\,n'$ sobre una misma capa *horizontal* y si el nivel del líquido en los dos vasos debe estar á una altura de esta capa $h = h'$, resultará que el nivel del liquido en ambos vasos *debe estar sobre un mismo plano horizontal.*

—De aquí sacamos la ley del equilibrio de *un líquido* en vasos comunicantes, que nos dice:

Para que un líquido contenido en vasos comunicantes esté en equilibrio, es necesario que el nivel del líquido en los vasos, esté en un mismo plano horizontal.

282.—Verificación Experimental. — Para verificar experimentalmente esta ley, nos valdremos del aparato indicado en la *fig. 212* cuya descripción omitimos.

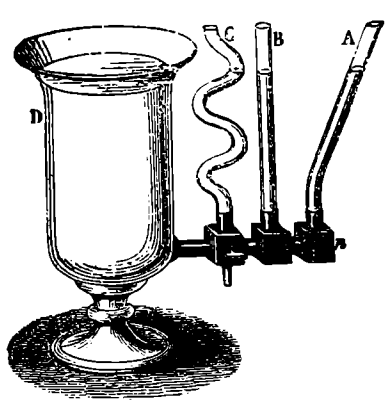


Fig. 212
Vasos comunicantes

Si se echa un líquido en la vasija *D*, veremos que el líquido se dispondrá á un mismo nivel en los vasos *A*, *B*, *C*, *D*.

283.—Equilibrio de dos líquidos heterogéneos en dos vasos comunicantes.—Supongamos ahora tener los mismos vasos *A* y *B* (*fig. 213*) unidos por el vaso *C*, pero pongamos en la vasija *B*, *mercurio* y en la vasija *A*, agua, es decir, dos líquidos de *diferente* peso específico y que no se mezclen.

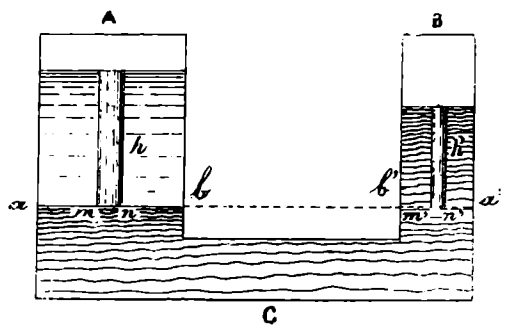


Fig. 213
Vasos comunicantes

El líquido más denso ocupará el fondo de esa vasija acodada y supongamos que sea *a b* la superficie de separación de los dos líquidos.

Si consideramos ahora el plano horizontal *a a'*, los elementos *m n* y *m' n'* que están en él, *deberán sufrir la misma presión* para que haya equilibrio.

Siendo π el peso específico del agua y π' el del mercurio, la presión sobre el elemento *m n* estará expresada por

$$P = m\ n \times h \times \pi$$

y la presión sobre el elemento *m' n'* por

$$P' = m'\ n' \times h' \times \pi'$$

pero *para que haya equilibrio*, las dos presiones deben ser iguales, es decir,

$$m\ n \times h \times \pi = m'\ n' \times h' \times \pi'$$

pero *m n* y *m' n' son iguales*, luego *la condición de equilibrio* será

$$h \times \pi = h' \times \pi'$$

que se puede escribir

$$\frac{h}{h'} = \frac{\pi'}{\pi}$$

lo que nos dice, que *la altura de los líquidos en los dos vasos comunicantes estará en razón inversa de los pesos específicos de los líquidos.*

Esta es la ley de equilibrio de dos líquidos de distinta densidad en dos vasos comunicantes.

284.—Aplicaciones del equilibrio de los líquidos en vasos comunicantes.—Los principios enunciados anteriormente se aplican á la explicación de los *pozos artesianos*, así como á la construcción del *nivel de agua* y el *nivel á burbuja.*

285.—Pozos.—Supongamos que la *fig. 214* represente una sección de la corteza terrestre y que se tengan dos capas *ABC* y *A' B' C' impermeables* que comprenden una capa *permeable.*

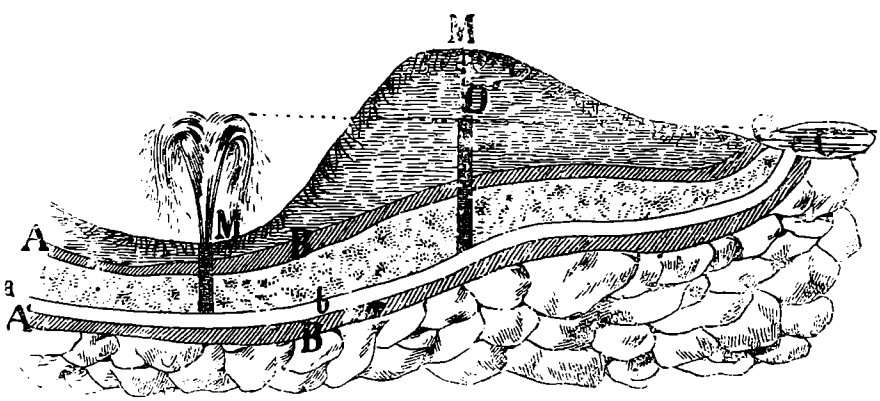


Fig. 214
Pozos Artesianos

Como la capa *permeable* comprendida entre *C* y *C'* está en contacto con la atmósfera, podrán llegar á ella las aguas de las lluvias, arroyos, ríos, etc., y entonces el agua filtrará y ocupará la capa *a b c*, como si fuera este un tubo ó vaso acodado.

El agua que está en *a b c* no puede pasar á la superficie de la tierra, porque se interpone la capa impermeable *ABC;* pero si nosotros por medio de una sonda horadamos la capa *ABC* como en *M* y *M'*, se establecerá un sistema de dos vasos comunicantes y el agua se elevará en esos pozos ó tubos hasta *una altura igual* al nivel del punto *c*.

Es decir, que el agua se elevará hasta *O* y *O'* que están en el mismo plano horizontal que el punto *c*.

En *M'* tendríamos un pozo llamado *Artesiano* y en *M* un pozo *semi-surgente*.

Vemos que en *M'* el agua se elevará *sobre* el terreno y no llegará exactamente hasta el nivel *c*, debido en parte á la resistencia del aire y en mayor parte al peso de las gotas de agua que al caer, chocan con el agua que se eleva.

A estos pozos se les ha dado el nombre de *Artesianos*, porque fueron construidos por primera vez en Francia en el departamento de *Artois*.

—Los pozos artesianos más notables son: el de *Grenelle* en París, que tiene 548^{m} de profundidad; eleva el agua á 33^{m} de altura del suelo y produce 3.000 litros de agua por minuto: el de *Passy* que tiene 586^{m} de profundidad: el del *Balde* en la provincia de San Luis; tiene 600 metros de profundidad y da 5,000 litros de agua por minuto.

286.—Se comprende como aplicando este principio, pueden utilizarse los *pozos absorventes* para sanear los terrenos anegadizos, como los bañados, etc.

Si en el punto *M'* de la superficie terrestre, hubiera un bañado, nos bastaría perforar una serie de pozos como el *M' O'* y el agua caería en ellos y pasaría á engrosar la corriente ó capa subterránea *a b c*.

287.—No entraremos á explicar la construcción de las fuentes que se usan como ornato de los jardines, ni

el uso del agua en las mangas para incendio, porque se basan en el principio de los vasos comunicantes, no presentando ninguna dificultad para imaginar su funcionamiento.

288.—Nivel de agua.—Consiste este instrumento en un tubo de latón acodado en sus extremos (*fig. 215*) y terminado por dos tubos de vidrio *c* y *f*. El instrumento está sostenido por un trípode que se puede plegar para facilitar el transporte.

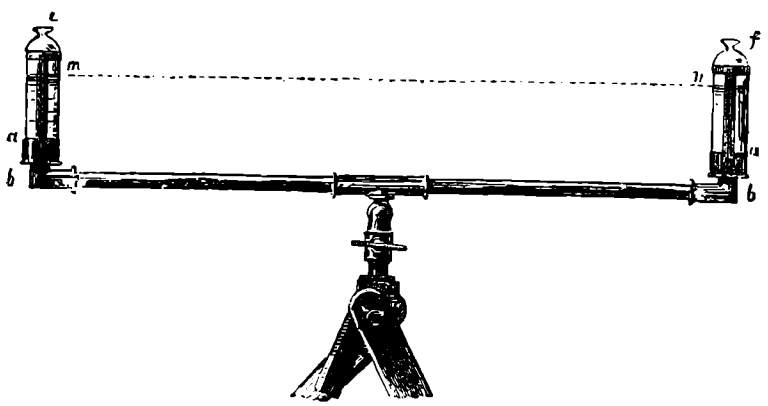


Fig. 215
Nivel de agua

Cuando se opera, se vierte agua en el interior del tubo hasta que el nivel llegue próximamente á la mitad de los tubos de vidrio.

Se habrá formado así, un sistema de dos vasos comunicantes y por consiguiente, *el nivel del líquido en los dos vasos estará sobre un mismo plano horizontal.*

Entonces aplicando el ojo contra uno de los tubos de vidrio y dirigiendo la visual de manera que pase rozando las dos superficies del agua, se tendrá determinada una *línea horizontal.*

—El modo de utilizar este aparato no es del resorte de la *Física.*

Agregaremos que, para hacer más visible el nivel del agua, suele colorearse con anilina roja y que

los dos tubos de vidrio están cubiertos por dos tapas de metal para evitar que después de hecha una operación, baje el nivel del líquido por evaporación.

289.—Nivel á bola de aire.—Este nivel consiste en un tubo de vidrio *AB* (*fig. 216*) algo prominente ó más convexo en su centro y que contiene en su interior agua ó alcohol y una pequeña *burbuja de aire.*

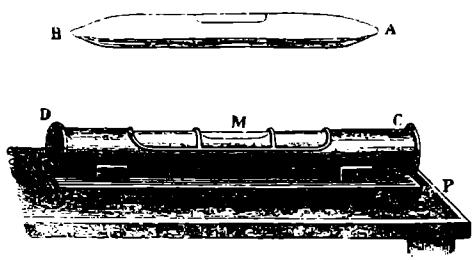


Fig. 216-17
Nivel de aire

El tubo está encerrado en una vaina ó estuche de cobre *DC* (*fig. 217*), que está apoyado sobre una regla del mismo metal.

Este aparato está basado en el principio que nos dice que en una misma vasija, varios líquidos que no se mezclen *se disponen en orden de densidades.*

En este caso no hay más que un solo líquido, pero hay en el interior del tubo una cantidad de aire que es un *fluido menos denso que el agua* ó el alcohol; luego cualquiera que sea la posición que demos al instrumento, la burbuja de aire irá á la parte superior.

Como por medio de correcciones se ha conseguido que el eje del tubo sea *paralelo* á la regla, resultará que colocando el instrumento sobre una mesa *P*, si la mesa es horizontal la regla también lo será; luego la burbuja de aire se colocará en el centro del tubo, *pues ese es su punto más elevado* debido á la prominencia que dijimos tenía el centro del tubo.

Este aparatito es precioso y de continua aplicación.

CAPÍTULO IV

APLICACION DEL PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

290.—Volumen de un cuerpo irregular.—Por medio del principio de Arquímedes, se puede determinar el volumen de un cuerpo irregular.

Para eso se sumerge el cuerpo en una vasija que esté completamente *llena* de agua destilada, teniendo cuidado de sujetarlo en el fondo, en caso que su densidad sea menor que la del agua.

Al introducir el cuerpo en la vasija, el agua rebosará. Recogida ésta en un vaso, se pesa junto con él, se descuenta el peso de este vaso vacío y cada gramo del peso del agua rebalsada representará un centímetro cúbico del volumen del cuerpo.

291.—Natación.— El principio de Arquímedes sirve para explicarnos también la natación del hombre y los animales.

El cuerpo humano pesa menos que el agua que desaloja y sobre todo si es agua de mar. Por consiguiente, parece que debería ser fácil nadar, pero no sucede así, debido á que el hombre que está sumergido en el agua no tiene suficiente serenidad para conservar los brazos y la cabeza dentro del agua y por consiguiente, disminuyendo el empuje, por ser menos el agua desplazada, el cuerpo se va al fondo.

Además, el temor hace que se produzcan contracciones musculares que *disminuyen el volumen* del agua desplazada.

—Por la misma razón, las personas gruesas tienen más facilidad para sostenerse en el agua.

—En el *mar* es más fácil la natación que en el *río*, porque el empuje del agua es mayor, por ser el agua salada más densa que la dulce. En el *Mar Muerto* es tan densa el agua, que una persona flota con toda facilidad.

—Los animales que se ahogan van al fondo, y cuando empieza la putrefacción, los gases que se desprenden aumentan el volumen del cuerpo y este sale á flote.

—Los peces que pueden subir á la superficie están dotados de una especie de saco membranoso que ellos pueden á voluntad dilatar y contraer, aumentando y disminuyendo por consiguiente su volumen, sin variar su peso, lo cual hace que *varíe su densidad* y por consiguiente pueden tener movimiento de ascenso y descenso.

Los peces que viven en el fondo del mar no tienen *vejiga natatoria* ó la tienen muy rudimentaria.

292.—Navegación.—Los buques se sostienen en la superficie del agua, debido al *empuje* que reciben.

Cuanto mayor es el volumen de agua que desaloja el buque, tanto más peso puede tener.

—Para que el equilibrio de un buque sea estable, es necesario que el *metacentro* esté más arriba que el centro de gravedad del buque y que este centro de gravedad esté lo más bajo posible.

De allí la utilidad del *lastre* y la consecuencia de que al estivar el buque se coloque en el fondo de la bodega la carga más pesada.

El *Tonelaje* de los buques representa la carga que los buques pueden llevar y representa también el volumen del agua desalojada.

—Al *pasar* los buques *de un mar á un río* el buque *se sumerge más* y es necesario tener presente esto, para pasar sobre bancos que están á poca profundidad.

—El principio de Arquímedes se utiliza también en el *salvataje de los buques* sumergidos.

Para eso se rodea el casco del buque de una cantidad de recipientes ó cajas llenas de agua. Enseguida se ligan entre sí por medio de cabos ó cadenas que pasan por debajo del buque y por medio de caños se aspira el agua ó se inyecta aire comprimido que reemplaza el agua, las cajas se hacen más livianas y tienden á flotar elevando consigo al buque.

293.—Otras aplicaciones.—Si se deja caer una uva en un vaso que contiene champaña, alrededor de la película de la uva se depositarán pequeñas barbujas de ácido carbónico que *aumentarán el volumen* de la uva *sin aumentar* sensiblemente el peso; luego recibirá un empuje mayor y la uva ascenderá por sí sola.

Llegada á la superficie, las barbujas de ácido carbónico se desprenden, disminuye el volumen y la uva vuelve á caer al fondo del vaso.

Así seguirá ese movimiento de vaivén mientras dure el desprendimiento del ácido carbónico.

—El *hielo flota* sobre los mares, porque es menos denso que el agua.

—Los cuerpos muy *densos* como el *cobre*, el *hierro*, etcétera, pueden flotar cuando se les da formas convenientes para que desplacen más agua que su peso.

—Los *diques flotantes* son otra feliz aplicación del principio de Arquímedes.

Estos diques consisten en grandes plataformas formadas de cajones de hierro, que se llenan de agua, la plataforma se sumerge y haciendo de manera que el buque que se quiere reparar se coloque sobre dicha plataforma, se liga á ella por medio de aparatos especiales.

Enseguida se inyecta aire dentro de los cajones que constituyen la plataforma, y ésta elevándose, eleva consigo el buque que está sobre ella.

Terminadas las reparaciones se llenan de agua paulatinamente los cajones, se sumerge la plataforma, se desamarra, y el buque se encuentra flotando.

—Los *egipcios* utilizaban el principio de Arquímedes para transportar los *obeliscos* que labraban sobre las mismas canteras.

Terminada la construcción, cavaban un canal que estaba en comunicación con el Nilo y prolongaban ese canal de manera que pasara debajo del obelisco, dejándolo á éste apoyado por sus dos extremos, en el terreno firme.

Se esperaba una avenida del Nilo y cuando el canal estaba con agua, se hacían llegar al obelisco dos barcas lastradas de manera que pudieran pasar debajo de él.

Se arrojaba el lastre de los barcos y estos se iban paulatinamente elevando hasta que suspendían el obelisco, obtenido lo cual se empezaba el transporte.

Llegado al punto conveniente se cavaba otro canal y se repetían en un orden inverso las operaciones anteriores.

CAPÍTULO V

PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS Y LOS LIQUIDOS

294.—Diferencia entre peso especifico y densidad.—Se llama *peso específico absoluto* de un cuerpo la *relación que existe entre el peso de un cuerpo y su volumen.*

Así que, llamando π el peso específico de un cuerpo, P el peso de su cuerpo y V su volumen, resultará:

$$\pi = \frac{P}{V} \qquad (1)$$

—Análogamente dijimos que *densidad absoluta* de un cuerpo era la relación entre la *masa de un cuerpo y su volumen;* luego llamando D la densidad del cuerpo, M su masa y V su volumen, resultará:

$$D = \frac{M}{V} \qquad (2)$$

—Si en las expresiones (1) y (2) suponemos el volumen

$$V = 1$$

se tiene:

$$\pi = P \qquad (1)$$
$$D = M \qquad (2)$$

Luego, podemos decir que *el peso específico es igual*

al peso de la unidad de volumen y *la densidad es igual d la masa de la unidad de volumen.*

El *peso específico relativo* es la relación que existe entre el peso de un cuerpo y el *peso* de un volumen igual de agua destilada á 4° de temperatura, y si en la *densidad* tomáramos como término de comparación la *masa* de un volumen igual de agua destilada, resultaría que el *número* que expresa la relación entre *los pesos* será el mismo número que expresa la relación entre *las masas.*

—Nosotros no usaremos indistintamente las dos denominaciones, *densidad* ó *peso específico*, pues debe tenerse presente que el *peso específico* es la *relación entre el peso* de un cuerpo y *su volumen* y que la *densidad* es la *relación entre la masa* de un cuerpo *y su volumen.*

295.—Peso específico relativo de los sólidos.—El problema de la determinación del peso específico de los cuerpos sólidos, consiste en:

1° *Determinar el peso del cuerpo.*
2° *Determinar el peso de un volumen igual de agua.*
3° *Dividir el primer peso por el segundo.*

—Podemos emplear tres métodos distintos:

1° *Método de la Balanza hidrostática.*
2° *Método del Areómetro.*
4° *Método del Frasco.*

296.—Método de la Balanza Hidrostática.—Tómese el cuerpo, cuyo peso específico se quiere determinar, y suspéndase de un hilo (*fig. 218*).

Pésese en esa posición, es decir, *en el aire*, y sea *P* el peso del cuerpo en el aire.

Sumérjase el cuerpo en una vasija que contiene agua destilada y el equilibrio no subsistirá.

Pónganse en el platillo donde está colocado el cuerpo, *pesas*, hasta que el equilibrio se haya restablecido y *esas*

pesas, representarán el *peso del agua desalojada*, es decir, el peso de *un volumen igual de agua.*

—Sea p ese peso de agua; el *peso* específico estará representado por:

$$\frac{P}{p}$$

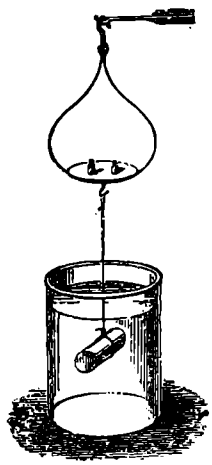


Fig. 218

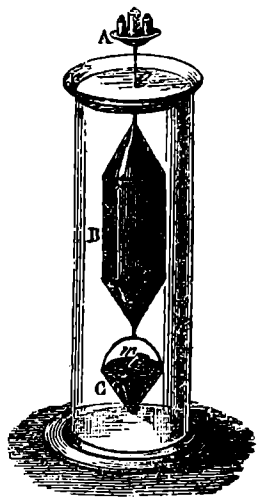


Fig. 219

Peso específico

297. — Método del Areómetro de Nicholson. — Este aparato que fué imaginado por *Charles* y que suele también llamarse *Areómetro-balanza*, consiste en un cilindro metálico *B* (*fig. 219*) terminado por dos conos.

Del vértice del cono superior parte una varilla metálica terminada en un platillo *A*.

Del cono inferior se desprende un pequeño conito *C*, convenientemente lastrado, para que el aparato esté en equilibrio estable.

Sobre la varilla metálica se marca un punto *O* llamado *punto de enrase*.

—Supongamos tener que determinar el peso específico de un cuerpo cualquiera.

Colóquese el cuerpo sobre el platillo *A* y agréguense *pesos* hasta obtener que el punto de enrase llegue al nivel del líquido.

Retírese el cuerpo del platillo *A* y *agréguense pesos* contrastados hasta *volver á obtenerse el enrase.*

Estos pesos *nos darán el peso del cuerpo P* por el método de las dobles pesadas.

Enseguida se sacan del platillo los pesos contrastados que nos han dado el peso del cuerpo.

Se saca el areómetro del agua y se coloca el cuerpo m sobre el conito inferior. Se vuelve á sumergir el aparato en el agua y se verá que *no enrasa.*

Agréguense pesos contrastados hasta obtener el enrase y estos pesos nos darán el peso de un volumen igual de agua destilada.

Sean *p* los pesos agregados y entonces la fracción

$$\frac{P}{p}$$

nos dará el peso específico del cuerpo.

298.—En el caso de que *el cuerpo fuera más liviano que el agua*, al colocarse sobre el conito inferior se cubre con una cestilla metálica, con el objeto de que el cuerpo no suba á la superficie del líquido.

299.—En el caso de que el *cuerpo fuera poroso* es necesario *barnizarlo* después de haberlo pesado, pues en caso contrario, el agua penetrando en los poros, imposibilitaría la operación. El peso específico así obtenido es el *peso específico aparente.*

300.—Método del Frasco.—Esta es *el método más precioso.*

El aparato que se usa consiste en un frasco pequeño (*fig. 220*) de paredes muy delgadas.

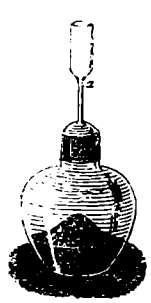


Fig. 220
Método del frasco

El tapón es esmerilado, hueco y terminado por un embudo que está unido á un tubito.

El tubito tiene marcado un punto *a* llamado *punto de enrase.*

Para operar, se sumerge el frasco dentro de una vasija que contiene agua destilada. Se tapa el frasco introduciendo las manos en el agua, de modo que el agua llene el frasco, el tubito y el embudo.

Enseguida con un papel secante se absorbe el agua que hay en el embudo, hasta que su nivel llegue al *punto de enrase.*

Se seca perfectamente y se coloca sobre el platillo de una balanza, *colocando en el mismo platillo el cuerpo* cuyo peso específico se quiere determinar.

Se determina separadamente el peso P del cuerpo.

A continuación se saca el tapón del frasco, se introduce en su interior el cuerpo y se vuelve á tapar con las mismas precauciones que antes.

Se enrasa el agua, se seca y se vuelve á pesar.

Como el cuerpo habrá desalojado una cierta cantidad de agua, resultará que el peso que acusará la balanza será diferente de la primera pesada. *La diferencia p* que se obtiene *será el peso del agua* desalojada; luego dividiendo el peso P por el peso p del agua, tendremos el *peso específico* del cuerpo.

301.—Al usar este método, debe tenerse presente una causa de *error* que consiste en pequeñas burbujas de aire que se adhieren al frasco y á los fragmentos del cuerpo.

Se evita este inconveniente colocando el frasco debajo de la campana de la máquina neumática y haciendo el vacío, las burbujas de aire se desprenderán en virtud de su fuerza elástica.

302.—Como hay cuerpos que se *disuelven* ó *se descomponen en el agua,* no se puede usar directamente este método para los cuerpos que se hallen en esas condiciones, pero puede adoptarse procediendo de una manera indirecta.

Para esto se procederá con el cuerpo cuyo peso específico se quiere determinar, con respecto á un líquido que no lo descomponga como el *aceite*, *alcohol*, etc., lo mismo que si se procediera con el agua destilada.

Enseguida se determinará el peso específico *del lí-*

quido usado *con respecto al agua*, según los medios que indicaremos más adelante.

Sea P el peso del cuerpo y P' el peso de un volumen igual de *aceite*, por ejemplo, y entonces:

$$\frac{P}{P'}$$

representa el *peso específico del cuerpo con respecto al aceite.*

Sea P'' el peso de un *igual volumen de agua* destilada y

$$\frac{P'}{P''}$$

representará el *peso específico del aceite con respecto al agua;* luego, *el peso específico del cuerpo con respecto al agua* estará representado por

$$\frac{P}{P'} \times \frac{P'}{P''} = \frac{P}{P''}$$

303.—Aplicaciones.—La determinación de los pesos específicos de los sólidos es de suma utilidad en la *Mineralogía*, para distinguir uno de otro, dos trozos que tienen una misma apariencia y para diferenciar las piedras preciosas de las falsificadas.

Se aplica también en las construcciones, para determinar el peso de un cuerpo cuyo volumen ó forma se conoce.

Es necesario tener presente que el trozo de un cuerpo no tiene el mismo peso específico que otro trozo del mismo cuerpo, á causa de su heterogeneidad.

Un cuerpo *cristalizado*, *es más denso* que cuando no lo es.

El paso de un cuerpo por la *hilera*, el *laminador*, *etc.*, hace variar su peso específico. Así, el *hierro* fundido;

el *hierro* laminado; el *hierro* batido, etc., tienen distinto peso específico.

304.—Peso específico de los líquidos.—En la determinación de los pesos específicos de los *líquidos*, pueden emplearse *cinco métodos*.

1° *Método de la Balanza Hidrostática.*
2° *Método del Areómetro de Fahrenheit.*
3° *Método del Frasco.*
4° *Método de los vasos comunicantes.*
5° *Método de las cuentas.*

305.—Método de la Balanza Hidrostática.—Debajo de uno de los platillos de la balanza hidrostática se cuelga de un hilo una esferita lastrada de *platino* ó *vidrio*, sustancias que en general no son atacadas por los líquidos.

Se equilibra la balanza y se tiene *el peso P* de la esfera *en el aire.*

Enseguida *se sumerge la esfera en el líquido* cuyo peso específico se quiere determinar y el equilibrio se romperá.

Se colocarán pesas en el platillo hasta que el equilibrio se haya restablecido y esas pesas representarán el *peso P' del líquido* que tiene un volumen igual al de la esfera.

Se repetirá la operación con el agua destilada y se determinará del mismo modo *el peso P" del mismo volumen de agua;* luego el peso específico estará representado por

$$\frac{P'}{P''}$$

306.—Método del Areómetro de Fahrenheit.—Este areómetro es un flotador de vidrio análogo al areómetro de *Nicholson*, de vidrio (*fig. 221*), lastrado con mercurio, sobre cuya varilla se marca un *punto* de *enrase O*. Se pesa *una vez para siempre* y sea *P* su peso.

Para operar se introduce el areómetro *en el líquido* cuyo peso específico se quiere determinar y se agregan pesos contrastados hasta obtener el enrase. *Sea p* el peso agregado y entonces

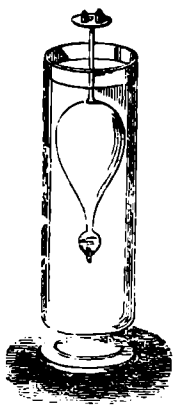


Fig. 221
Areómetro de Fahrenheit

$$P+p$$

representará el peso de un volumen de líquido igual al volumen sumergido.

Sáquese el areómetro é *introdúzcase en agua destilada* y sea *p'* las pesas que hemos puesto en el platillo para obtener el enrase y por consiguiente

$$P+p'$$

representará el peso de un volumen igual al anterior *de agua destilada;* luego el peso específico estará expresado por

$$\pi = \frac{P+p}{P+p'}$$

Este areómetro y el de *Nicholson*, se llaman *areómetros á volumen constante* y peso variable.

Fig. 222
Frasco

307.—Método del Frasco.—El aparato usado consiste en un frasco de una construcción especial (*figura 222*).

El recipiente *b* está unido á otro *a*, que sirve de embudo, por medio de un tubo capilar *c* que tiene un punto de enrase.

El recipiente *a* está cerrado por un tapón esmerilado.

Para operar *se llena* de *líquido el frasco* hasta enrasar, se seca y se pesa.

Como se conoce el peso del frasco vacío, se determina el del líquido contenido en el frasco.

Se quita el líquido, se *llena el frasca de agua* destilada y se vuelve á pesar. Sea P' este peso.

Entonces se tendrá *el peso P del líquido* contenido en el frasco y *el peso P'* del mismo volumen *de agua* destilada; luego, la fracción

$$\frac{P}{P'}$$

representará el peso específico buscado.

No entramos en pormenores acerca de los medios empleados para llenar de líquido el frasco, de las correcciones y precauciones que deben tomarse, pues esto se tratará en el libro destinado al calor.

308.—Método de los vasos comunicantes.—Este método fundado en el *equilibrio de los líquidos heterogéneos* en los vasos comunicantes, el cual nos dice, que si tenemos dos tubos verticales unidos entre sí por otro tubo horizontal y si echamos *en uno agua destilada* y en el *otro el líquido* cuyo peso específico se quiere determinar, *las alturas de las columnas líquidas estarán en razón inversa de sus densidades.*

Si llamamos **1** el peso específico del agua, π el peso específico del líquido, y a, la altura del agua y a' la del líquido, se tendrá:

$$\pi : 1 :: a : a'$$

de donde sale

$$\pi = \frac{a}{a'},$$

que nos dan el peso específico *conociendo las alturas* de las columnas líquidas.

—Como ciertos líquidos al reunirse en vasos comunicantes, podrán mezclarse ó combinarse, *Feuillée* ima-

ginó el aparato indicado en la *fig. 223* mediante el cual *se evita el contacto* de los dos líquidos, en cuyo caso se lee la altura á partir del nivel del líquido en el tubo *a*.

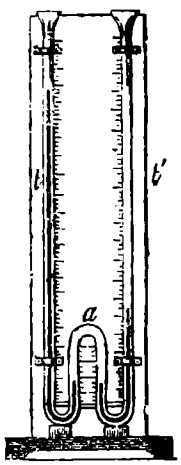


Fig. 223
Vasos comunicantes

309.—Método de las cuentas.— Este método consiste en tener una caja con una serie de cuentas de vidrio, convenientemente calibradas y tales que al introducirlas en el líquido, cuyo peso específico se quiere determinar, algunas se irán al fondo y otras flotarán.

Cuando se encuentra una de ellas tal, que al flotar sólo deja un espacio pequeñísimo al aire, se ve qué número tiene en la cavidad correspondiente de la caja, y allí se tendrá *escrito* el peso específico del líquido.

310.—Aplicaciones.—La determinación de los pesos específicos nos permite determinar el peso y el volumen de un cuerpo.

—Supongamos querer *determinar el volumen de un pan de oro que pesa 9,629 gramos.*

Se sabe que el peso específico del oro es 19,258; luego de la fórmula que nos da el peso específico de los cuerpos:

$$\pi = \frac{P}{V} \qquad (2)$$

se saca:

$$V = \frac{P}{\pi}$$

y substituyendo valores:

$$V = \frac{9{,}629}{19{,}258} = 500 \text{ } \textit{centímetros cúbicos}$$

311.—Cuando el gobierno francés hizo transportar á París el obelisco que estaba ante el palacio de *Luxor* en Egipto, fué necesario conocer el peso del monolito para preparar los elementos de transporte.

Se calculó el *volumen*, que se halló igual á 84 metros cúbicos y como el peso específico del granito es 2,70, se calculó el peso por medio de la fórmula (1) que nos da

$$P = V \times \pi$$

y subtituyendo valores

$$P = 84.000 \times 2,70 = 226.800 \text{ } \textit{kilogramos}$$

312.—Si se quisiera determinar el peso de una estatua de mármol por ejemplo, se introduce la estatua en un cajón *cuya capacidad es conocida*, y se rellenan los huecos que queden, con agua.

Se mide el agua. y *restándola* de la capacidad del cajón *se tendrá el volumen de la estatua* y como se sabe que el peso específico del marmol es 2,837, por la fórmula $P = V \times \pi$, se tendrá su peso.

Si la estatua ó cuerpo cuyo peso se quiere determinar fuera hecha con una sustancia *atacable por el agua*, se podrán rellenar los huecos *con arena*, medir la arena y proceder como antes.

313.—Areómetro á peso constante.—Ya dijimos que los areómetros de *Nicholson* y de *Fahrenheit* se llamaban areómetros á *volumen constante*, pues los dos *debían de enrasar* en todos los experimentos, en un mismo punto fijo, llamado *punto de enrase*, es decir, debian sumergirse siempre de una cantidad igual, ó mejor dicho el *volumen sumergido* era siempre el mismo, por lo cual se obtenia por medio de *pesos* que eran los que nos servían para determinar el peso específico.

—Hay otros areómetros que no dan con tanta precisión el peso específico de los líquidos, pero que son muy útiles para determinar la concentración de ciertos líquidos, como el *éter*, *alcohol*, *ácidos*, *leche*, *cerveza*, etc., y los cuales no tienen punto de enrase, es decir, que se pueden *sumergir más ó menos*, pero *el peso* del aparato es siempre el mismo.

314.—Areómetros de Baumé.—Los areómetros de *Baumé* son dos, uno destinado á analizar los líquidos *más densos* que el agua, que suelen llevar el nombre de *pesa-sales*, *pesa-ácidos*, *pesa-jarabes*, etc., y el otro destinado á analizar los liquidos *menos densos* que el agua y que se llaman también *pesa-espíritus*, *pesa-licores*, etc.

Fig. 224
Areómetro de Baumé

El areómetro de *Baumé* no nos da en realidad el peso especifico de los liquidos ni de las cantidades de sales, ácidos, etc., disueltas en el agua, pero es muy útil para los industriales, comerciantes, etc., para obtener con aproximación el *grado de concentración* de ciertas soluciones ó mezclas que deben utilizarse y reproducirse.

Estos areómetros consisten en un flotador de vidrio terminado en la parte inferior por una esfera lastrada con mercurio y en la parte superior *(fig. 224)* por una varilla que está destinada á llevar la *graduación*.

315.—Los dos areómetros se diferencian sólo *en el modo de hacer* la graduación.

Para graduar los areómetros destinados á los *líquidos más densos* que el agua, se lastra de manera que al sumergirse en el *agua destilada* llegue á hundirse hasta el punto *a* cerca de la extremidad. Se marca ese punto el cual será el *punto cero*.

Enseguida se disuelven 15 partes *en peso* de sal marina con 85 partes de agua destilada, y entonces se tendrá un líquido que tiene el 15 °/₀ de sal marina.

Se introduce el areómetro en este liquido y se marca el punto *b* hasta donde se sumerge el areómetro, poniéndole el número 15.

Se divide el espacio *ab* en 15 partes iguales y se prosigue la división *hacia abajo*. Cada una de estas partes representa *un grado* de concentración.

Se sigue generalmente hasta 70 divisiones.

Cuanto *más denso* es el liquido *tanto menos* se sumergirá el flotador.

316.—Para graduar los areómetros destinados á los *líquidos menos densos* que el agua. se empieza por hacer una mezcla que contenga el 10 °/₀ de sal marina, es decir, 10 partes de sal y 90 partes de agua destilada y se lastra el flotador de manera que con ese líquido el flotador se sumerja casi hasta la *extremidad inferior* de la varilla.

Sea *b* ese pnnto *(fig. 225)* y márquese *diez*.

Enseguida se introduce el areómetro en *agua destilada* y como este liquido es *menos* denso que el agua salada, el flotador se introducirá *más*. Sea *a* el punto á que llega el nivel del líquido y márquese *cero*.

Divídase el espacio *ab* en *diez* partes iguales y sígase la división *hacia arriba*.

Cuanto *menos* denso es el líquido *más* se introducirá la varilla.

La división seguirá hasta *60 grados*.

Una vez que se tienen divididos estos areómetros *patrón*, los otros se pueden dividir por comparación, introduciéndolos en líquidos de densidades diferentes.

Como vemos, estas escalas son completamente arbitrarias.

Fig. 225
Areómetro de Baumé

317.—Areómetro universal.—Se da este nombre á un areómetro de *Baumé* (*fig. 226*), que lleva dos escalas, una *ascendente* destinado á los líquidos *menos* densos que el agua y otra *descendente* destinada á los líquidos *más* densos que el agua.

La primera está graduada de 0° á 60°, la segunda de 0° á 70°.

Cuando se trata de liquidos, *más densos* que el agua, se le agrega al areómetro el peso adicional *p*.

Fig. 226
Areómetro universal

318.—Volúmetros y densímetros.—Hemos visto que los areómetros *nos dan el grado de concentración* de un líquido, pero *no nos dan* el peso específico del liquido.

Gay-Lussac ideó un areómetro el cual da el peso específico del líquido por medio do una simple operación de dividir.

Finalmente, se han hecho areómetros graduados de tal manera que nos den el peso específico de un líquido por medio de una *simple lectura*. El más usado es el de *Rousseau*.

319.—Alcohómetro centesimal de Gay-Lussac.—Hemos visto que los aparatos estudiados hasta ahora *no nos dan el volumen* ó cantidad de alcohol contenido en un liquido, sino que nos revelan *si en un líquido hay más ó menos* alcohol.

Para obtener ese resultado, Gay-Lussac imaginó su areómetro que *da inmediatamente el volumen* de alcohol absoluto contenido en un líquido.

La forma del aparato es la misma de los demás areómetros, y su graduación se hace de la siguiente manera:

Se sumerge el areómetro en *alcohol absoluto* y se lastra de manera que se introduzca casi toda la varilla. En el punto de enrase se marca 100.

Enseguida se sumerge en el *agua destilada* y se marca *cero*.

Finalmente, se preparan varias vasijas, conteniendo, una 10 partes de alcohol, la segunda 20 partes, la tercera 30 partes y asi sucesivamente.

Enseguida *se echa agua destilada* en esas vasijas hasta completar 100 partes, luego tendremos varios liquidos que contienen el 10, 20, 30..... y 90 °/₀ de alcohol.

Se sumerge el flotador en esos liquidos y se marcan los puntos de enrase con los números 10, 20, 30.....

Finalmente, se dividen esos espacios en 10 *partes iguales* y aunque estas divisiones últimas no son exactas, sin embargo el error que se comete al adoptarlas es insignificante.

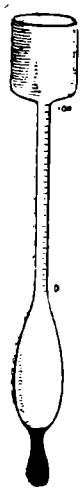


Fig. 227
Areómetro de Paquet

Cuando el alcohómetro marca el punto 47, esto quiere decir, que el liquido que se analiza tiene el 47 °/₀ de alcohol absoluto.

Una vez que se tiene un alcohómetro asi graduado, ya se pueden graduar otros por comparación.

320.—Areómetro de Paquet.—Consiste en un aparato de vidrio de la forma indicada en la *fig.* 227. En la copa de arriba se ha marcado una escala de *iguales volúmenes* (décimos de cm^3). Se introduce en el agua y enrasará hasta *A*. Enseguida se echa *un centímetro cúbico* de agua destilada, es decir, *un gramo* y el areómetro se sumergirá hasta *B*. se divide en 100 partes iguales, luego cada división corresponderá á $\frac{1}{100}$ de gramo. Es decir, pues, que se puede determinar el peso *P* de cualquier cuerpo que se pone en *M*.

Como este aparato sirve para determinar el peso especifico de un liquido ó de un cuerpo cualquiera en forma de polvo, resulta que al introducirlo en *M* tenemos por lectura directa el volumen *V* de ese cuerpo y como al sumergirse el areómetro nos da el peso *P*, resulta por la espresión

$$\pi = \frac{P}{V}$$

determinado el peso específico del cuerpo en cuestión.

CAPITULO VI

CAPILARIDAD

321.—Fenómenos Capilares.—Cuando un sólido y un líquido están en contacto, se verifican ciertos fenómenos que parecen contradecir las leyes de la hidrostática.

Estos fenómenos se manifiestan con más amplitud en los *tubos capilares* ó tubos muy finos, por cuyo motivo á estos fenómenos se les ha dado el nombre de *capilares.*

Los fenómenos capilares son debidos á la *atracción molecular*, pero no daremos su *teoría*, porque habría necesidad de tener conocimientos superiores de matemáticas.

Sólo describiremos algunos fenómenos y sus aplicaciones.

322.—Al introducir un cuerpo en un líquido, puede suceder que el líquido *moje* el cuerpo *ó no lo moje.*

Así, por ejemplo, el *vidrio* y los *metales* son *mojados* por el *agua*, el *alcohol*, etc.

El *vidrio*, la *madera*, el *hierro*, etc., *no son mojados por el mercurio.*

Los cuerpos *grasos no son mojados* por el *agua.*

323.—Supongamos introducida una *varilla de vidrio* (*fig. 228*) en el *agua* y observaremos que el líquido que está en contacto con el vidrio no estará en el

mismo plano con el resto del líquido. Se habrá *elevado*.

La parte del líquido que está *más arriba* ó *más abajo* que el nivel general, toma el nombre de *menisco*.

En el caso que el *líquido moja*, se habrá formado un *menisco cóncavo* como se observará en la figura 228.

324.—Si se introduce la misma *varilla de vidrio* en un baño de *mercurio (fig. 229)*, se notará que el líquido

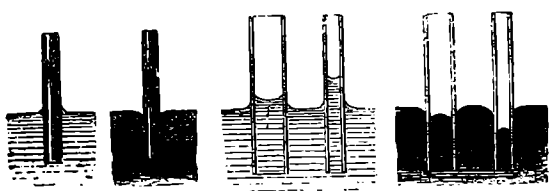


Fig. 228 Fig. 229 Fig. 230 Fig. 231

Varillas y tubos capilares

que está en contacto con el vidrio en vez de elevarse se ha deprimido formando un *menisco convexo*.

225.—Capilaridad en los tubos.—Si se introduce un tubo de pequeño diámetro (*fig. 230*) en un líquido, también se observarán estos fenómenos.

Si el líquido *moja* el tubo, se elevará el líquido en el mismo, formando interior y exteriormente *meniscos cóncavos*.

Si los tubos se introducen en un líquido que *no lo moja* (*fig. 231*) el nivel del líquido interior es *más bajo* que el exterior y se forman *meniscos convexos*.

326.—Se nota además (*figs. 230 y 231*) que la diferencia de nivel entre el líquido interior y exterior es *tanto mayor, cuanto menor* es el diámetro del tubo.

—De donde se deduce la *1ª Ley de capilaridad en los tubos*, que nos dice:

La ascensión ó depresión de los líquidos en los tubos

capilares está en razón inversa del diámetro de los tubos.

327.—Se observa también, que según sea el líquido y su *temperatura* variará la altura que nos da la diferencia del nivel interior y exterior.

—Esto da lugar á la 2ª *Ley* que nos dice:

La ascensión ó depresión varía con la naturaleza del líquido y con su temperatura.

—Finalmente, en los líquidos que *mojan* el tubo, la diferencia de nivel es *independiente de la naturaleza y del espesor de las paredes del tubo.*

328.—Capilaridad en las láminas paralelas.—En las láminas paralelas se verifica la misma ascensión y depresión cuando la distancia entre ellas es muy pequeña *(fig. 232)*.

— Las leyes son las siguientes:

1º Las alturas entre dos láminas están en razón inversa de sus distancias.

2º La altura de un líquido entre dos láminas paralelas y verticales, es la mitad de la altura de ese mismo líquido en un tubo cuyo diámetro sea igual á la distancia entre las dos láminas.

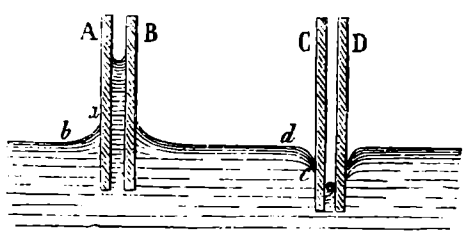


Fig. 232
Capilaridad en las láminas paralelas

329.—Capilaridad en las láminas convergentes.—Si introducimos en el agua dos láminas verticales, convergentes, veremos que el agua se

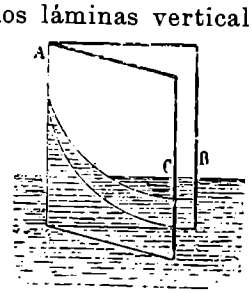


Fig. 233

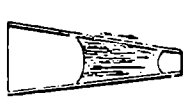


Fig. 234

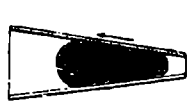


Fig. 235

Capilaridad en las láminas concurrentes

eleva más y más á medida que se acerca al vértice *(fig. 233)*, pudiendo llegar el momento en que el agua rebose por la extremidad superior de

la arista. La superficie del líquido en el interior de las dos láminas será cóncava y su sección por un plano vertical que pase por la arista. tendrá la forma de una *hipérbola equilátera*.

330.—Si la *arista* de las láminas es *horizontal* y echamos una gota de agua entre ellas, veremos que las extremidades de la gota (*fig. 234*), se redondean formando dos meniscos cóncavos y que la gota se precipita *hacia el vértice*.

331.—Si en vez de agua echáramos una gota de mercurio (*fig. 235*), veríamos que la gota redondea sus extremidades, formando dos meniscos convexos y se aleja del vértice.

—Una gota de mercurio vertida sobre una lámina de vidrio horizontal, conserva la *forma típica* y si seguimos vertiendo más y más, la capa de mercurio se irá extendiendo, pero *conservando la misma altura*.

332.—Movimientos de los cuerpos flotantes debido á la capilaridad.—Si dos cuerpos flotantes *mojados* por el líquido se acercan de manera que sus respectivos meniscos lleguen á juntarse, se verá que los dos cuerpos *se precipitan con fuerza uno sobre otro*.

El mismo fenómeno se verifica *si los dos cuerpos no son mojados*.

Finalmente, *si uno* de los cuerpos *es mojado* por el líquido y el *otro no lo es*, sucederá el fenómeno contrario, es decir, *los cuerpos se rechazarán*.

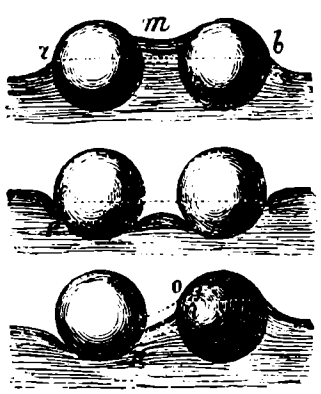


Fig. 236
Movimientos de los cuerpos flotantes

—El experimento se hace teniendo dos esferas de corcho (*fig. 236*) *a* y *b* en su estado natural y otras dos *bb* recubiertas de negro de humo.

Las primeras son mojadas por el agua y las segundas no, y *en ambos casos las esferas se atraerían* mientras que, como vemos en la tercera figura, si ponemos una esfera en su estado natural y la otra recubierta de negro de humo, las esferas *se rechazarán*.

—Hay otro experimento muy curioso y que prueba lo mismo.

Se introduce una varilla de vidrio en el agua y una esferita de corcho.

Si se mueve la varilla de manera que pase cerca de la esferita, seguirá la esfera á la varilla como si fuera atraída por ésta.

Si al contrario, se introduce la esferita revestida de humo, entonces veríamos que la varilla de vidrio no podría nunca golpear la esferita flotante.

333.—Otros fenómenos debidos á la capilaridad.—Si sobre una lámina horizontal de vidrio vertemos una pequeñísima gota de mercurio, esta gota tomará la *forma típica*, es decir, la forma esférica.

—Si vertemos mayor cantidad de mercurio, éste teniendo ya un *peso* considerable, no tomará la forma esférica, pero sí una forma lenticular ó convexa con sus bordes redondeados. Pero conservando la misma altura.

—Si engrasamos una aguja, ésta flotará sobre el agua, debido á que no mojándola, el agua formará un menisco cóncavo, cuyo volumen aumentará el agua desalojada por la aguja, siendo por consiguiente el empuje mayor que su peso.

—Por la misma razón hay insectos que pueden marchar sobre el agua.

Las patas desalojan una cantidad de agua cuyo peso es mayor que el del insecto.

—Cuando se moja un terrón de azúcar, el agua pasa inmediatamente á otros puntos del cuerpo y esto es debido á la capilaridad.

—El papel secante y las mechas de las lámparas actúan debido á las fuerzas capilares.

—Los vegetales mandan la savia á sus extremidades por efecto de la capilaridad.

334.—Tensión superficial.—Si polvoreamos con *licopodio*, la superficie de mercurio contenido en una vasija é introducimos la mano, veremos que por efecto de la capilaridad se formará *una depresión* en la superficie líquida, dentro de la cual se precipitará el polvo del licopodio.

Retirando rápidamente la mano, el polvo del licopodio volverá á su superficie.

—Si hiciéramos el mismo experimento usando una *lámina de goma*, ¿no se verificaría el mismo fenómeno?

Podría decirse, pues, que los líquidos están dotados de una película que los limita.

Indicaremos algunos experimentos muy curiosos, que nos comprueban la existencia de la *tensión superficial.*

335.—Experimento de Plateau.—Se equilibran los platillos de una balanza hidrostática (*fig. 237*) y se baja la cruz hasta que uno de los platillos *toque la superficie* libre del agua contenida en una vasija.

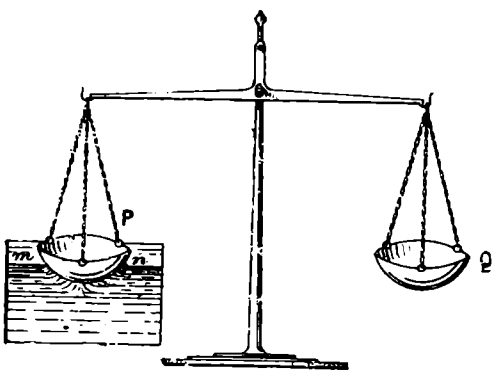


Fig. 237
Experimento de Plateau

Enseguida se eleva lentamente la cruz y se verá que al elevarse, el platillo *P* se encuentra retenido por la *tensión superficial* del líquido, formándose un menisco cóncavo *m n* é inclinándose la balanza hacia el lado del platillo *P*.

Habrá que poner algunos gramos en el platillo *Q*, para que el platillo *P* se desprenda del agua.

336.—Experimento de Dupré.—Tómese una caja metálica abierta en su parte superior (*fig. 238*) y con una cara *a d* móvil alrededor de una charnela *a*.

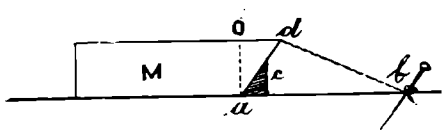


Fig. 238
Experimento de Dupré

Dispóngase la cara *a d* con la inclinación indicada en la figura, colocándose el prisma triangular *c* con el objeto de que la cara *a d no caiga*.

Líguese un punto *d* de la cara, por medio de un hilo de coser *d b* á una aguja ó clavito *b*, y *viértase agua* en la caja *M hasta el borde*.

Fig 239
Experimento de Dupré

Retírese el prisma triangular *c*, y se observará el hecho notable que *la cara a d no cae*.

Apliquese un fósforo encendido al hilo

d b y se notará el hecho *más notable* aún, de que la cara *a d en vez de caer, se elevará*, colocándose vertical como lo indica la *fig. 239* y el líquido se dispondrá formando un menisco convexo.

¿Qué fuerza habrá hecho elevar esa cara si no ha sido la *tensión superficial* del líquido?

337.—Experimento de van der Mensbrugghe.—Se toma una lámina de un tejido metálico fino *(fig. 240)* y se cubre con un líquido formado de glicerina y una dilusión de jabón de Marsella.

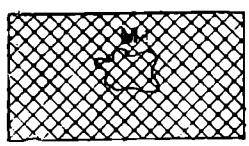


Fig. 240
Experimento de van der Mensbrugghe

Enseguida se coloca sobre la lámina líquida así formada, un *anillo* ó *aro M* de hilo ó seda, el cual se dispondrá sobre la lámina de una manera irregular, como se ve en la figura.

Tómese una punta de marfil, un escarbadientes ó un cucurucho de papel y atraviésese con él la malla ó tejido, de manera que se saque todo el líquido que está en el interior del anillo.

Inmediatamente se verá que el anillo de seda *se mueve* y se dispone según una *circunferencia de círculo (fig. 241)*.

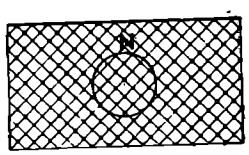


Fig. 241
Experimento de van der Mensbrugghe

Este fenómeno se ha producido por la *tensión* que *la superficie* liquida ha ejercido sobre el hilo y con una intensidad *igual* en todos sentidos.

338. — Segundo Experimento de Plateau. — Este experimento es otra demostración de la *constancia* de la tensión superficial.

Consiste *(fig. 242)*, en depositar una gota de aceite por medio de una pipeta dentro de un líquido que tenga la *misma densidad* que el aceite y que no pueda mezclarse con él.

Se verá que la gota de aceite toma la forma esférica, ó sea, la forma *típica*.

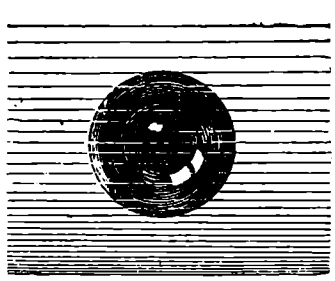


Fig. 242
Segundo experimento de Plateau

LIBRO QUINTO

GASES

CAPÍTULO PRIMERO

PROPIEDADES DE LOS GASES

339. — Caracteres de los gases. — Ya dijimos que los gases son cuerpos que se caracterizan por tener *forma y volumen variables.*

Estos cuerpos llamados también *fluídos aeriformes ó fluídos elásticos*, no tienen otra forma y volumen que los de las vasijas que los contienen.

En sus moléculas predomina la *fuerza de repulsión*, lo cual da lugar á que tiendan *constantemente* á ocupar *mayor volumen* en el espacio, y la presión que por ello ejercen sobre las paredes de la vasija que los contiene, se llama *expansibilidad*, *tensión*, *presión ó fuerza elástica* de los gases.

340.—Diferencia entre los líquidos y los gases.—Las diferencias más notables que existen entre los líquidos y los gases, son que los primeros son *más densos* que los segundos y que *el volumen* de los líquidos *es constante*

mientras que el de los gases tiende á aumentar contínuamente.

Por otro lado, la analogía entre los líquidos y los gases es muy grande.

—Los gases tienen la *forma* de las vasijas que los contienen y los líquidos también.

—Estos últimos son *pesados*, *comprensibles*, *elásticos* y los gases también lo son, pero su elasticidad y compresibilidad es mucho más considerable que en los líquidos.

Veremos finalmente, que los principios de *Pascal* y de *Arquímedes* que aplicamos á los líquidos, *se aplican también á los gases.*

341.—Expansibilidad de los gases—Para demostrar experimentalmente la tendencia de los gases á ocupar un mayor volumen, podemos proceder de la siguiente manera:

Se toma una vejiga que contenga una pequeña cantidad de aire se cierra herméticamente y se humedece para que sea más flexible.

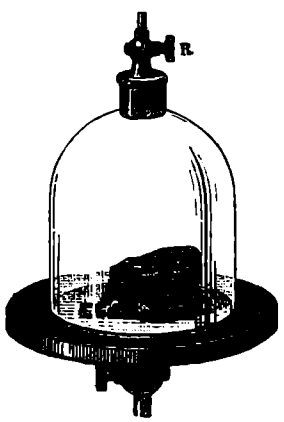


Fig. 243
Expansibilidad de los gases

Se coloca enseguida bajo la campana de la máquina neumática (*fig. 243*), máquina que sirve para extraer el aire contenido en un recipiente.

Colocada la vejiga bajo la campana de la máquina, nada notable se observará, pero si hacemos el vacío en la campana veremos que la vejiga se inflará, (*fig. 244*) se estirará y podrá reventar.

—¿Qué ha sucedido?

Al hacer el vacío, el aire que estaba en el interior de la vejiga no se encontraba ya equilibrado por la presión del aire contenido en la campana y por consiguiente, disminuyendo esa presión,

habrá aumentado *el efecto* de la fuerza de repulsión de las moléculas, de manera que obedeciendo á la misma, las moléculas empujarán los pliegues de la vejiga y harán que se hinche.

Si se hace penetrar nuevamente el aire en la campana, la vejiga volverá á encojerse y tomará el mismo volumen que tenía antes.

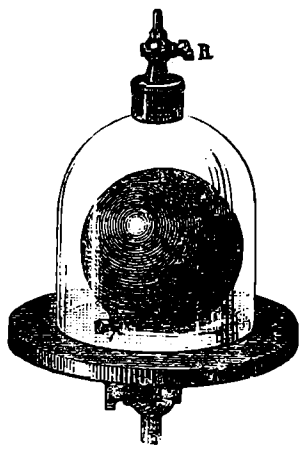


Fig. 244
Expansibilidad de los gases

342.—Compresibilidad de los gases. —La segunda parte del experimento anterior nos prueba que los gases son compresibles.

Por medio del *eslabón neumático*, se puede comprobar la misma propiedad.

Consiste este aparato (*fig. 245*) en un cilindro de paredes resistentes dentro del cual puede correr un pistón, que lleva en su extremidad un pedazo de yesca.

Si empujamos el pistón ó émbolo, éste llegará casi hasta el fondo del cilindro, lo cual no hubiera podido suceder si el aire contenido en el cilindro no se hubiera *comprimido.*

Si enseguida abandonamos el vástago del pistón, éste volverá atrás por sí sólo, lo cual nos prueba que el aire es *elástico.*

Este aparato lleva el nombre de *eslabón neumático* porque si se comprime bruscamente el aire, *se desarrollará un calor* tal que prenderá la yesca.

Fig. 245
Yesquero neumático

243.—Peso de los gases.—Los gases, lo mismo que los demás cuerpos de la naturaleza, son *pesudos.*

A primera vista parece que no fuera así, pues se ve que un globo de goma lleno de *hidrógeno, gas de alum-*

brado, etc., abandonado á sí mismo *no cae*, sino que *se eleva*, pero veremos más adelante que esto es debido al *empuje del aire* sobre los cuerpos que están en la atmósfera, empuje análogo al que ejercían los líquidos sobre los cuerpos en ellos sumergidos.

Para demostrar *experimentalmente* que los gases son pesados, precederíamos de la siguiente manera:

Tómese un globo de vidrio, de una capacidad de 7 á 8 litros: *hágase el vacío* y suspéndase bajo un platillo de una balanza.

En otro platillo colóquense pesas hasta obtener el equilibrio.

Déjese *entrar el aire* ó cualquier otro *gas*, y se verá que la esfera de vidrio *se ha hecho más pesada:* luego el aire y los gases *son pesados*.

344.—Repetidas observaciones han dado por resultado que *un litro de aire pesa* $1\,g^r,293$. Por consiguiente, *un metro cúbico* de aire pesará:

$$1293\ gramos = 1^{kg},293$$

Es por ese peso del aire, que la atmósfera que rodea á la tierra *no se expande* en el espacio y por ese peso también, se deduce que las capas *inferiores* de la atmósfera *deben ser más densas* que las superiores, pues el aire que está más cerca de la superficie de la tierra, debe estar *comprimido* por el peso del aire de las capas superiores.

Debe también el aire de las capas inferiores tener una *fuerza expansiva mayor* que el aire de las capas superiores.

Esto lo demostró *Pascal*, tomando una vejiga de aire á medio llenar, y subiendo á una montaña. A medida que subía la vejiga se inflamaba más y más.

345.— Presiones ejercidas por los gases.—Los gases ejercen

presiones sobre las paredes de las vasijas que los contienen, debido á la *expansibilidad,* y la intensidad de la presión, *es la misma* en cualquier punto de su masa.

Por lo demás, todas las leyes que hemos aplicado á los líquidos son también aplicables á los gases.

Las leyes ó principios de *Pascal* y *Arquímedes* también les son aplicables.

346.—Principio de Pascal.—Para demostrar experimentalmente el principio de Pascal, es decir, que *la presión que se ejerce sobre un punto de la masa de un gas se transmite igualmente en todos sentidos*, haremos uso de un aparato (*fig. 246*) análogo al que empleamos para los líquidos.

Consiste en una esfera hueca que está unida á un cilindro *P*, en el cual puede correr un pistón.

En distintos puntos de la esfera se han adaptado varios tubitos curvos *t, t, t,*..... en los cuales hay una pequeña cantidad de agua.

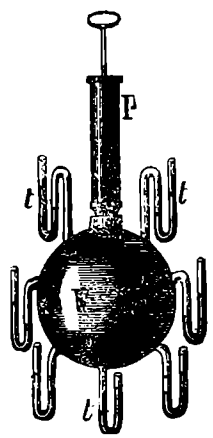


Fig. 246
Principio de Pascal

Si se introduce aire ó un gas cualquiera en la esfera, y lo comprimimos introduciendo el pistón, se notará que el agua de los tubitos se elevará en las ramas exteriores y *en todos ellos á una misma altura.*

Luego, la presión ejercida por el pistón, se ha transmitido *igualmente* en todos sentidos.

347.—Principio de Arquímedes.—El principio de Arquímedes aplicado á los gases puede enunciarse diciendo que:

Todo cuerpo sumergido en una atmósfera gaseosa, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del gas desalojado.

Para comprobarlo, haremos uso del *baróscopo*, que

consiste en una cruz de una balanza teniendo en una extremidad una esfera hueca de cobre y en la otra una masa de plomo (*fig. 247*).

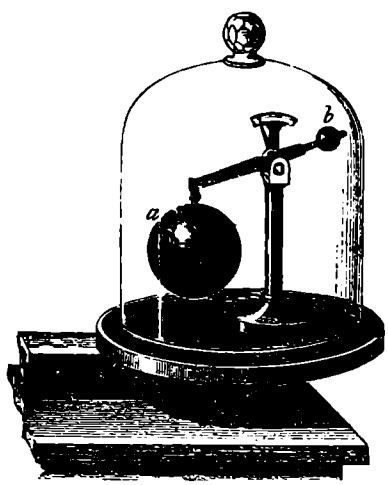


Fig. 247
Baróscopo

Colocado el *baróscopo* debajo de la campana de la máquina neumática, mientras hay aire, el baróscopo queda en equilibrio.

Hecho el vacío, el equilibrio se interrumpe y la cruz de la balanza, se inclina *del lado de la esfera de cobre.*

¿Por qué?

Porque no habiendo aire, este gas ya no ejerce *empuje* sobre la esfera y el peso se pone de manifiesto de una manera más enérgica. Parece que la esfera hubiera aumentado de peso.

Si se deja entrar el aire, la balanza vuelve á ocupar la posición de equilibrio.

Indudablemente la masa de plomo también sufre empuje del aire, pero como su volumen es mucho menor, resulta también que la pérdida aparente de peso será menor.

—Si en cada extremidad de la cruz se colocan esferas de igual volumen, una vez establecido el equilibrio, ya estén en el aire ó ya se haya hecho el vacío, *el equilibrio subsiste,* pues siendo *iguales los volúmenes* también habrá sido igual la pérdida aparente de peso.

—Si se pesa en el aire un cuerpo que ocupa un gran volumen, como *lana*, *algodón*, etc., y después se pesa ese mismo cuerpo *comprimiéndolo*, es decir, cuando tiene *volumen menor*, se verá que en esta segunda pesada el peso del mismo cuerpo es *mayor*.

Por eso, cuando se hacen pesadas de precisión, hay

que hacer *correcciones* para reducirlas á *pesadas en el vacío.*

348.—Transvasación de gases.—Cuando se tienen dos vasijas que contienen gases de *distinta densidad* y que no reaccionan el uno sobre el otro, es posible transvasarlos, es decir, hacer que cambien de recipiente.

Se puede hacer el experimento teniendo dos tubos de ensayo *m* y *n* (*fig. 248*), conteniendo el primero *ácido carbónico* y el segundo *aire* y si unimos los bordes de esos tubos como lo indica la figura, y los dejamos un momento inmóviles, se notará al separarlos que el *tubo m* contendrá *aire* y el tubo *n*, *ácido carbónico*, es decir, que el ácido carbónico ha pasado del vaso *m* al *n* y el aire del vaso *n* al *m*.

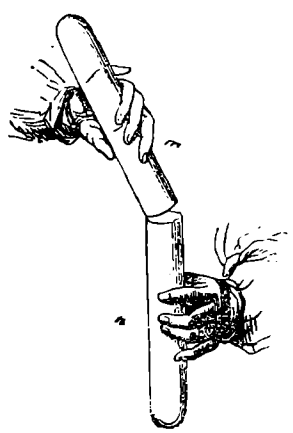


Fig. 248
Transvasamiento de gases.

Esto ha sucedido porque siendo el ácido carbónico *más denso* que el aire, éste ha pasado á la parte superior y el ácido carbónico ha pasado á la vasija inferior.

Se comprueba la verdad del hecho introduciendo un fósforo encendido en los dos tubos y se observará que mientras el fósforo arde en la vasija que contiene aire, se apaga en la que contiene ácido carbónico, pues este gas no es comburente.

349.—Esto comprueba también que en los gases se verifica como en los líquidos, que cuando varios gases que no reaccionan están en una misma vasija, ellos se disponen por orden de densidades, yendo el más denso á la parte inferior.

350.—Atmósfera.—La atmósfera es la capa de aire que envuelve la tierra y que la acompaña en sus varios mo-

vimientos en el espacio. Su presencia se puede revelar por mil medios; pero el más elocuente, es el efecto que produce cuando está animada de un movimiento rápido, es decir, cuando se produce un huracán.

351.—Composición y altura.—La atmósfera está *compuesta de una parte en volumen de oxígeno por cuatro partes de azoe*, próximamente, conteniendo además, pequeñas cantidades de *ácido carbónico*, *vapor de agua*, *amoníaco*, etc..

A medida que nos elevamos en la atmósfera, se nota que el ácido carbónico disminuye, lo cual es debido á que su densidad mayor que la del aire, hace que permanezca en las bajas regiones.

El ácido carbónico tiene su orígen en la respiración de los animales y en todas las combustiones naturales y artificiales que se verifican en la tierra, y esta contínua producción de ácido carbónico está afortunadamente compensada por la absorción y descomposición que hacen los vegetales durante el día, los cuales apoderándose del *carbono*, del ácido carbónico, devuelven el *oxígeno* á la atmósfera.

—La *altura* se dedujo teniendo en cuenta el peso del aire, el gradual decrecimiento de su densidad á medida que aumenta su altura, la observación de la desviación que sufren los rayos de luz que nos envían los astros, y se calculó que la atmósfera debía tener de *60* á *80 kilometros* de altura y que más allá de los *100 kilometros* debía existir el *vacío absoluto*.

Liais, por observaciones propias, calculó que la atmósfera tiene de *320* á *340 kilometros* de altura y la presencia de *bolides* á esa altura y á mayor altura aún, parece comprobar la aseveración de *Liais*.

352.—Presión Atmosférica.—Teniendo, pues, en cuenta esa altura de la atmósfera y que el aire *pesa*, se comprende fácilmente que la atmósfera *debe ejercer una*

considerable presión sobre los cuerpos que están en la tierra.

—Teniendo en cuenta las propiedades de los gases que hemos indicado anteriormente, se comprende que *esa presión disminuye* ó *aumenta* según el observador se eleve ó baje de la superficie de la tierra; que esa presión *debe transmitirse igualmente* en todos sentidos, con *intensidades proporcionales á las superficies* que se consideran y finalmente, que *debido á la extrema movilidad* de sus moléculas, la atmósfera no puede estar un solo momento en equilibrio y por consiguiente, que la *presión debe variar continuamente*, cosa que efectivamente se observa y se mide.

Antes de tratar de los aparatos destinados á la *medida de la presión atmosférica*, indicaremos varios curiosos experimentos que nos comprueban la existencia de esa presión y lo enérgica que es.

353.—Rompe-vejiga.—Un cilindro abierto por sus dos extremidades, á una de las cuales se adapta ó fija una membrana de vejiga (*fig. 249*) ó un fuerte papel de pergamino, se coloca sobre el platillo de la *máquina neumática* y enseguida hácese el vacío.

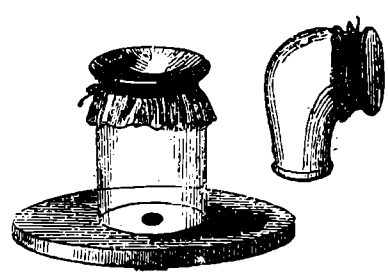


Fig. 249
Rompe-vejiga

A medida que se va enrareciendo el aire interior, éste ya no ejerce la presión que antes ejercía, no puede contrarrestar la presión atmosférica y se verá que la membrana se va hundiendo hasta que llega un momento en que estalla con gran estruendo, producido por la entrada brusca del aire al interior del cilindro.

Podría usarse en vez de una membrana, una lámina delgada de vidrio, que estallará de la misma manera.

Conviene rodear el aparato con un lienzo para evitar

que el operador pueda ser herido por algún fragmento de vidrio.

En vez de fijarse la membrana sobre la base superior de un cilindro recto, puede usarse la vasija indicada á la derecha de la figura, y también se romperá la vejiga, lo cual prueba que la presión se ha ejercido también *lateralmente*.

354.—Hemisferios de Magdeburgo.—Consiste este aparatito en dos hemisferios de bronce (*fig. 250*), con rebordes y que pueden enchufar exactamente uno con otro.

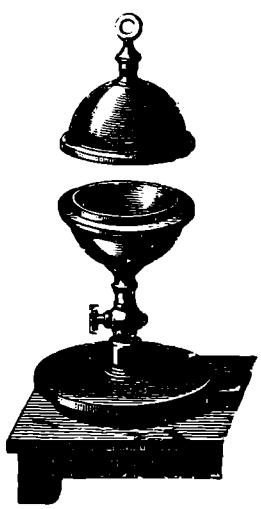


Fig. 250

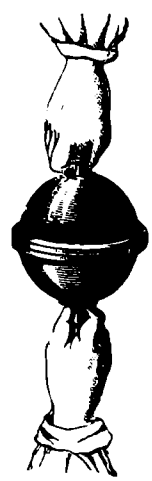


Fig 251

Hemisferios de Magdeburgo

El polo de uno de estos hemisferios está dotado de un robinete que puede tornillarse en el conducto de la máquina neumática.

Los hemisferios pueden separarse con toda facilidad; pero si los colocamos en la máquina neumática, hacemos el vacío, cerramos el robinete, los sacamos de la máquina neumática y pretendemos separar nuevamente los hemisferios (*fig. 251*); no habrá fuerza humana capaz de conseguirlo, si los hemisferios tienen convenientes dimensiones.

Este aparato fué ideado por *Otto de Guericke* en un experimento público que verificó en Magdeburgo; *veinte caballos* no consiguieron separar los dos hemisferios que tenían $1^{m},25$ de diámetro.

Si se abre el robinete y se permite la entrada del aire, ya volverá á ser fácil la separación de los dos hemisferios.

Es necesario tener la precaución de *engrasar los bordes* de los hemisferios para impedir la entrada del aire durante el experimento.

Esa misma precaución deberá tenerse en el experimento del *rompe-vejiga* respecto al borde de la base inferior del cilindro.

Se comprende que la presión atmosférica es la que impide la separación de los dos hemisferios, pues existiendo el vacío interior, la presión atmosférica no se encuentra contrarrestada y será tanto más difícil la separación cuanto mayor es su superficie.

Fig. 252
Vaso invertido

355.—Vaso invertido.—Otra prueba de la presión atmosférica y que esa presión se ejerce también de *abajo hacia arriba*, la podemos hacer valiéndonos de un vaso *(fig. 252)* que se llena de agua hasta el borde.

Si sobre el borde del vaso se aplica un papel de manera que entre el papel y el agua no haya aire, podemos invertir la copa sin que el agua se vierta.

La presión de abajo hacia arriba habrá sido superior al peso del papel y del agua.

La misión del papel es puramente la de evitar la *separación de las moléculas* del agua, en cuyo caso el experimento sería imposible.

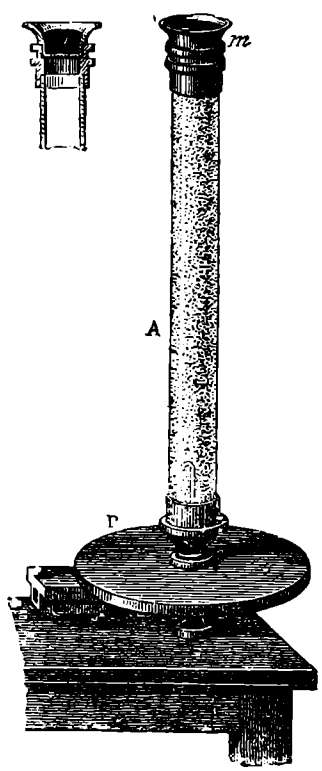


Fig 253
Lluvia de mercurio

356.—Lluvia de Mercurio.—Tomemos un tubo cilíndrico *A (fig. 253)*,

munido de un robinete en su base inferior que puede atornillarse en la máquina neumática y terminado superiormente por una armadura metálica *m* en forma de cápsula, cuyo fondo está formado de un pedazo de cuero de búfalo ó de madera.

Atornillado este cilindro en la máquina neumática, viértase una cantidad de mercurio en la cápsula *m*.

Hecho el vacío, la presión atmosférica es tan enérgica, que hace pasar el mercurio á través de la madera ó el cuero, viéndose caer en forma de lluvia.

357.—Ventosas.—Siendo tan considerable la presión atmosférica, parece á primera vista que debería aplastar á los animales.

No sucede esto, *debido á la tensión* que los fluídos interiores poseen, tensión que basta á quilibrar la presión atmosférica.

—Las ventosas comprueban esta verdad.

Tomemos un vaso de pequeñas dimensiones, munido de un cuerpo de bomba y apliquémoslo al cuerpo de una persona. Si por medio de la bomba enrarecemos el aire contenido en el vaso, veremos hincharse la piel y si previamente habremos pinchado una vena, veremos que la sangre saldrá con fuerza.

Habiéndose producido el vacío en el vaso y la tensión *de los fluídos interiores* no estando contrarrestada por la presión atmosférica dichos fluídos empujan la sangre y la proyectan al exterior con fuerza.

358.—Ascensiones.—Las ascensiones en la atmósfera, ya sea en los globos aerostáticos ó escalando montañas, nos comprueban la existencia de esa tensión de los fluídos interiores, pues cuando el hombre se eleva á grandes alturas, disminuye de tal manera la presión atmosférica que ha llegado hasta el punto de hacer brotar la sangre por encías, labios, nariz, etc.

Cuando se llega á ciertas alturas, se sienten vérti-

gos, respiración fatigosa, gran sueño, etc., todo lo cual debe atribuirse al desequilibrio entre la tensión de los fluídos interiores y la presión atmosférica.

Todos los que cruzan los *Andes* se *apunan*, según llaman los arrieros á la descompostura y malestar que se experimenta en las alturas.

El que esto escribe, ha tenido que abandonar sus tareas profesionales, en *San Juan*, por las frecuentes hemorragias que pusieron en peligro su vida.

Hay personas, pero muy pocas, que no sufren ese malestar.

Los nativos de regiones elevadas no sufren con esa depresión atmosférica, pero experimentan mucho cansancio cuando pasan á terrenos que están al nivel del mar.

Las minas de *Potosí* se explotan á más de 4000^{m} de altura y la célebre batalla *Pichincha*, se libró á más de 4500 metros de altura sobre el nivel del mar.

359.—Experimentos de Torricelli.—Habiendo encargado el *Gran Duque de Toscana* á algunos obreros de *Florencia* que llevaran el agua del *Arno* á su palacio, ellos encontraron que por más perfectas que fueran las bombas, llegaba un momento en que el agua no se elevaba más.

Antes se explicaba la acción de la bomba aspirante diciendo que *la naturaleza tenía horror al vacío*, pero los obreros encargados de la obra, vieron que esa ley no era exacta, pues pasada una altura de 10 metros próximamente, ya no era posible elevar el agua.

Se pidió explicaciones á *Galileo*, el cual, á pesar de su avanzada edad, contestó que esto era debido á que el agua se elevaba por medio de las bombas *en virtud de la presión atmosférica.*

—*Evangelista Torricelli*, discípulo de *Galileo*, comprobó la verdad de este principio y dijo:

«Si debido á la presión atmosférica se puede elevar

en el vacío una columna de agua de 10 metros de alto, esa misma presión atmosférica elevará una columna de mercurio mucho menor, pues el mercurio es mucho más denso que el agua.»

Para comprobarlo tomó un tubo *A B* de 0m,90 de longitud (*fig. 254*), lo llenó de mercurio y tapándolo con el dedo pulgar lo invirtió introduciendo la extremidad abierta de una cubeta *M N* que contiene el mismo líquido.

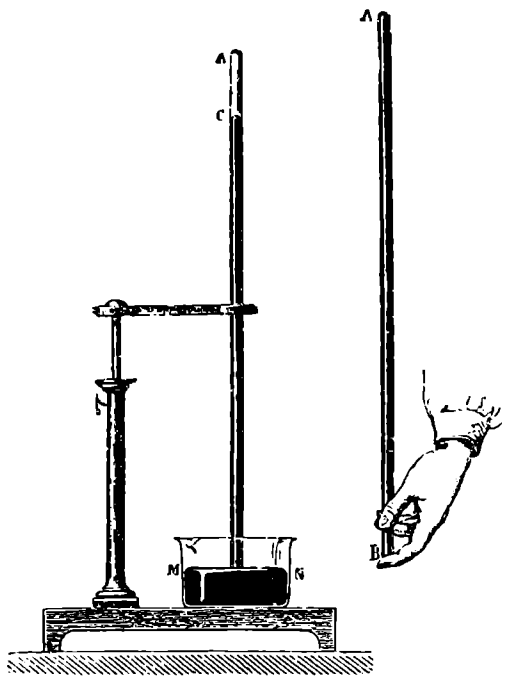


Fig. 254
Experimento de Torricelli

Retirando el dedo observó que la columna de mercurio bajaba hasta el punto *C*, dejando un espacio *A C completamente vacío*.

Midiendo la distancia entre la *superficie M N* del líquido de la cubeta y la *superficie C* del tubo, encontró que era de *0m,76*.

El tubo *A B* con la vasija *M N*, constituye un *Barómetro*, que quiere decir *medidor de presión*. Fué inventado el año 1643.

360.—Experimentos de Pascal.—Llegado á conocimiento de *Pascal* este experimento, dijo:

« Si la altura de la columna líquida es debida á la presión atmosférica, *variando la densidad* del líquido *también variará* la altura y por consiguiente *la altura de la columna* de mercurio *será menor en las montañas* que en la llanura.»

—Para comprobar la primera parte tomó un tubo de vidrio de 15^m de altura, lo llenó de *vino* y lo invirtió como hizo *Torricelli*, y halló que el *vino* quedaba á una altura de 10 metros próximamente.

En efecto, siendo la densidad del vino igual á *1* más ó menos y la del mercurio igual á 13,60, resulta que la columna de vino *debe ser:*

$$0^m,76 \times 13,60 = 10^m,36$$

—Para comprobar la segunda parte, subió á la torre de *Sain-Jacques* y observando la columna mercurial, vió que estaba $0^m,0045$ más baja que cuando hizo la observación al pie de la torre.

No satisfecho con este experimento, suplicó á su cuñado *Perrier* que vivía en la *Auverña*, que hiciera una observación al pie del monte *Puig de Dome* y otra en su cima y se encontró una diferencia de más de 8 *centímetros*, lo cual vino á comprobar la verdad del experimento de *Torricelli*.

CAPÍTULO II

MEDIDA DE LA PRESION ATMOSFÉRICA

361.—Valor de la presión atmosférica.—Hemos visto por el *experimento de Torricelli* que la presión atmosférica es capaz de equilibrar el peso de una columna de mercurio de $0^{m},76$ de altura.

Veamos ahora, cual es el *valor de esa* presión.

Supongamos que el tubo de *Torricelli* tenga *un centímetro cuadrado de sección;* entonces el *volumen* de la columna de mercurio será:

$$1^{cm^2} \times 76^{cm} = 76^{cm^3}$$

pero, como la densidad del mercurio es *13,6*, resultará que *el peso P sobre un centímetro* de superficie será:

$$76 \times 13^{gr},6 = 1033^{gr},6 = 1^{kg},0336$$

Si fuera una superficie de *un decímetro*, la presión sería *cien* veces mayor, es decir:

$$103^{kg},36$$

y si fuera la superficie de *un metro* cuadrado, se tendría por expresión de la presión:

$$P = 10.336^{kg}$$

y como el *cuerpo humano* tiene próximamente $1^{m^2},50$ de

superficie, resulta que la presión que nuestro cuerpo soporta, será aproximadamente de:

$$15.504^{kg}$$

es decir, *quince y media toneladas.*

Ya dijimos que nuestro cuerpo no se aplasta debido á la *reacción* que oponen los fluídos interiores del cuerpo humano y esta presión no molesta á nuestros movimientos, porque *se verifica en todos sentidos.*

362.—Barómetros.—Los aparatos *destinados á medir la presión* atmosférica, que como dijimos varía de un punto á otro y de uno á otro momento, se llaman *barómetros.*

El barómetro primitivo, más elemental y más perfecto, es el tubo de *Torricelli.*

Además de éste, existen otros más ó menos ingeniosos, con modificaciones importantes y finalmente, barómetros *anheroides*, es decir, *secos, sin líquido*, que suelen llamarse también barómetros *metálicos.*

Nosotros describiremos los barómetros de *Cubeta, Normal de Regnault, á nivel invariable, de Fortin, de sifón ó de Gay-Lussac, de Bunten, á cuadrante, metálico de Vidi y metálico de Bourdón.*

363.—Barómetro de Cubeta.—El *barómetro de Cubeta* es el que resulta del experimento de *Torricelli.*

Para construirlo debe tomarse *un tubo* de vidrio *bien recto*, de 85 á 90 *centímetros* de longitud y 4 á 6 *milímetros* de diámetro y que no tenga globos de aire ó estrías.

Al usarlo *se lava* con ácido nítrico hirviendo, enseguida con agua destilada y finalmente, se seca con *aserrín* caliente.

El *mercurio* debe ser muy puro, para lo cual se le trata con ácido nítrico hirviendo, el que disuelve el óxido de

mercurio y los metales extraños que tuviera. Se lava enseguida con agua destilada y se seca con papel secante.

Preparado así el tubo, en cuya extremidad abierta se ha formado una especie de ampolleta, se vierte en él una cierta cantidad de mercurio que ocupe un espacio de $9^{m},20$ de la longitud del tubo.

Se coloca éste, en una parrilla inclinada (*fig. 255*), con la extremidad abierta hacia arriba y se le rodea de carbones enrojecidos.

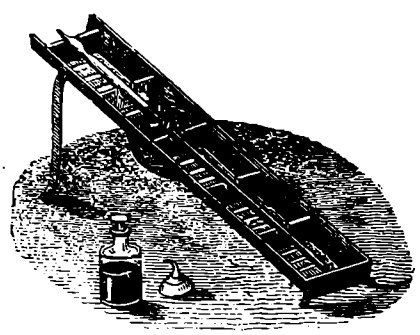


Fig. 255
Barómetro

El mercurio se calienta, con lo cual expulsa todas las partículas de aire y agua que pueda contener.

Se vuelve á introducir más mercurio y vuelve á producirse la ebullición, y así sucesivamente, hasta que se tiene el tubo lleno de mercurio, *completamente privado de aire y agua*, lo que se comprueba por el *brillo metálico* que toma el metal.

Conseguido esto se separa la ampolleta, se tapa con el dedo pulgar, se invierte y se introduce en una vasija ó *cubeta* que contenga mercurio y el barómetro está hecho.

—La diferencia de nivel *entre la superficie del mercurio* en la cubeta y la *superficie del mercurio* en el tubo, nos *medirá la presión atmosférica.*

Ya hemos dicho que la presión normal *al nivel del mar*, es de *76 centímetros*, lo cual se expresa diciendo que *la presión atmosférica es de 76 centímetros de mercurio.*

364.—Barómetro de Regnault.—Este barómetro llamado también *fijo*

ó *normal* es un simple barómetro de cubeta (*fig. 256*), cuyo tubo en vez de 4 á 5 *milímetros* de diámetro, tiene uno de 2 á 3 *centímetros*, pues estos barómetros *no son transportables* sino que se usan puramente en los *gabinetes*.

Para medir la diferencia del nivel del mercurio, ó *la altura de la columna* barométrica, á un costado de la cubeta, se tiene un tornillo *a b* de dos puntas, que gira en una tuerca.

Cuando se quiere hacer una observación, se mueve el tornillo hasta que la extremidad *a* se ponga en contacto con la superficie *M N* del mercurio de la cubeta, lo cual se obtiene haciendo que la imagen *a* del tornillo *reflejada* en la superficie del mercurio, parezca estar en contacto con el punto *a* y enseguida, con un *Catetómetro*, se mide la *distancia vertical* entre el extremo *b* del tornillo y la superficie *C* del mercurio en el tubo, á cuya distancia, *se agrega la longitud a b* del tornillo que ya es conocida.

Se comprende que se dé al tubo un diámetro tan grande, para evitar lo más posible, el *error de capilaridad* en el mismo.

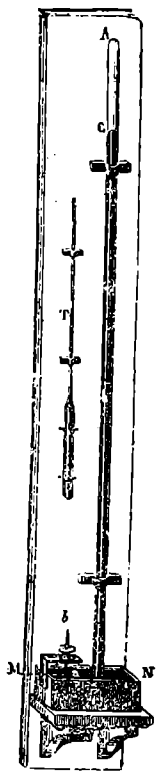


Fig. 256
Barómetro de Regnault

365.—Barómetro fijo de Glicerina.—Suele emplearse á veces el barómetro de *Glicerina* en vez del de mercurio.

El mercurio tiene el inconveniente de congelarse á $-39°$, temperatura que se encuentra en la naturaleza y el inconveniente mayor de *dar vapores* á cualquier temperatura con que se haga la observación.

Estos vapores dan lugar á que el vacio de la *cámara barométrica* no sea *perfecto* y por consiguiente, la columna de mercurio recibe una presión de arriba hacia abajo, que nos produce una causa de *error*.

La glicerina no se congela sino á temperatura mucho más baja y *no produce vapores*

Como la *densidad* de la glicerina es de 1,25 y la del mercurio 13,60, resultará que cuando el mercurio marca la presión $0^m,76$ la altura de la columna de glicerina será de:

$$0,76 \times \frac{13,6}{1,25} = 8^m,27$$

Como vemos, este barómetro no es transportable, pero es precioso para observatorios.

366.—Barómetro á nivel invariable.—En los barómetros de cubeta, portátiles, ó que no son de gabinete, *el cero de la graduación* que se coloca á lo largo del tubo, *corresponde al nivel del líquido de la cubeta.* Pero sucede que cuando la presión baja, *parte del mercurio del tubo pasa* á la cubeta, luego el nivel en ésta *habrá subido* y *el cero* ya no corresponderá á ese nivel.

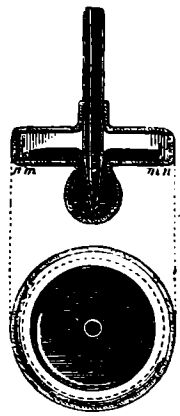


Fig. 257
Barómetro á nivel invariable

Análoga cosa pasa cuando la presión aumenta, pues parte del líquido de la cubeta pasa al tubo, luego el nivel del mercurio en la cubeta *habrá bajado.*

Es decir, pues, que *el cero de la graduación no corresponde exactamente* al nivel del líquido de la cubeta.

Para obviar este inconveniente, se ha construido la cubeta de la forma que indica la *fig. 257*, en cuyo caso, cuando el mercurio pasa del tubo á la cubeta, él se extiende sobre una gran superficie y aprovechando la propiedad que tiene el mercurio de mantener *constante su espesor* cuando se le vierte sobre el vidrio, los errores producidos por el cambio de nivel de mercurio de la cubeta son mínimos.

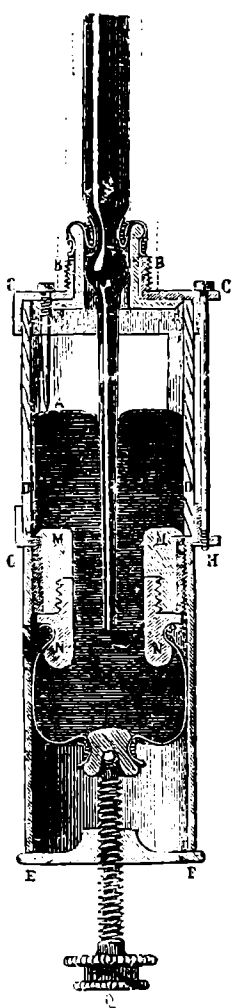


Fig. 258
Cubeta del Barómetro de Fortín

367.—Barómetro de Fortín.— El barómetro de precisión más cómodo y más usado es el de *Fortín.*

Es un barómetro á *nivel constante*, es decir, que se puede llevar siempre el *cero* al mismo punto al hacer la observación.

La cubeta (*fig. 258*), está constituída por un cilindro de metal *G E F H*, terminando superiormente por un cilindro de vidrio *D D*, que nos permite ver el nivel del mercurio.

El cilindro está guarnecido interiormente de una ar-

madura *de boj M M* que sostiene un saquete de cuero de camello y *cuyo fondo puede subir ó bajar* por medio de un tornillo *Q*.

El tubo barométrico terminado en punta, se introduce en el mercurio que contiene el saquete y está fijado á él por medio de la armadura de *boj N N*, y por un trozo de cuero de camello por cuyos poros puede ejercer su presión la atmósfera sin que por eso pueda escapar el mercurio, cuando se inclina el instrumento.

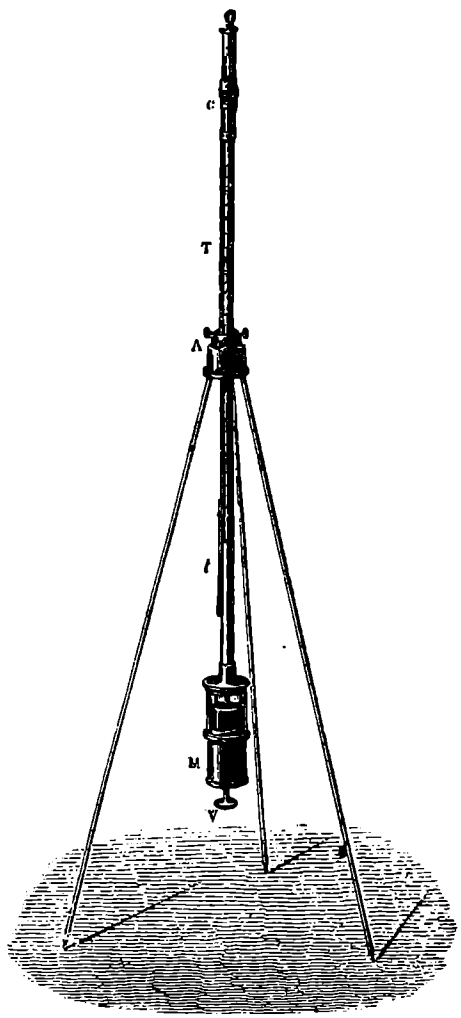


Fig. 259
Barómetro de Fortín

La armadura *C C* lleva interiormente una aguja *ó cono A de marfil, cuya extremidad corresponde al cero de la escala.*

El tubo barométrico está rodeado por un tubo metálico para defenderlo contra los choques, y ese tubo metálico tiene una ranura en la que corre un *nonius C (figura 259)*, con el objeto de obtener la mayor aproximación en la lectura de las divisiones de la escala que está marcada sobre la misma armadura metálica *T*.

Cuando se quiere transportar el instrumento se gira el tornillo *V*, el mercurio sube, llena toda la cubeta y la *cámara barométrica*, y entonces ya no hay peligro al inclinar el instrumento.

Para las observaciones de campaña, está dotado de un trípode cuya base superior está constituida por una suspensión *Cardánica*, que siempre conserva *vertical* el barómetro.

Cuando se hace una observación, se mueve el tornillo *V* hasta que la superficie del mercurio de la cubeta se ponga en contacto con el extremo del cono de marfil *n* y enseguida se mueve el nonius hasta que su extremo corresponda á la superficie del mercurio en el tubo.

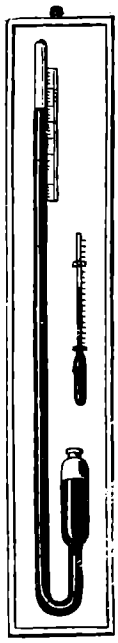


Fig. 260
Barómetro de Sifón

Este instrumento es un *barómetro de precisión* y precioso para los ingenieros.

368.—Barómetro de Sifón. —Este barómetro consiste en un tubo barométrico *(figura 260)*, cuya extremidad abierta está encorvada como lo indica la figura, teniendo la rama abierta mucho menor que la rama cerrada, constituyendo esta rama menor la *cubeta* del barómetro.

Esta forma sola tiene aplicación en los barómetros de cuadrante. La *altura* barométrica *se mide* por la diferencia de nivel entre las dos superficies de mercurio.

369.—Barómetro de Gay-Lussac. — El barómetro de Gay-Lussac *(fig. 261)*, no es más que un *barómetro de sifón*, en el cual la rama mayor y la menor tienen *igual diámetro* estando unidas ó ligadas esas dos ramas *A B* por medio de tubo capilar *b*.

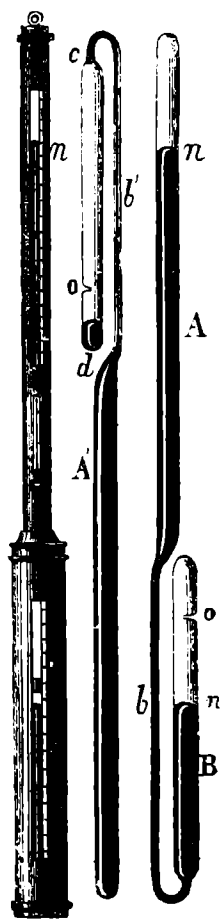


Fig. 261
Barómetro de Gay-Lussac

El todo se encierra en un *estuche* metálico, como se ve á la izquierda de la figura, en cuyo estuche van marcando las *escalas*.

Cuando se quiere transportar el barómetro, se invierte como se ve en *A'*, y entonces el tubo mayor se *llena* de mercurio pasando el exceso á ocupar la extremidad *d* del tubo menor, y sosteniéndose el mercurio en *c* en virtud de la capilaridad.

La rama menor de este barómetro lleva una abertura *O* por la cual se ejerce la presión atmosférica.

—Este barómetro *tiene la ventaja* de evitar el *error de capilaridad*, pues siendo los tubos *A* y *B* *de igual diámetro*, al leer la diferencia de nivel se comete un error de capilaridad *en más* y en el otro tubo el *mismo error en menos*.

—Tiene el *inconveniente* de que si se rompe el tubo es muy difícil reemplazarlo.

El cero de la escala graduada está *en un punto intermedio* del barómetro y á partir de ese *cero* salen dos escalas, una hacia arriba y otra hacia abajo.

Cuando se hace la observación se mueven *dos nonius*, los cuales nos darán *á partir de ese cero* la altura de las dos superficies de nivel.

Sumando las dos alturas se tendrá la *altura barométrica*, es decir, la diferencia de nivel entre las dos superficies.

Fig. 262
Modificación de Bunten

370.—Modificación de Bunten.—Al invertir el barómetro de Gay- Lussac, para transportarlo, el tubo capilar *impide la entrada del aire*, pero como la columna podría quebrarse permitiendo el paso de alguna particula de aire, Bunten ensanchó el tubo capilar en su parte media (*fig. 262*), é hizo penetrar la parte superior del tubo capilar *a o* dentro de la cámara *r*.

Si por acaso se introdujera una pequeña barbuja de aire, seria muy casual que ésta pasara por la extremidad afilada *o*, siendo más probable que la burbuja resbalara entre el mercurio y las peredes del tubo, en cuyo caso el aire se situaría en el punto más elevado *a* de la cámara *r*, sin perjudicar en lo más mínimo la exactitud del barómetro.

371.—Barómetro á cuadrante.—El barómetro á cuadrante no es más que un barómetro á sifón cuya rama abierta lleva un *flotador* que se apoya sobre la superficie del mercurio.

Este flotador está ligado á un hilo que pasa por la polea *O* (*fig. 263*) y que se mantiene tendido por medio de un peso *p*.

El eje de la polea lleva una aguja que gira sobre un cuadrante dividido, como se ve en la figura.

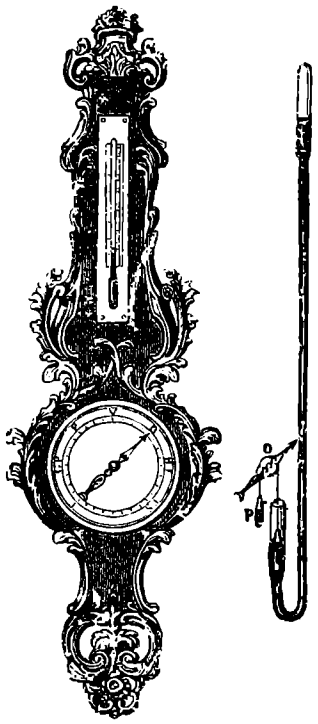


Fig. 263
Barómetro á cuadrante

Aumentando ó disminuyendo la presión atmostérica, el nivel del mercurio de la cubeta *subirá ó bajará* y por consiguiente, producirá el movimiento de la aguja.

El tubo barométrico y la polea están colocados detrás del cuerpo del aparato.

Es un barómetro *poco exacto,* debido á la inercia de la polea y á los frotamientos indispensables.

372.—Barómetro de Huyghens — Este barómetro (*fig. 264*) sirve para observar las pequeñas variaciones de la columna barométrica.

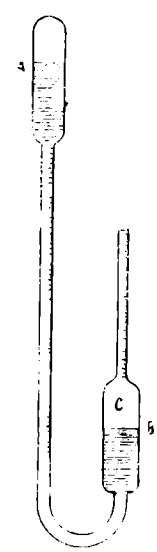


Fig. 264
Barómetro de Huyghens

Huyghens ideó terminar la cubeta *B* del barómetro por medio de un tubo capilar el cual así como el espacio *C* sobre el mercurio, está lleno de agua ó petróleo.

Si suponemos que la sección del tubo capilar es de 1^{mm^2} y la del recipiente *B* es de 100^{mm^2}, resultará que *por cada milímetro de variación de altura en la cubeta corresponderá una variación de* 100^{mm} en el tubo capilar, lo cual es muy fácil de observar.

Por medio de una fórmula sencilla se tiene la altura baromética.

373. Barómetro metálico de Vidi.—Los barómetros *metálicos* ó *anheroides ú holostéricos*, están basados en la resistencia á la flexión que presentan los cuerpos.

Este aparato representado en la figura 265 consiste en una caja cilíndrica, metálica, cuya base superior es-

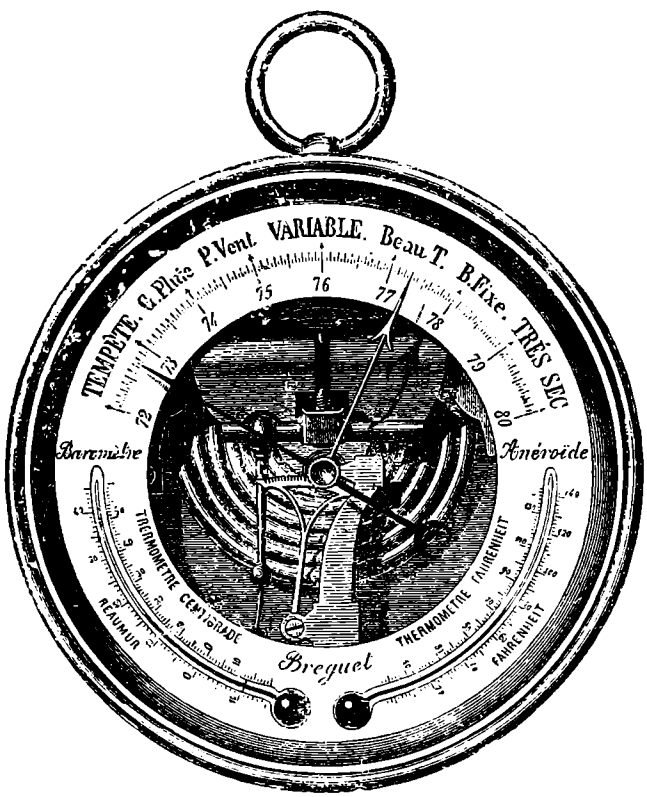


Fig. 265
Barómetro de Vidi

tá formada por una *lámina* delgada, acanalada circularmente, (*fig. 266*) con el objeto de aumentar la flexibilidad.

En esta caja se ha hecho el *vacío* y se ha cerrado herméticamente.

Aumentando la presión atmosférica y no habiendo en el interior de la caja cilíndrica ninguna fuerza capaz de contrarrestar ese aumento de presión, la lámina se deforma y esa deformación produce un movimiento

que por medio del cilindro *M* colocado en su centro y un juego de palancas y resortes, se transmite á una aguja *R* que se mueve sobre un círculo que *se ha graduado por comparación* con un barómentro normal

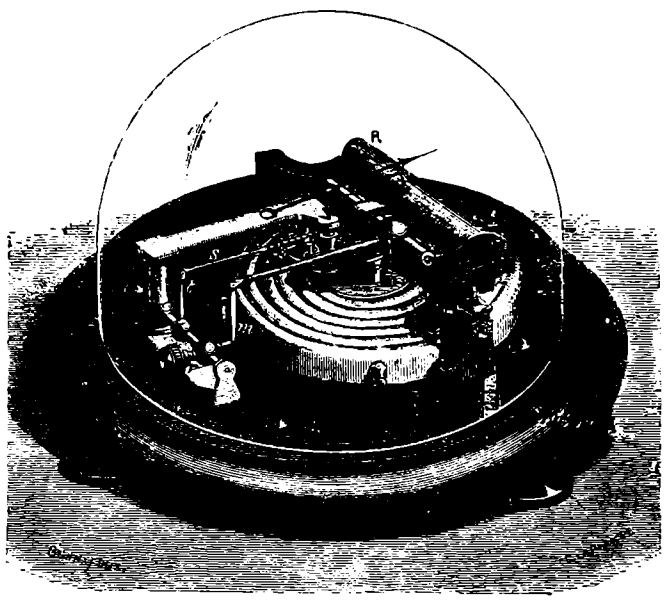


Fig. 261
Barómetro de Vidi

—Este instrumento es muy portátil y *muy sensible*, pues basta cerrar con fuerza una puerta para que la aguja se mueva; pero *es poco exacto*, porque aún cuando la división hubiera sido bien hecha, con el tiempo los resortes se deforman y variando su elasticidad, varían también las graduaciones que acusa la aguja.

374.—Barómetro metálico de Bourdon.—El barómetro de *Bourdon* está basado en la misma propiedad que el de *Vidi*, pero aquí la caja metálica se ha reemplazado (*fig. 267*), con un *tubo* metálico, delgado y encorvado, á sección elíptica y dentro del cual se ha *hecho el vacío*.

Si la presión aumenta, aumenta la curvatura, y si la presión disminuye, disminuye también la curvatura.

Los extremos de este tubo están ligados á una palanca acodada y móvil y por consiguiente, al variar la presión, los extremos del tubo se acercan ó se alejan moviendo eso palanca acodada, la cual por medio de una cremallera y rueda dentada transmite ese movimiento á una aguja, la que se mueve sobre un círculo graduado, cuya graduación se ha hecho también *por comparación* con un barómetro normal.

Fig. 267
Barómetro de Bourdon

Este instrumento tiene las ventajas y los inconvenientes que tiene el de *Vidi*.

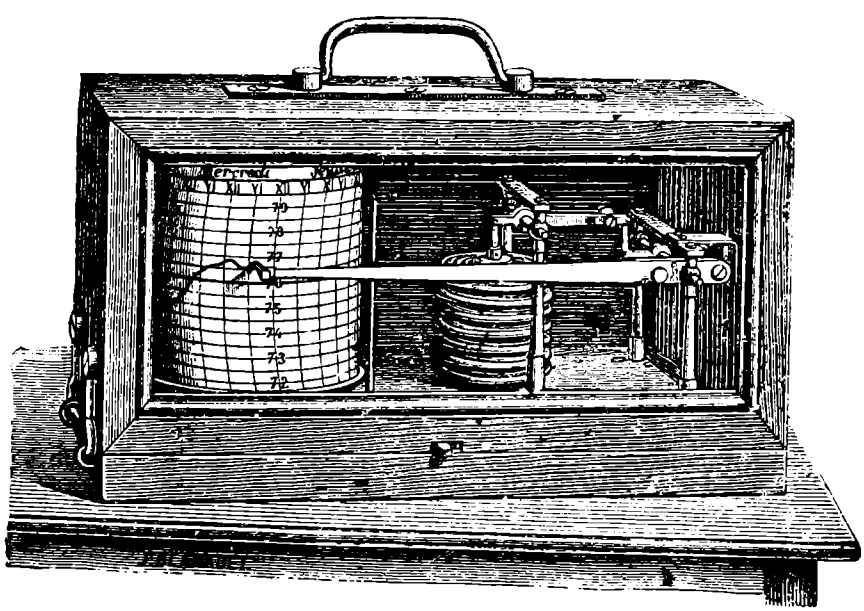


Fig. 268
Barómetro de Richard

375.—Barómetro registrador de Richard.—Este físico ha modificado el barómetro de *Vidi*, colocando (*fig. 268*)

varias cajas cilíndricas unas sobre otras, de tal manera, que se van transmitiendo los movimientos de sus bases. Luego, esos movimientos se amplifican y son transmitidos á una aguja que los registra en un tambor que gira al rededor de su eje y da una vuelta en una semana.

376.—Usos del barómetro.—El barómetro se utiliza para indicar las *variaciones* de la presión atmosférica; para determinar *la diferencia de nivel* entre dos puntos; para el *pronóstico del tiempo,* y para un sin número de experimentos que se efectúan en los gabinetes de física, etc.

377.—Diferencia de nivel.—Para *medir la diferencia de nivel* entre dos puntos nos basamos en que, como es lógico, á medida que nos elevamos en la atmósfera, *disminuye la presión* atmosférica y por consiguiente *baja la columna* de mercurio.

Ahora bien, como sabemos que la presión atmostérica equivale á $0^m,76$ de mercurio y como sabemos que el mercurio es 10.470 veces *más* denso que el aire, resultará que una columna de mercurio de 1^m pesará lo que una columna de aire de la misma sección, pero de 10.470^m.

Luego:

$0^m,1$ *de mercurio* $= 1047^m$ *de aire*
$0^m,01$ » » $= 104^m,70$ » »
$0^m,001$ » » $= 10^m,47$ » »

por consiguiente, si subimos y el mercurio del barómetro baja 5 *milímetros,* quiere decir, que la altura á que habremos llegado será igual á

$$5 \times 10^m,47 = 52^m,35$$

Si ha bajado 20 *milímetros* habremos subido nosotros:

$$20 \times 10,47 = 209^m40$$

Esto sería siempre cierto si la *densidad* del aire se mantuviera *constante á cualquier altura*, pero esto no sucede como lo hemos dicho anteriormente.

Sin embargo, *para pequeñas diferencias* de altura puede aplicarse ese método.

378.– Cuando quiera procederse con toda escrupulosidad debe considerarse la influencia de la *latitud, la temperatura, la gravedad, el estado higrométrico*, etc.

En este caso debe usarse la fórmula de *Laplace*.

$$X = 18393^{m}\,(1 + 0{,}002837\ cos\ \lambda)\left(1 + \frac{2\,(T+t)}{1000}\right) log\frac{H}{h}$$

siendo λ la *latitud* del lugar; T y H la *temperatura* y la *presión* al pie de la montaña; t y h los mismos datos en la segunda observación.

Cuando la altura no alcanza á 1000 metros puede usarse la fórmula de *Babinet* que es:

$$X = 16.000\,\frac{H-h}{H+h}\left[1 + \frac{2\,(T+t)}{1000}\right]$$

379.—Pronóstico del tiempo.—En los barómetros de *cuadrante*, de *Vidi* y de *Bourdón*, se lee *Lluvia*, *Variable*, *Buen tiempo*, etc., y eso está basado en que *casi siempre* cuando hace buen tiempo el barómetro *sube* y al contrario, *baja*, cuando está por llover ó soplar viento, etcétera.

Estos datos son sólo *probables*, y además *es un error* suponer que los *Barómetros* fabricados en Europa puedan servir para pronosticar el tiempo en América.

El barómetro no puede servir como pronosticador del tiempo sinó en un mismo lugar y después de repetidas observaciones durante muchos años.

380.—Correcciones.—En cada observación deben hacerse varias correcciones, teniendo en cuenta la *capilaridad*, la *temperatura* y la acción de la gravedad.

El *error de capilaridad* será tanto *menor* cuanto *mayor* sea el diámetro del tubo.

Se han construido tablas dando en *décimos de milímetro* el diámetro de los tubos barométricos y en una columna á la derecha, la corrección á hacerse, es decir, la longitud de la flecha del menisco de mercurio que se debe agregar á la lectura.

De modo, pues, que *todo operador debe conocer* el diámetro interior del tubo barométrico.

381.—El *error* causado por la *temperatura* es debido á que el calor modifica la densidad del mercurio dilatándolo, por cuyo motivo, se reducen todas las alturas barométricas á la altura que tendría si la temperatura del *mercurio* y *escalas* fueran de 0º.

La corrección debida á la dilatación del *mercurio* es una corrección *negativa* y la debida á la dilatación de la *escala*, será una corrección *positiva*.

No indicaremos aquí las fórmulas á emplearse porque no entran en el programa de esta obra.

Por consiguiente, *el operador al observar la altura* de la columna barométrica *debe también observar la temperatura*, á cuyo efecto casi todos los barómetros llevan un *termómetro* de mercurio.

CAPÍTULO III

MEDIDA DE LA FUERZA ELÁSTICA DE LOS GASES

382.—Ley de Mariotte.—Ya hemos visto que los gases son muy compresibles, y por consiguiente, *aumentando* la presión *disminuye* su volumen. Pero esto es cierto dentro de ciertos límites, pues si extremamos la presión, los gases pueden pasar al estado líquido.

Mariotte en Francia y *Boyle* en Inglaterra, estudiando la compresibilidad de los gases, encontraron al mismo tiempo la siguiente ley, que toma el nombre de *Ley de Mariotte* ó *Ley de Boyle.*

El volumen de un gas está en razón inversa de la presión que soporta, con tal que la temperatura permanezca constante.

Es decir, que si llamamos P y P' las presiones á que sujetamos un gas y V y V' los volúmenes que corresponden á esas presiones, se tendrá:

$$V : V' :: P' : P \qquad (1)$$

383.—Esta expresión se puede escribir:

$$V \times P = V' \times P'$$

lo cual nos da un *nuevo enunciado* de la *Ley de Mariotte*, diciendo que:

El producto del volumen de un gas por la presión que soporta es siempre una cantidad constante.

384.—Por otra parte, como sabemos que á *igualdad de peso* los volúmenes de los gases están en *razón inversa* de sus densidades, es decir:

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

llamando d y d' las densidades del gas, correspondientes á los volúmenes V y V'.

Si comparamos esta proporción con la (**1**), resulta:

$$d' : d :: P' : P$$

lo cual nos dice que las densidades de un gas son proporcionales á las presiones que soportan.

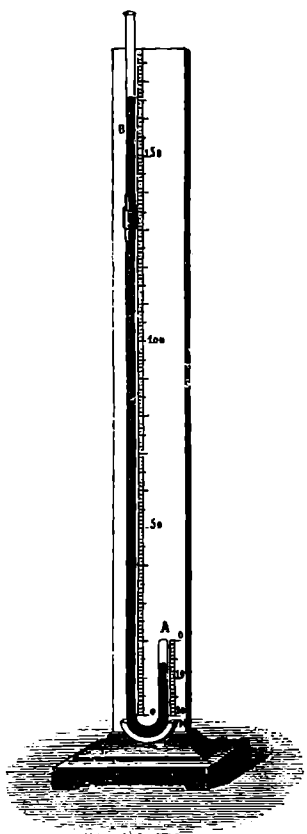


Fig. 269
Tubo de Mariotte

385.—Tubo de Mariotte. — Para verificar *experimentalmente* la ley de Mariotte, podemos hacer uso de un aparato llamado *Tubo de Mariotte.*

Este aparato consiste en un tubo acodado, de ramas desiguales, en el cual la extremidad A de la rama menor está cerrada (*fig. 269*) y *abierta* la rama mayor.

Se introduce una pequeña cantidad de mercurio y *por tanteos* se hace de manera que el *nivel de mercurio* esté en las dos ramas sobre *un mismo plano horizontal.*

Este será el *cero* de las dos graduaciones, que se marca sobre una tablilla como se ve en la fig. 270.

La escala del tubo menor nos dará *volúmenes de gas*

y la escala del tubo mayor nos dará *centímetros* y *milímetros,* es decir, medidas *longitudinales.*

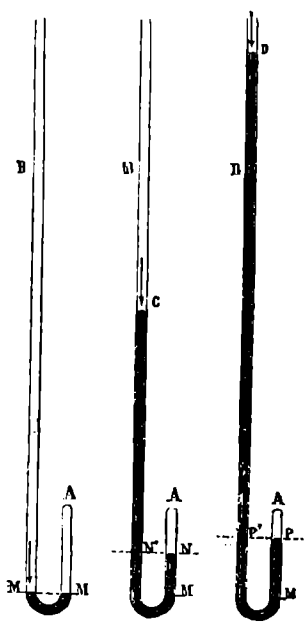
386.—El tubo que tenemos en la *fig. 270* ya está listo para operar.

Se tiene una cantidad de *aire A M*, que *está soportando la presión de una atmósfera*, pues el nivel del mercurio en las dos ramas está en un mismo plano horizontal.

Se vierte una cantidad de mercurio en la rama mayor y *cuando el nivel del mercurio* de la rama menor (*fig. 271*), demuestra que el aire *se ha reducido á la mitad*, se observa la altura de la columna de mercurio.

Se verá que la *diferencia de nivel N' C* entre el mercurio de la rama mayor y el de la menor será de $0^m\,76$ que equivale á la presión de una atmósfera.

El aire cuyo volumen se ha reducido á *N A*, soporta la presión *de la atmósfera* que se ejerce libremente sobre la superficie del mercurio de la rama mayor, *más* la presión de una columna de mercurio de $0^m,76$, es decir, que soporta la *presión de dos atmósferas*, pero su *volumen* se ha reducido á la *mitad.*



Figs. 270 271 272
Ley de Mariotte

—Si seguimos vertiendo mercurio hasta que el aire se reduzca á *un tercio* del volumen primitivo, es decir, que (*fig. 272*)

$$A\,P = \frac{A\,M}{3}$$

tendremos que la diferencia del nivel entre las dos superficies del mercurio *P' D* será:

$$P'\,D = 1^m,52 = 2 \times 0^m,76$$

es decir, pues, que la tensión del aire contenido en *A P* equilibra una columna de mercurio cuya altura es de $2 \times 0{,}76$, *más* la presión de la atmósfera, es decir, pues, que el aire *A P*, cuyo volumen es *un tercio* del volumen primitivo, está soportando la presión de *tres atmósferas*.

387.—Barómetro de Cubeta profunda.—Los experimentos hechos con el tubo de *Mariotte*, nos prueban la exactitud de la ley para presiones *mayores que una atmósfera*.

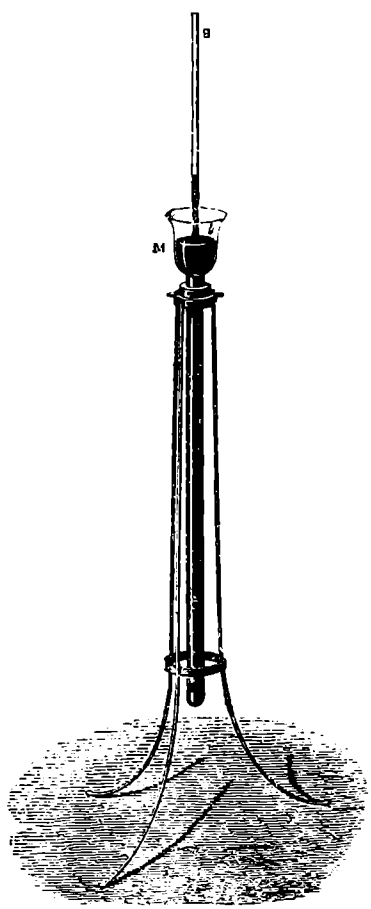


Fig. 273
Barómetro de cubeta profunda

Vamos ahora á verificar la ley de *Mariotte*, para los casos de presiones *menores* que una atmósfera.

Esto se consigue por medio del *barómetro á Cubeta profunda* (*figura 273*) que consiste en un cilindro de hierro terminado en la parte superior por un embudo ó *copa* y que se llena de mercurio.

En esta cubeta se introduce un tubo barométrico que se ha dividido en *partes de igual capacidad* y que previamente se han llenado de mercurio en sus *dos terceras partes* más ó menos.

Este tubo al invertirlo y sumergirlo en la cubeta profunda, conserva *una cierta cantidad de aire* que pasa á su parte superior.

Para conocer el *volumen* de aire á la presión del lugar en que se opera, se sumerge el tubo de vidrio hasta que el nivel del mercurio en el tubo de vidrio y el nivel del mercurio libre (*fig. 274*) estén en un mismo plano.

Entonces el volumen de aire *A M* estará soportando la presión de *una atmósfera*.

—Preparado así el instrumento, veamos si se verifica la ley de *Mariotte* para *presiones menores* que una atmósfera.

Elevemos el tubo de vidrio (*fig. 275*) *hasta que* el volumen de aire *A B* sea *doble*.

Si la ley de *Mariotte* es exacta en este caso, ese volumen *A B* de aire debe soportar *sólo media atmósfera* de precisión.

Efectivamente, eso es lo que se verifica, pues á medida que se elevaba el tubo, también se eleva una *columna de mercurio B M.*

Ahora bien, midiendo la altura de esa columna se encuentra:

$$B\,M = 0^{m},38 = \frac{0^{m},76}{2}$$

Pero la presión de la columna *B M más la presión del aire A B* debe equilibrar la presión ejercida por la atmósfera sobre el mercurio de la copa; luego se tiene *presión de aire A B* + *presión de mercurio* $0^{m},38 = 0^{m},76$, ó bien:

presión de aire A B $= 0^{m},76 - 0^{m},38 = 0^{m},38$

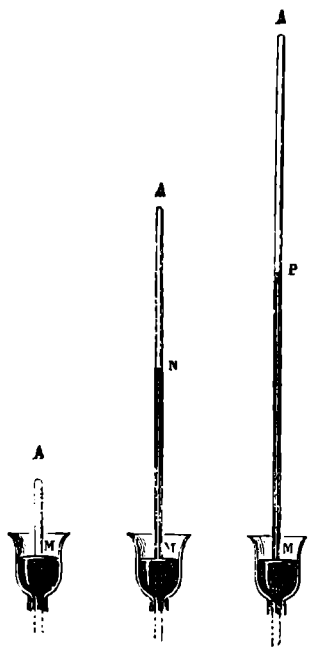


Fig. 274 275 276
Ley de Mariotte

es decir:

$$\textit{presión que ejerce y soporta el aire } A\,B = \frac{0^{m},76}{2}$$

quiere decir, pues, que el volumen *A B doble* de *A M* soporta *sólo media atmósfera* de presión.

—Sigamos elevando el tubo hasta que el volumen *A F* del aire (*fig. 276*) sea *triple* del volumen primitivo *A M*, y se verá que el mercurio se ha elevado $0^{m},5066$, luego:

$$\textit{presión de aire } A\,F + \textit{presión mercurio } 0,5066 = 0^{m},76$$

luego

$$\textit{presión de aire } A\,F = 0,76 - 0,5066 = 0,253$$

es decir, que la presión del aire es equivalente á una columna de mercurio de

$$0^{m},253 = \frac{0,76}{3}$$

luego el volumen *triple*, soporta una presión equivalente á *un tercio* de presión atmosférica.

388. –No exactitud de la Ley de Mariotte.—En vista de la sencillez de esta ley, varios físicos trataron de comprobarla para todos los gases.

Faraday, Oerstedt, Desprez y *Puillet*, demostraron que *diferentes* gases sometidos á la *misma* presión, habiendo sido *igual* el volumen primitivo, *no se comprimían* de igual cantidad.—Asi se verificó que el *ácido carbónico*, el *amoníaco*, el *ácido sulfúrico*, etc., se comprimen *más* que el aire hasta una presión de 15 *atmósferas* y que para presiones mayores de 15 atmósferas, se comprime *menos* que el aire.

Estaba, pues, demostrado que la Ley de Mariotte *no es la expresión de la compresibilidad general de los gases*, pero *se creía* que para el aire era exacta.

389.—Posteriormente, *Dulong* y *Arago* fueron encargados de estudiar la tensión del vapor de agua á diferentes temperaturas, y para esto tuvieron necesidad de graduar un *manómetro*, cosa que quisieron hacer directamente.

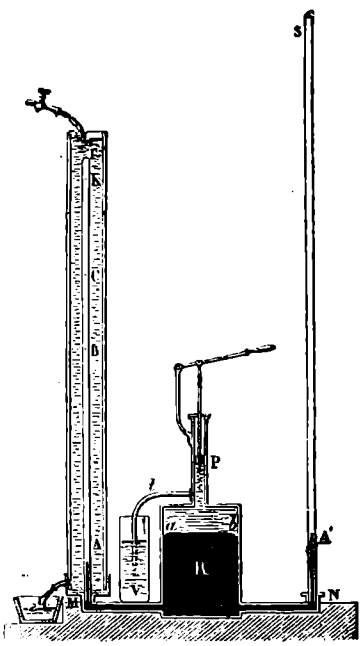


Fig. 277
. Experimento de Dulong y Arago

Al efecto tomaron trece tubos de vidrio de 2m de largo y uniéndolos los fijaron á lo largo de una plancha de madera que se colocó vertical, en el centro de la torre del colegio *Enrique IV*, de París. Este tubo de 26 metros de alto, era la *rama larga* de un colosal tubo de Mariotte. La *rama corta* era de 1m,70 de largo y su diámetro de 0m,005.

El mercurio no se introducia por la extremidad del tubo largo, sino que se introducia por medio de una bomba impelente (*fig.* 277), colocada en el centro del tubo que une las dos ramas.

Se llevó la presión hasta 27 atmósferas y se *constató*, que el volumen que tomaba el aire en la rama más corta, era siempre *algo menor* que el que le hubiera correspondido por la ley de Mariotte.

Sin embargo, siendo tan pequeño el error, se creyó que fuera debido á errores de la operación y se aceptó que *la ley de Mariotte era exacta para el aire hasta 27 atmósferas de presión.*

390.—Experimento de Regnault.—*Regnault* conservaba dudas respecto de la exactitud de la ley de Mariotte para el aire, fundándose en que con

el método usado por *Dulog* y *Arago*, como el *volumen* del gas va *constantemente* disminuyendo y si se produjera por ejemplo un error de *un milímetro*, este error tendría poca importancia cuando el gas ocupara un gran volumen, pero *tendría mucha importancia cuando*, como en este caso, por efecto de la presión, el volumen del gas se hubiese reducido á á un volumen pequeño.

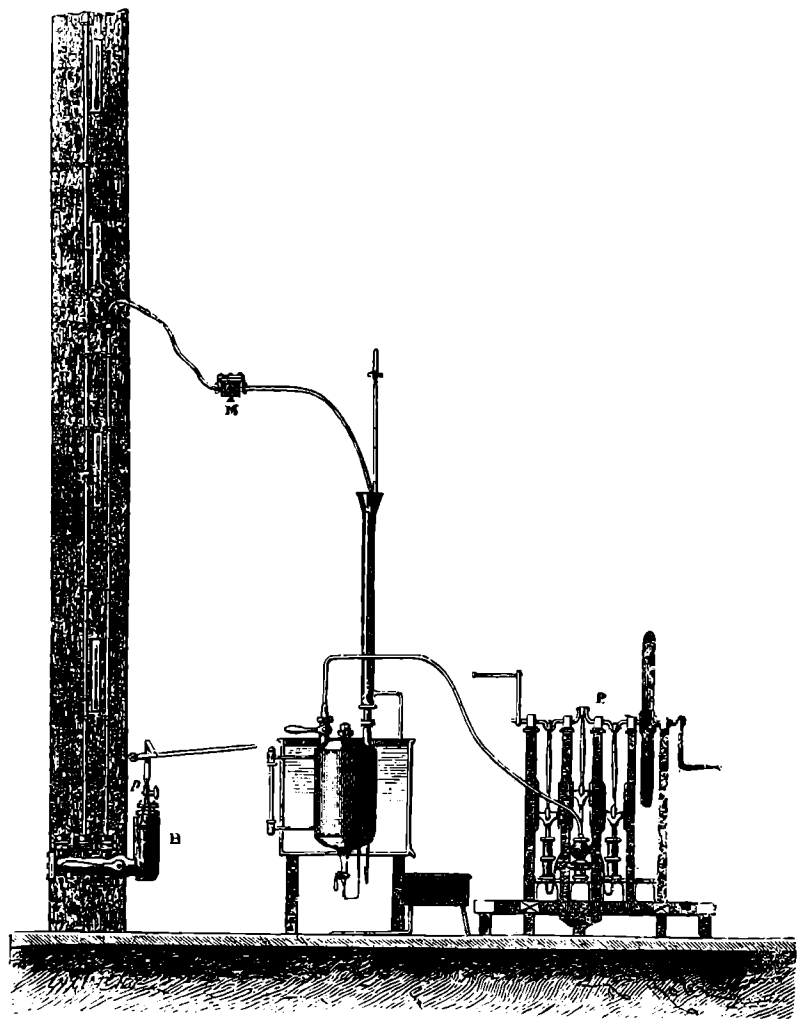


Fig. 278
Experimento de Regnault

Regnault ideó un aparato análogo al de *Dulong* y *Arago*, que colocó en una torre del *Colegio de Francia*, y obró siempre *sobre un mismo volumen de gas*, sujeto á distintas presiones y que *reducía constantemente á la mitad.*

De esta manera los errores eran despreciables, pues afectaban *grandes volúmenes* de gas.

El aparato consiste (*fig. 278*), en un tubo de vidrio *B* de 3m de altura

que es el destinado á contener el aire, y otro tubo *A* de 24m de altura que es el que nos medirá las presiones, por la altura de la columna mercurial.

Los tubos *A* y *B* están unidos por la parte inferior por otro tubo de fundición que está en comunicación con un depósito de mercurio *H*, el que se envia á los tubos *A* y *B* por medio de la bomba *p*.

El tubo menor *B* está en comunicación con un *depósito de aire comprimido V*, rodeado de una caja de agua corriente para mantener *constante la temperatura*.

En el depósito *V*, se comprime el aire por medio de la bomba *P*.

Las conclusiones á que llegó *Regnault*, experimentando sobre diferentes gases, fueron:

1º *Ningún* gas satisface por completo á la *ley de Mariotte*.

2º La divergencia aumenta á medida que aumenta la presión.

3º El *aire*, el *ázoe* y el *ácido carbónico*, son *más compresibles* de lo que indica la ley de Mariotte.

4º El *Hidrógeno* es *menos* compresible de lo que indica la ley.

5º Los demás gases siguen las variaciones que sigue el aire.

6º La divergencia *es mayor* para los gases antes *llamados permanentes*.

7º La compresibilidad de los gases se acerca más á la Ley de *Mariotte* á medida que *aumenta la temperatura*.

8º La compresibilidad de los gases llega á un máximum después del cual disminuye con el aumento de presión.

—De todo lo expuesto se deduce que:

La ley de Mariotte es una ley límite, la expresión de un caso que nunca se realiza, pero á la cual se acercan los gases según varían las presiones, la temperatura, etc.

391.—Aplicaciones de la ley de Mariotte.—La ley de *Mariotte* se aplica:

1º A la construcción de los *Manómetros*, aparatos destinados á medir la tensión de los gases y vapores contenidos en un recinto.

2º A la construcción de las *Máquinas Neumáticas* destinadas á enrarecer el aire contenido en un recipiente ó bien destinada á *disminuir* la fuerza elástica del aire.

3º A la construcción de la *máquina de compresión*, destinada á *almacenar* grandes cantidades de aire ó gas en un recipiente, ó bien destinada á *aumentar* la fuerza elástica de los gases.

—Los manómetros pueden ser, *á aire libre*, *á aire comprimido* y *metálicos*.

392.—Manómetro á aire libre.—Este aparato consiste en un tubo *B D* de vidrio (*fig. 279*) encorvado en su parte inferior, donde tiene un recipiente *A* de *gran diámetro* y terminado por un tubo más delgado *C*, que es el que se pone en comunicación con la caldera ó recipiente donde está el vapor ó gas *cuya presión* se quiere medir.

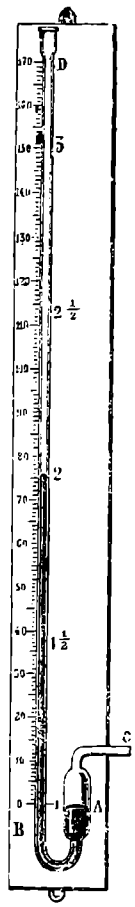


Fig. 279
Manómetro á aire libre

Cuando el manómetro está separado del recipiente, el mercurio está al *mismo nivel* en las dos ramas, lo cual nos prueba que en *C* se ejerce una presión igual á *una atmósfera.*

—Si se pone el tubo *C* en comunicación con el recipiente que contiene el vapor ó el gas y éste está á la presión de *2 atmósferas*, se verá que el mercurio sube $0^m,76$ en el tubo *B D.*

—Si sufre la presión de *3 atmósferas*, la columna de mercurio sube en el tubo *B D* á una altura igual á $2 \times 0,76 = 1^m,52$.

Es natural que á medida que sube la presión, *va disminuyendo el mercurio* contenido en la ampolleta *A;* luego la diferencia de nivel no será la marcada en la escala, lo cual nos prueba que éste *no es un instrumento de precisión.*

Esta es la causa por la cual no se usa este aparato sino para presiones que no pasan de 6 atmósferas.

Además, si quisiéramos hacerlo funcionar para presiones superiores, tendríamos que darle demasiada longitud al tubo *B D*, lo cual es muy molesto.

393.—Manómetro á aire comprimido.—En el manómetro á aire libre, se mide la presión por la altura de la columna mercurial y en el manómetro *á aire comprimido* se mide la presión por la *disminución de volumen* que

sufre una cantidad de aire contenido en un tubo de vidrio (*fig. 280*), de paredes resistentes, sumergido en un recipiente *de fundición*, para que pueda resistir *altas presiones*, que contiene mercurio y que se pone en comunicación con la caldera del vapor ó recipiente del gas, por medio de un tubo lateral *A*

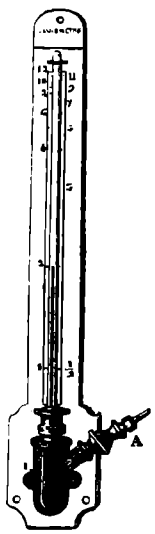


Fig. 280
Manómetro á aire comprimido

Si la presión es de *dos atmósferas*, el volumen de aire deberá ser *la mitad* del volumen de aire primitivo; si la presión es de *tres atmósferas* el volumen será *un tercio*, y así sucesivamente.

Este manómetro se *gradúa por comparación* con otro manómetro á aire libre.

Este aparato *tiene la ventaja* de su pequeño volumen, pero cuando las presiones son muy altas, las divisiones son tan cercanas que *es muy fácil cometer errores*.

Además, el mercurio en contacto con el aire comprimido, produce *óxido de mercurio* que hace poco precisas las observaciones.

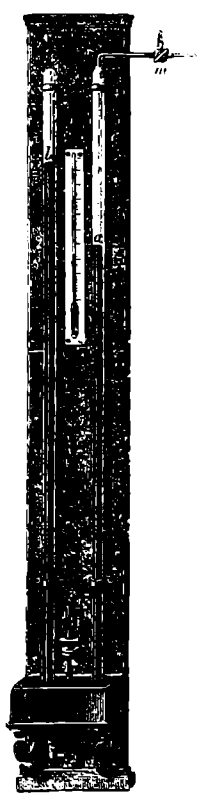


Fig. 281
Manómetro de Regnault

394.—Manómetro de Regnault.—Este manómetro, llamado también *manómetro barométrico ó barómetro diferencial*, consiste (*fig. 281*) en dos tubos de vidrio, el uno *b cerrado* en la parte superior y constituyendo un verdadero barómetro de cubeta y el segundo *a* abierto por los dos extremos.

Los dos están sumergidos en la misma cubeta y el tubo *a*, por medio del tubo *á tres ramas m*, se puede poner en comunicación con una máquina neumática ó con el recipiente que contiene el gas cuya presión se quiere medir.

Cuanto *menor* sea la presión, tanto *mayor* será la altura á que llega

el mercurio en el tubo *a*, hasta que cuando la presión sea *nula*, la altura en el tubo *a*, será la misma que la altura de la columna del barómetro *b*. En ese caso *se tendrá el vacío*. El robinete colocado en *m* es un *robinete á tres vías*, cuya disposición indicaremos más adelante.

395.—Manómetro metálico de Bourdon.—Este aparato (*figs. 282* y *283*) es análogo al *barómetro metálico de* Bourdon.

Consiste en un tubo de metal á paredes delgadas y de sección elíptica, encorvado en forma de espiral.

Uno de los extremos de este tubo termina en una aguja, y el otro extremo, puede ponerse en comunicación con la vasija que contiene el gas ó vapor cuya tensión se quiere medir.

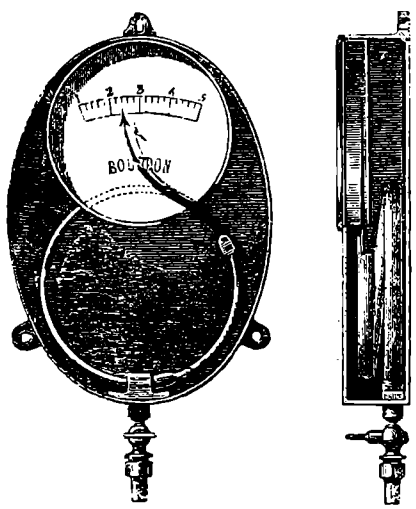


Fig. 282 Fig 283
Manómetro de Bourdón

Cuando se abre el robinete, el gas ó vapor se precipita *en el interior del tubo* y por consiguiente trata de *desarrollar* la espiral, lo cual producirá un movimiento en el extremo libre del tubo, movimiento que *se medirá* por la excursión de la aguja sobre un cuadrante graduado.

La graduación se hace por comparación con otro manómetro.

396.—Globos Aerostáticos.—En 1670 el padre *Lana* y en 1751 el padre *Galien* emiten ideas sobre la posibilidad de elevarse en la atmósfera.

En 1767 *Black*, en Edimburgo, afirma en su cátedra que una vejiga llena de hidrógeno *debía elevarse* en el aire.

Cavallo, en Londres, *prueba* en 1782 esa afirmación, elevando *globos de jabón* con hidrógeno.

Los hermanos *José* y *Esteban Montgolfier* fabricantes de papel en Annonay, teniendo, tal vez, conocimiento de los experimentos de *Cavallo*, tratan de elevar unos sacos de papel delgado *llenos de hidrógeno*. Los globos se elevan, pero al poco rato descienden, debido á que el gas se perdía inmediatamente.

Reflexionando sobre esto, resolvieron utilizar el *aire caliente*, que es *menos denso* que el aire frío, y el 4 de Junio de 1783 lanzaron su primer globo, en la ciudad de Annonay ante un inmenso público.

El aire se mantenía caliente por medio de la combustión de materias inflamables, que llevaba una canasta de alambre.

El globo se elevó á una altura de 2000^{m}.

La Academia de Francia, sorprendida por este resultado, invitó á los hermanos *Montgolfier* para que se trasladaran á París y repitieran allí su experimento, por cuenta de la *Academia*.

Mientras tanto, se levantó en París una subscripción pública y se encargó á *Charles* de la dirección de los trabajos, el cual creyendo que los hermanos *Montgolfier* habían usado el *hidrógeno*, hizo construir un globo de tafetán de 4^{m} de diámetro, que se recubrió de caucho disuelto en esencia de trementina hirviendo.

El globo se llenó frente á la casa de *Charles*, pero se llevó de noche, á la luz de antorchas, al *campo de Marte* y al día siguiente, 27 de Agosto de 1783, se lanzó en medio de un gran entusiasmo, yendo á caer el globo á 5 leguas de distancia.

Mientras esto sucedía, Esteban Montgolfier concluía su globo que tenía 14 metros de diámetro horizontal y 20 metros de altura, construído con tela de embalaje, recubierto interior y exteriormente de una capa de papel.

El globo llevaba una jaula que contenía *un carnero*,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS

un gallo, un pato y se elevó ante una inmensa multitud, hasta una altura de 500 metros, descendiendo después lentamente á causa de haberse rasgado.

Con esto quedó comprobado que la vida es posible á grandes alturas.

—Montgolfier reconstruyó su aparato y lo dotó de una galería circular (*fig. 284*) en cuyo centro se con-

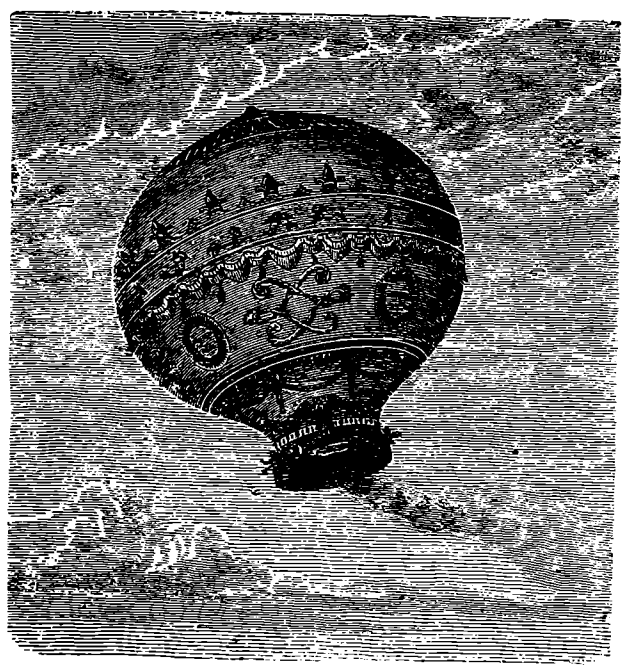


Fig. 284
Globo de Montgolfier

servaba el fuego para mantener el aire caliente y *Pilatre de Rosier y el marqués de Arlandes* se atrevieron á lanzarse en el espacio, con el aparato, el día 20 de Noviembre de 1783.

Subieron á la altura de 1000 metros y bajaron sanos y salvos á una distancia de 8 kilometros.

El globo tenía 15 metros de diámetro y 24 de altura.

—Esta lué *la primera ascensión*. Después se hicieron muchas otras, siendo las más célebres la de *Gay-Lussac y Biot* en 1804, á una altura de 4000^{m} y poco tiempo

después la de Gay-Lussac á 7000^{m} de altura. Partió con 27° de temperatura y á 7000^{m} la temperatura era de 9°. Era tal la *sequedad* que el papel se retorcía. Debido al enrarecimiento del aire, *la sangre brotaba* de las encías y narices y el pulso se aceleraba.

—En una ascensión hecha por *Coxwel y Glaisher*, llegaron á 9000^{m} de altura y el enrarecimiento del aire era tal que el barómetro marcaba 0^{m},254; *Glaisher* se desmayó y *Cowxel* habiendo perdido el uso de las manos, consiguió tirar con los dientes la cuerda destinada á mover la válvula que debía provocar el descenso.

—La primera víctima de la ascensión de los globos fué también el primero que hizo la ascensión, *Pilatre de Rosier*. Este quiso repetir con *Romain* la hazaña de *Blanchard*, el cual había atravesado el canal de la Mancha, de Douvres á Calais.

Para eso tuvieron la fatal idea de unir dos globos, uno lleno de hidrógeno y otro lleno de aire caliente. Poco después de su salida se vió que los globos descendían con rapidez, y *Pilatre de Rosier* y *Romain* murieron en el mar.

—Ultimamente, en 1875, ascendían en un aeróstato *Gastón de Tissandier*, *Sivel y Croce-Spinelli* y llegaron á una altura de *8600* metros, donde *Sivel y Croce-Spinelli* murieron asfixiados.

Finalmente, debemos agregar que según *Daguin*, la invención de los globos es *Sud-Americana*. El padre *Gusmas* lo inventó en Río de Janeiro é hizo su ascensión en Lisboa en 1720, por medio de un globo cautivo que se elevaba con aire caliente.

Montgolfier lo volvió á inventar 62 años después que se había olvidado la primera invención.

397.—Construcción y ascensión de los globos.—Los globos de aire caliente, llamados también *Montgolfieras*, se construyen de papel ó de lienzo forrado de papel.

Hoy ya no se usan sino como globos en libertad, pero no para ascensiones aerostáticas.

Los globos que deben hincharse con *hidrógeno* llamados *globos aerostáticos*, se hacen de tafetán barnizado ó bien con una tela impermeable al hidrógeno llamada *makinthosh*, que está formada de una lámina de caucho interpuesta entre dos de tafetán.

Se construyen cosiendo entre sí varios husos de esa tela y dándole la forma esférica, algo alargada inferiormente.

El globo está generalmente abierto en la parte inferior y cerrado por medio de una *válvula* en la parte superior con el objeto de permitir á voluntad el escape del hidrógeno.

En la parte inferior lleva una *navecilla de mimbre* en la que va el *aeronauta* llevando instrumentos de observación, como *barómetro*, *termómetro*, *higrómetro*, etc., y unos *sacos de arena* que constituyen el *lastre* del globo y cuya misión indicaremos más adelante.

La navecilla va suspendida á una *red* que envuelve el globo con el objeto de que la tensión se ejerza sobre toda la superficie superior del mismo y que esté por consiguiente más repartida la presión.

La válvula que está en la parte superior, se puede abrir y cerrar desde la barquilla por medio de dos cuerdas.

—El *lastre* tiene por objeto evitar que el globo baje en un punto peligroso de la tierra, ó que no conviene al aeronauta.

Arrojando una cierta cantidad de arena, el globo se hace más liviano y se eleva á mayor altura de la que está.

Al arrojar el lastre, es necesario *tener la precaución* de no arrojar mucho *al mismo tiempo*, pues de lo contrario produciría un ascenso brusco y una disminución de presión para el aeronauta demasiado rápida, lo cual podrá serle nocivo.

—Los globos aerostáticos *se llenan* con hidrógeno ó con *gas del alumbrado*, prefiriéndose generalmente este último, por la comodidad de poderlo tener en las ciudades.

Cuando se llena de hidrógeno, se procede de la siguiente manera.

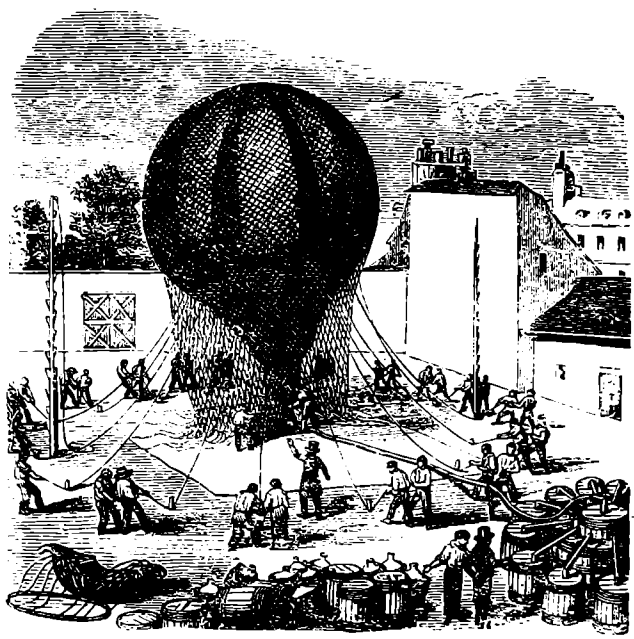


Fig. 285
Globo-aerostático

Se clavan en el suelo dos palos elevados (*fig. 285*) que se unen por una soga, en cuyo centro se suspende el globo vacío.

A la abertura inferior del globo se hace llegar un caño de goma que parte de un *tonel* que hace el papel de *gasómetro* y que está superpuesto á una tina de agua, en la cual termina una serie de caños que parten de una corona de toneles, colocados alrededor del tonel grande.

En los toneles pequeños se ha colocado hierro viejo ó limadura de zinc y agua acidulada con ácido sulfúrico, que por reacción química produce hidrógeno, el

cual al desprenderse pasa por el agua de la tina que ya indicamos, *se lava*, pasa al gasómetro ó tonel central y de allí al globo.

Es necesario *no llenar* por completo el globo, pues á *medida que éste se eleva la presión disminuye* y por consiguiente, dilatándose más el gas interior, podría hacer *estallar* el globo.

A medida que el globo se va llenando, es necesario sostenerlo con la ayuda de un cierto número de hombres, que lo detienen por medio de sogas.

—Cuando el globo está listo el aeronauta sube á la barquilla y á un grito que lanza (*fig. 286*) se sueltan todas las sogas simultáneamente y el globo asciende.

Cuando quiere descender, abre la válvula, el hidrógeno sale, *disminuye el volúmen* del globo y como el peso queda casi constante, se hace todo el sistema *más denso* que el aire y el globo desciende.

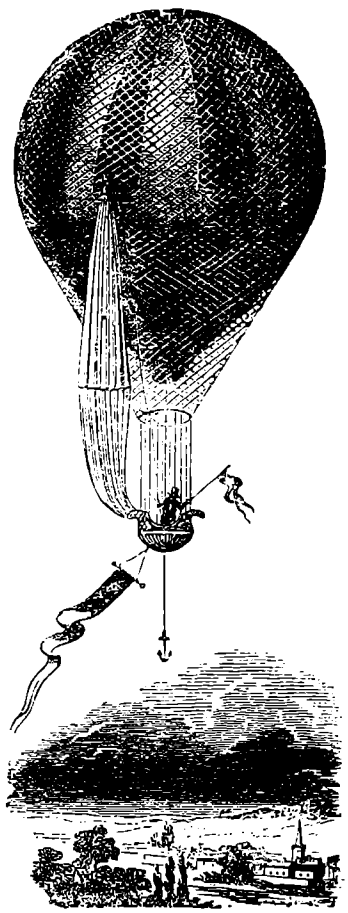


Fig. 286
Globo aerostático

Si el descenso fuera demasiado rápido ó no conviniera bajar en cierto punto, el aeronauta arrojaría una cantidad de arena y haciéndose el globo más liviano, volvería á ascender.

El aeronauta lleva además consigo un *ancla*, que está ligada á la barquilla por medio de una soga larga, ancla que deja caer cuando está cerca del suelo, con el objeto de evitar que el globo sea arrastrado, produciendo-

do golpes en la barquilla que pondrían en peligro la vida del aeronauta.

Para conocer la *dirección* que sigue el globo, lleva además, una banderola que se orientará en dirección contraria á la marcha.

398.—Para-caidas.—Para el caso que sucediera un accidente cualquiera y el globo no pudiera descender ó

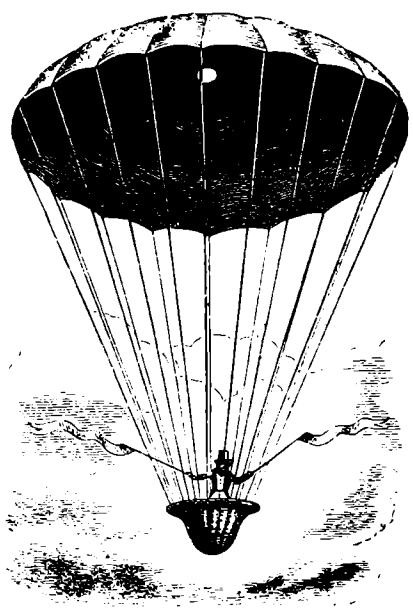


Fig. 287
Para-caidas

que el globo se viera arrastrado hacia el mar, el aeronauta *puede abandonarlo* y dejarse caer por medio de un *para-caidas* que está fijado al mismo, por medio de una soga que pasa por una polea.

Este aparato consiste en una especie de *paraguas* de seda, sin ballenas, de cuya circunferencia parte una cantidad de cuerdas que sostienen una pequeña navecilla (*fig. 287*), que se lleva en la barquilla grande.

El para-caidas está dotado de una *abertura circular*

en su centro con el objeto de que pase el aire que comprime en su descenso.

El descenso es muy lento y sin sacudimientos.

El inventor fué *Garnerín*, quien se dejó caer de una altura de 1000 metros; pero como no había tenido la precaución de dejar la abertura central, bajó dando tumbos que lo pusieron en grave peligro.

399.—Fuerza ascensional.—Es necesario recordar que los globos se elevan en virtud del *principio de Arquímedes* aplicado á los gases.

Luego un globo que está en el aire se encontrará sujeto á la acción de dos *fuerzas* contrarias. El *peso* del globo, con el gas, barquilla, aeronauta, etc., que llamaremos P, y la *de abajo hacia arriba* por el empuje del aire, que llamaremos E.

Si $P > E$, el globo *no subirá*.

Si $P = E$, el globo *quedará quieto*.

Si $P < E$ el globo se *elevará*.

La diferencia F de esas dos fuerzas, es la que se llama *fuerza ascensional*.

Por lo tanto la fuerza ascensional será:

$$F = E - P$$

400.—Pongamos un caso práctico, para calcular la fuerza ascensional.

Supongamos que el globo tenga *6 metros* de radio, y desde que el volumen se calcula como si fuera esférico, tendremos que dicho volumen será:

$$V = \frac{4\,\pi\,R^3}{3} = \frac{4 \times 3{,}14159 \times 6^3}{3} = 904{,}^{m3}77$$

que al mismo tiempo será el volumen de aire desalojado por el globo. Pero como el peso de *un metro cúbico* de aire es 1 kg.293, resultará que *el empuje estará expresado por el peso de ese aire desalojado*, es decir:

$$(1) \qquad E = 90{,}477 \times 1.293 = 1169^{kg},867$$

Por consiguiente, el empuje estará expresado por 1169,867 *kilogramos*.

Ahora tenemos que calcular P, es decir, *el peso del aparato*, con su gas, envoltura, barquilla, etc.

—Para *calcular el peso* del gas, debemos tener presente que su volumen es de 904,77 y que siendo su densidad 0,0692, el peso *del metro cúbico* será:

$$1^{kg},293 \times 0{,}0692 = 0^{kg},089$$

luego *el peso del hidrógeno* contenido en el globo será:

$$904{,}77 \times 0{,}089 = 80^{kg},524$$

y si suponemos que el globo y la barquilla pesen 700 kilogramos tendremos:

$$P = 700^{kg} + 80^{kg},524 = 780^{kg},524$$

y teniendo presente la expresión (1) *la fuerza ascensional* será:

$$F = 1169{,}867 - 780{,}524 = 389^{kg},343$$

fuerza que debemos equilibrar aún, con el peso del *lastre, instrumentos, aeronauta,* etc.

—Para que el globo parta y se eleve, *bastará* que la fuerza ascensional sea solo de 4 á 5 kilógramos.

Estos cálculos son proximados.

—Para calcular con mayor exactitud podemos hacer uso de la fórmula:

$$F = \frac{a\ V\ H}{760}(l - d) + \frac{a\ v\ H}{760} - p$$

donde:

V = capacidad interior del globo.
v = volumen del globo vacio y sus accesorios.
p = peso del globo y accesorios.
a = peso de 1^{m3} de aire á la presión de $0^{m},76$.
d = densidad del gas relativa al aire, en igualdad de presión y temperatura.
H = presión atmosférica en el momento de la ascensión.

401.—A medida que el globo se eleva, la presión exterior disminuye y la fuerza ascensional decrece, y entonces *llega un momento en que el empuje es igual al peso* y el globo queda estacionario, ó es arrastrado horizontalmente por alguna corriente de aire.

Si el globo no partió lleno, la fuerza ascensional permanecerá constante, pues si bien disminuye la presión exterior constantemente, aumenta el volumen del globo también constantemente, hasta que llenándose por completo, sucede como en el caso anterior.

De donde se deduce, que cuanto más vacío parte el globo, tanto más alto puede llegar.

402.—Aplicaciones de los globos aerostáticos.—Los globos se han aplicado como aparatos para descubrir el movimiento de un ejército enemigo.

En el sitio de Maubenge, se descubrieron así los trabajos de los sitiadores; en la batalla de Fleurus el *general Moreau* utilizó un globo cautivo y quedó durante dos horas á 400 metros de altura, mandando al *general Jourdan* los despachos que contribuyeron á ganar la batalla. En las campañas de Italia y más recientemente en el sitio de París por los alemanes en 1870, se aplicaron los globos.

—*Giffard* expuso en la Exposición Universal de París, de 1878, un globo cautivo de 25.000 metros cúbicos de capacidad, lleno de hidrógeno y que elevaba 50 personas en cada viaje á la altura de 600 metros, que era la longitud del cable.

403.——Desde que se inventaron los globos se está estudiando el medio de darles *dirección.*

El problema parece no tener solución para los globos aerostáticos actuales, pues hasta ahora la *fuerza es muy pesada*, y para elevar esa fuerza se necesita *mayor volumen* del globo, lo cual produce *mayor superficie* resistente á la marcha, exigiéndose por consiguiente *mayor fuerza* propulsora y así sucesivamente.

Se tiene, pues, un círculo vicioso.

Sin embargo, hoy día se ha tratado de variar la forma de los globos, dándoles la de un huso alargado, con lo cual se tiene menor superficie resistente á la marcha pero una gran exposición á la acción de las corrientes aéreas.

—Creemos difícil, sino *imposible*, que el aire pueda ser vencido por cosas más livianas que él.

Es opinión nuestra que la solución se puede hallar en las cosas más pesadas que el aire, aplicando convenientemente determinadas fuerzas, como nos enseña la naturaleza con el vuelo de las aves.

Descúbrase el *mecanismo del vuelo*, y quedará el problema resuelto.

La fotografía instantánea y los naturalistas lo resolverán.

404.—La introducción del *guiderope* por el Conde de De la Vauls, gran cable que cuelga de la barquilla, permite conservar el globo á la altura deseada.

Quiere el aereonauta bajar, recoge parte del cable, hay mayor peso en la barquilla y el globo baja.

Quiere elevarse, deja caer el cable que arrastra por el suelo, el globo se aliviana y sube.

De la Vauls ideó también un sencillo aparato para desviar el globo de la dirección que le imprime el viento, siempre que el globo navegue sobre el mar.

Consiste en una especie de persiana que colgada de un cable arrastra por el agua.

Desde la barquilla puede darse á las tablillas que forman la persiana, diferente inclinación. Es algo así como un timón.

Con este aparato se ha podido marchar hasta con un ángulo de más de 30° de la dirección del viento.

405.—Las *aero-naves*, que tanto impulso han tomado después de los primeros ensayos de Santos Dumont, son una modificación de los globos, cuya forma es alargada y á los cuales se les ha dotado de un poderoso motor de pequeño peso que ha alcanzado á imprimirles una velocidad de 10 metros por segundo

Es muy poco. Una suave brisa los domina.

406.—Los *aero-planos*, especie de grandes barriletes ó cometas que sostienen una barquilla con motor, etc., están destinados á fracasar, aunque como las aero-naves, puedan ser utilizados en circunstancias de calmas excepcionales.

Volvemos á insistir en que la solución está en el vuelo.

Explicado el mecanismo del vuelo de las aves, inmediatamente dominaremos el aire.

CAPÍTULO IV

MAQUINA NEUMÁTICA

407.—Máquina Neumática de un solo cuerpo de bomba.—La máquina neumática es un aparato destinado á *enrarecer* el aire de un recipiente. Es una aplicación de la *ley de Mariotte*.

Esta máquina fué inventada en 1650 por *Otto de Guericke*, burgomaestre de *Magdeburgo* y primitivamente no tenía más que un solo cuerpo de bomba.

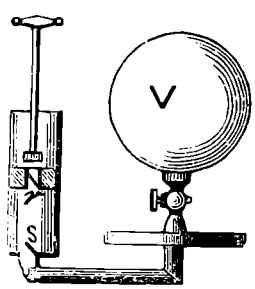


Fig. 288
Máquina neumática

Reducida á su menor expresión, la máquina neumática consiste en un cilindro de vidrio abierto en la parte superior y dentro del cual se introduce un pistón (*fig. 288*), que entra forzadamente.

La parte inferior del cilindro tiene una abertura cerrada por una válvula *S*, abertura que por medio de un tubo comunica con el recipiente *V*, en el cual se quiere hacer el vacío, ó mejor dicho, enrarecer el aire.

El pistón también está dotado de una abertura, que se cierra por medio de una válvula *r*.

Las dos válvulas se abren de *abajo hacia arriba*.

—Veamos como funciona.

Supongamos que el pistón está en el fondo del cilindro.

Elévese el pistón y debajo de él se formará el vacío, y la válvula *r* se cerrará por la presión de la atmósfera.

El aire contenido en el recipiente *V*, en virtud de su fuerza expansiva levantará la válvula *S* y parte de él pasará al cilindro hasta que se haya restablecido el equilibrio en los dos recipientes. Con esta operación ya se ha enrarecido el aire contenido en *V*.

Introdúzcase ahora el pistón. Al introducirlo se comprime el aire contenido debajo del pistón, se cierra la válvula *S* y se abre la válvula *r*, pasando á la atmósfera el aire que estaba debajo del pistón.

Se vuelve á levantar el pistón produciéndose más enrarecimiento del aire contenido en *V*, vuelve á cerrarse la válvula *r* y abrirse la *S* y así sucesivamente enrareciéndose cada vez más el aire contenido en el recipiente *V*.

—Es natural que *nunca podrá producirse el vacío absoluto*, pues, si supusiéramos el caso más favorable en que las dos válvulas funcionen con la precisión que exige la teoría, es decir, que al subir el pistón se produjera el vacío absoluto debajo del mismo y que el volumen del recipiente *V* fuera *igual* al volumen del cilindro debajo del pistón, resultará que en cada golpe de éste, se reduciría á la *mitad* el aire contenido en *V*, es decir, á 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.... del volumen primitivo, sin llegar *nunca á cero*.

408.—Máquina neumática á dos cuerpos de bomba.—La idea de usar dos cuerpos de bomba en vez de uno, se le ocurrió simultáneamente á *Hauksbee*, *Papin* y *Sgravesande*.

Tiene *la ventaja* de hacer el vacío con más rapidez, y además, de no tener que contrarrestar la acción de la presión atmosférica.

Efectivamente, en la máquina anterior, cuando el aire del recipiente *V* está muy enrarecido, cada vez que se debe *elevar el pistón*, hay que vencer la acción de la

presión atmosférica, que equivale al peso de una columna de mercurio que tiene 76 centímetros de altura y *por base la superficie del pistón.*

Llega un momento en que el funcionamiento del pistón se hace muy fatigoso.

Este inconveniente se evita con la máquina á dos cuerpos de bomba, pues la presión atmosférica que se ejerce sobre uno de los pistones, sirve para obtener el movimiento del otro pistón en sentido contrario, es decir, que se destruyen las dos fuerzas, pues siendo dos fuerzas iguales y contrarias dan una resultante única aplicada sobre el eje de rotación que no produce efecto alguno y sólo obrará la fuerza del hombre.

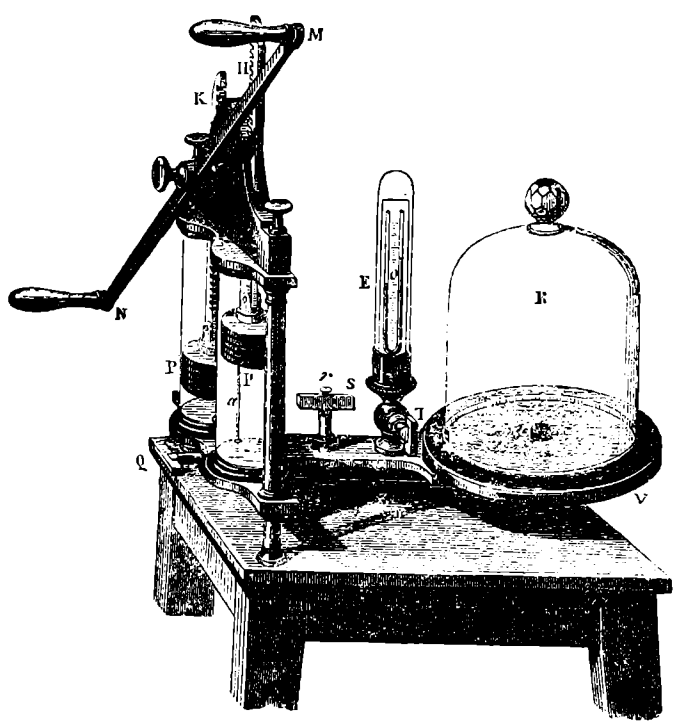


Fig. 289
Máquina neumática á dos cuerpos de bomba

409.—Esta máquina *(fig. 289)* está compuesta de *dos cuerpos de bomba* P y P' análogos al anterior, comunicando los dos por la parte inferior con el recipiente R, en el cual se quiere hacer el vacío.

La *platina V* está generalmente constituída por una lámina de vidrio esmerilado, sobre la cual se apoyan los recipientes *R*, cuyos bordes están colocados sobre un mismo plano, de manera que el ajuste es perfecto.

Además, en el centro de la platina hay un tubito *n* con algunos pasos de tornillo y al cual pueden atornillarse recipientes especiales.

410.—El movimiento de los pistones se obtiene por medio de una manivela *M N*, que imprime un movimiento circular alternativo á una rueda dentada, que mueve con movimiento también alternativo dos *cremalleras H* y *K* que constituyen los vástagos de los pistones *P* y *P'*.

Moviendo alternativamente la manivela *M N*, se obtienen los movimientos alternativos de los pistones.

411.—El *pistón* (*fig. 290*), está formado de dos discos de cobre *A* y *B*, que por medio de un tornillo, ajustan más ó menos, una serie de discos de cuero embebidos de aceite de patas.

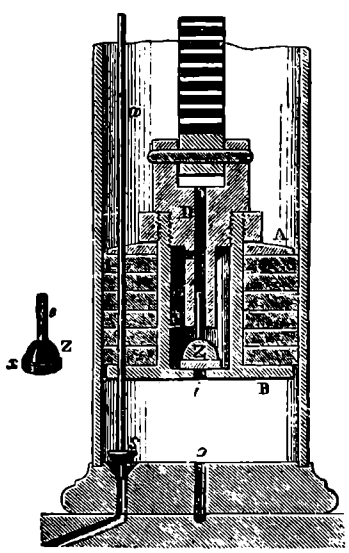


Fig. 290
Pistón de máquina neumática

Apretando convenientemente el tornillo, se comprimen los discos, los cuales se dilatan en el sentido de su diámetro y *ajustan* perfectamente el pistón contra el cilindro.

Los discos *A* y *B* metálicos y los de cuero están *agujereados en su centro* y permiten el paso de un *tubo* metálico *D*, en cuya extremidad superior, se fija el vástago del pistón. El disco metálico *B* tiene en su centro un agujero *i* que está cerrado por una válvula *z* destinada á permitir el paso del aire

que está debajo del pistón, á la parte superior de él, ó sea á la atmósfera.

A través del pistón pasa un *vástago a* que se mueve á frotamiento, llevando en su extremidad inferior un cono *s* que cierra herméticamente la abertura que comunica con el recipiente.

Cuando el pistón baja, la válvula *z* se abre y la válvula *s* se cierra, permitiendo el paso del aire á la atmósfera.

Cuando se levanta el pistón, la válvula *z* se cierra por la acción de la atmósfera y como el pistón arrastra el vástago *a*, se abre la vávula *s*. Esta válvula no se separa mucho de la abertura, porque la parte superior del vástago *a*, choca contra la tapa superior del cilindro y entonces se mueve sólo el pistón, sin arrastrar el vástago mismo.

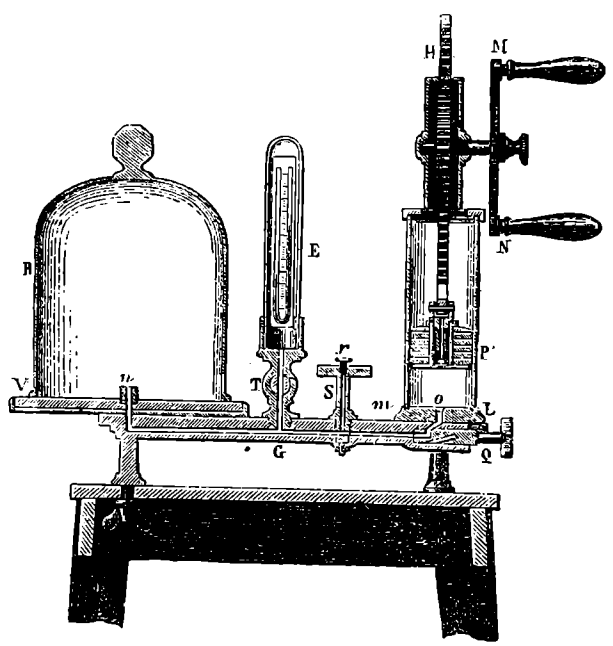


Fig. 291
Máquina neumática

412.—Del tubo *o n* (*fig. 291*), que pone en comunicación los cuerpos de bomba con el recipiente *R*, parte una derivación *T*, que hace comunicar el recipiente con

un tubo de vidrio *E* que contiene en su interior un *barómetro truncado* de unos 50 centímetros de longitud.

Es un *barómetro de sifón*, en que se ha suprimido la cámara barométrica y parte de la columna mercurial.

Cuando se va enrareciendo el aire, el mercurio *baja* en el tubo *cerrado* y *sube* en la rama *abierta*. Si se llegara á conseguir el vacío perfecto, el mercurio estaría á un mismo nivel en los dos tubos, pues entonces tendrían la misma presión las dos superficies del mercurio. La presión igual á *cero*.

Con las máquinas neumáticas más perfectas se consigue que la diferencia de nivel sea sólo de *medio milímetro*. Se dice entonces que *se ha hecho el vacío á medio milímetro*.

413.—Sólo nos resta indicar el funcionamiento de los tres *robinetes T, S* y *Q*.

El robinete *T* sirve para hacer comunicar el recipiente *E* con el conducto *o n*, con el objeto de medir la presión interior del recipiente *R*.

El robinete *S* sirve para *interrumpir* la comunicación entre el recipiente *R* y los cuerpos de bomba, cuando se ha hecho el vacio.

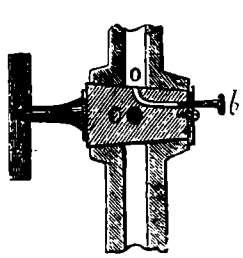


Fig. 292
Llave de paso

Cuando las bombas están funcionando, el conducto *C (fig. 292)* de este robinete, está en la dirección del conducto *o n* y cuando se ha hecho el vacio y se cierra la comunicación, el conducto *C* toma la posición indicada en la figura.

Cuando se quiere retirar el recipiente y por consiguiente *permitir la entrada del aire* al mismo, bastará retirar el tapón metálico *b* y entonces el aire penetrará por *O* al recipiente.

—Finalmente el robinete *Q*, es el que se conoce con el nombre de *Llave ó robinete de Babinet*.

414.—Robinete de Babinet.—Antes de indicar la misión del *Robinete de Babinet*, debemos indicar que, como no es posible hacer que el fondo del pistón coincida exactamente con el fondo del cilindro, cuando el pistón baja, *siempre queda* entre el disco inferior del pistón y el fondo del cilindro, *una capa de aire* que no pasa á la atmósfera.

Este espacio que queda entre el pistón y el cilindro es lo que se llama el *Espacio Nocivo*, en virtud del cual nunca es posible llegar á hacer el *vacío perfecto*.

Además de esta causa práctica existen otras como las filtraciones de aire que se verifican por los robinetes, las juntas de las piezas y hasta por los poros del metal.

—El *robinete de Babinet* reduce á la *mitad* el inconveniente del espacio nocivo.

El robinete *D* está acanalado en su eje y éste sigue la dirección del conducto que hace comunicar el recipiente con los cuerpos de bomba.

Comunicando con el eje central hay un canal transversal, un semicanal *n (fig. 293)* y otro canal lateral $\alpha\ \beta$ paralelo al semicanal *n*.

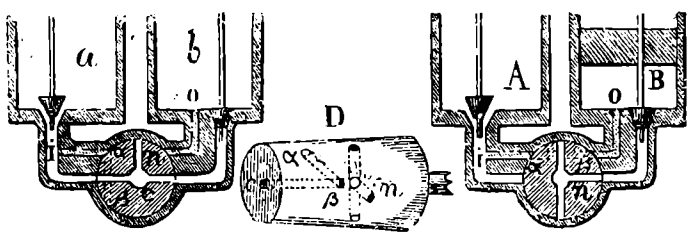


Fig. 293
Robinete de Babinet

Observando la figura de la izquierda, se nota que en ese caso el semicanal *n* no ejerce función alguna, y entonces, estando en comunicación los dos cilindros *a* y *b*, la máquina funciona en su estado normal.

Veamos la figura de la derecha, en cuyo caso el aire del recipiente pasa por el conducto central, y se dirige sólo al cilindro *B*.

Al bajar el pistón de ese cilindro, *ya no obliga el aire* á abrir la válvula y pasar directamente á la atmósfera, sino que, por el agujero *O* y el conducto $\alpha\ \beta$ pasa por el tubo *i* al cilindro *A*, donde encuentra ese pistón elevado porque el *B* baja. Cuando *B* se eleva, la válvula *i* se cierra, y ya el aire no puede volver por *i* $\alpha\ \beta$ *o* al cilindro *B*.

De esta manera, el cilindro *B* aspira los últimos restos del aire contenido en el recipiente, lo envía al cilindro *A*, y allí lo almacena hasta que cuando hay bastante aire, se abre paso á través de la válvula del pistón *A* y va á la atmósfera.

Vemos, pues, que en este caso no hay más espacio nocivo que el del cilindro *B*.

415.—Máquina de Bianchi.—La máquina de *Bianchi* representada en la *fig. 294*, es una máquina á *doble efecto*, es decir, que con un solo cuerpo de bomba produce el mismo efecto que la máquina á dos cilindros.

El cilindro es de fundición y es *oscilante*, moviéndose el pistón por la acción de un volante *V*, impulsado por una manivela *M*.

El cilindro (fig. 295) está dotado de *tres* válvulas *S*, *S'* y *a*, y el pistón de *una* válvula *b*.

La aspiración se hace por la válvula *S* por medio del conducto *C* y por la válvula *S'* por el conducto *B*.

Las dos válvulas *S* y *S'* se abren y cierran por el movimiento de un vástago *D* que atraviesa el pistón.

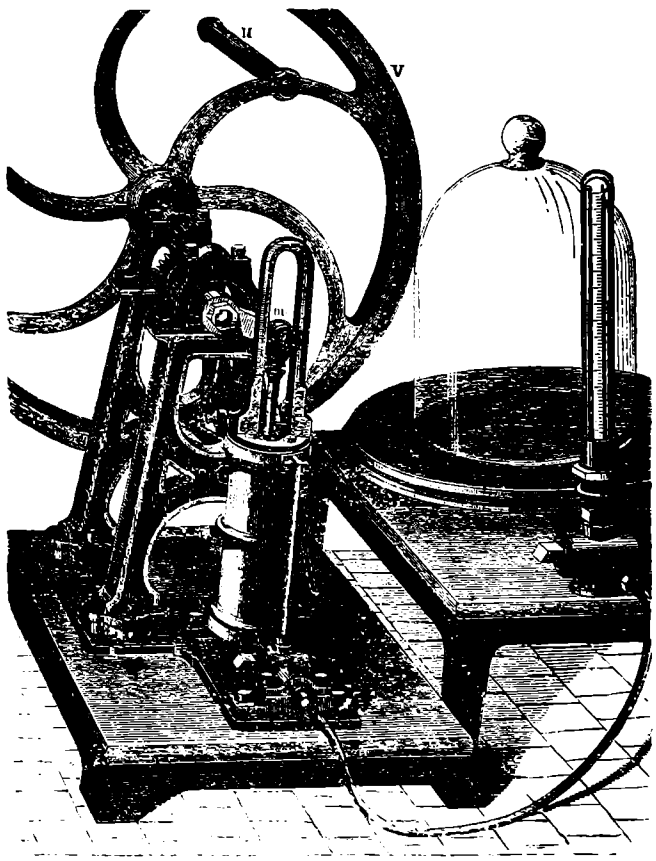


Fig. 294
Máquina de Bianchi

Las válvulas *a* y *b* sostenidas por resortes se abren de adentro hacia afuera.

El cilindro está cerrado también en su parte superior, moviéndose el vástago del pistón en una caja-estopa.

Este vástago tiene un canal en su eje y es por allí que se escapa el aire que pasa por la válvula *b*.

—Hagámosla funcionar *elevando el pistón*, en cuyo caso se abre la válvula S', se cierran las válvulas S y b, y el aire que se comprime en la parte superior escapa por la válvula a.

En ese mismo tiempo, al abrirse la válvula S', parte del aire del recipiente pasa á ocupar el espacio dejado debajo del pistón.

—*Bajemos el pistón*, é inmediatamente se cerrará la válvula S', abriéndose la S.

El pistón comprime el aire que está debajo de él, con lo cual se abre la válvula b, y por el tubo X escapa á la atmósfera. De esa manera, aspirando el aire por $S\,S'$ y expulsándolo por a y b, se va enrareciendo.

En R, hay una *llave de Babinet* que surte el mismo efecto que en la máquina de dos cilindros.

Vemos que es de *doble efecto*, porque *bajando* el pistón *aspira* aire por S y lo *expulsa* por b, y elevando el pistón *aspira* por S' y lo *expulsa* por a.

Es una máquina muy resistente y muy *rápida*.

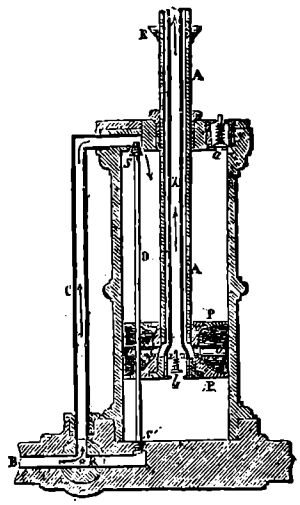


Fig. 295
Pistón de la máquina de Bianchi

416.—Máquina de Deluil.—Esta máquina es también de un solo cilindro, á *doble efecto* y *rotativa* como la anterior, (*fig. 296*) pero el cilindro *no oscila*.

La parte más curiosa de esta máquina es el pistón que consiste en un cilindro metálico con ranuras circulares, el cual *no roza* contra las paredes, dejando un espacio libre de $\frac{1}{50}$ *milímetro* entre el pistón y el cilindro.

Los *collares de aire* que se forman en las ranuras constituyen una especie de tabique compresible entre el aire que está sobre el pistón (*fig. 297*) y el que está debajo de él.

La construcción de estos pistones está basada en la propiedad de que los gases circulan con dificultad á través de los tubos ó conductos capilares, sobre todo, si éstos gozan de dilataciones y contracciones como en este caso.

La aspiración se hace sucesivamente por las válvulas S y S', y la expulsión del aire por las válvulas A

y A' que están sobre las bases del cilindro. De modo que el aire respirado por R se expulsa por el conducto R'.

Esta máquina tiene otra particularidad, y es que *puede convertirse en máquina de compresión*, en cuyo caso aspirará por R' y comprimirá por R.

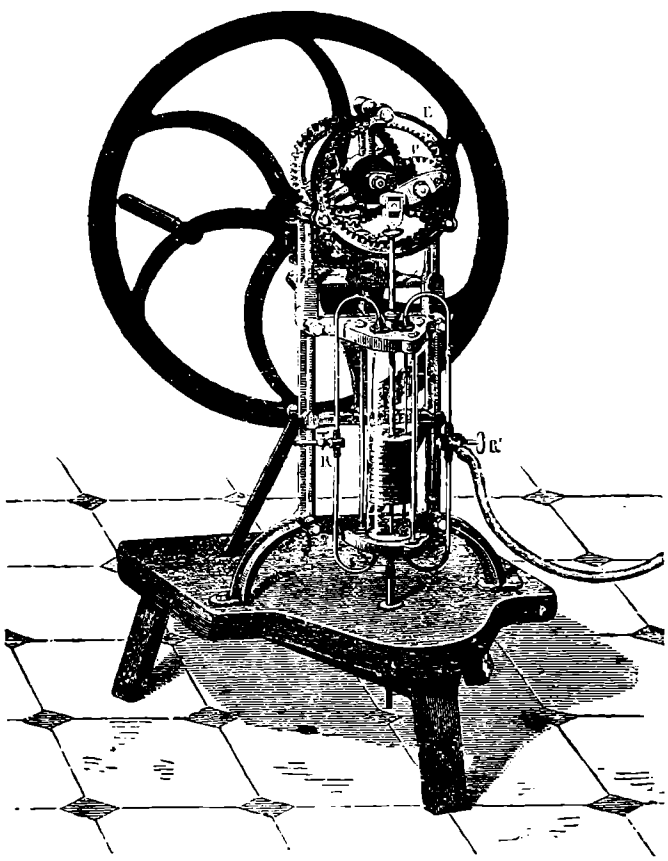


Fig. 296
Máquina de Deleuil

Además de estas máquinas neumáticas, se tienen las de *Carré*, la ingeniosísima de *Kravogl* que destruyó el espacio nocivo y otras que están fuera de nuestro programa.

417.—Máquina neumática de Mercurio.—Varias máquinas de mercu-

rio se han ideado, pero nosotros sólo indicaremos la de *Geisler (figs. 298 y 299)*.

Consiste en un tubo *T* terminado superiormente por una ampolla ó recipiente *B*. El tubo y el recipiente están fijos á una tablilla vertical.

La extremidad inferior del tubo *T* está unida por un tubo de goma resistente á un recipiente *A* lleno de mercurio, y que puede resbalar á lo largo de una columna de madera enrollando una cuerda en la polea *b*, después de que ha pasado por otra polea superior *a*.

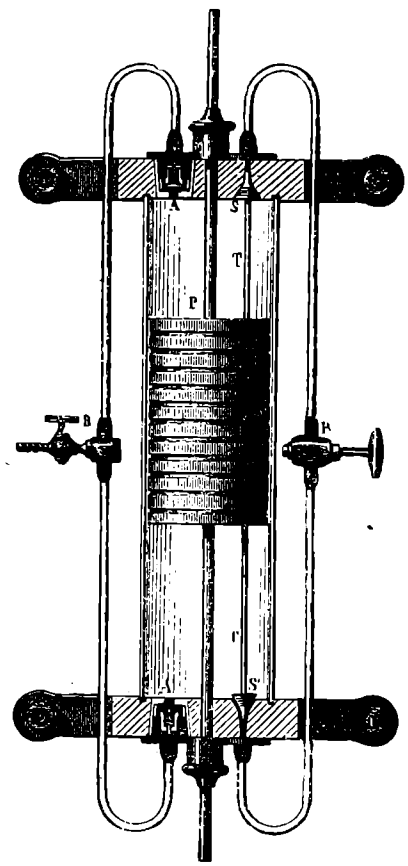


Fig. 297
Pistón de la máquina de Deleuil

El recipiente *B* comunica por medio de un robinete á tres vías *n* con una caja *O* que contiene ácido sulfúrico, que sirve para secar el aire, y con una especie de embudo *v*, cuya comunicación se puede interrumpir por medio del robinete *m*.

El recipiente *B* hace el papel de *aspirador* y antes de llegar el aire del recipiente que viene por un caño de goma *c*, pasa por la caja *O* que contiene el ácido sulfúrico y por el caño *d* llega á *B*.

En la caja *O* hay un barómetro á mercurio *p*, que mide la presión del recipiente.

—Hagámosla funcionar.

Dando vuelta al manubrio *b*, el recipiente *A* va á la parte superior, y por el principio de los vasos comunicantes, el mercurio llenará el tubo *T* y recipiente *B*, como se ve en la figura de la izquierda.

El aire que había en *B* se habrá comprimido, y entonces, abriendo el robinete *m* y colocando el robinete en la posición indicada en la figura *Z*, el aire escapará.

Hecho esto, vuelve á cerrarse la llave *m* como se ve en la figura *Y* y se baja el recipiente *A*.

¿Qué sucederá?

Que en el tubo *T* el mercurio quedará á la altura de 76 centímetros más ó menos *(fig. 299)*, y en *B se habrá hecho el vacío barométrico.*

Conseguido esto, se coloca el robinete *n* en la posición indicada en la

figura *X*, y entonces el recipiente *vacío B*, se pone en comunicación con el recipiente sobre el cual se está operando.

El aire llega por el caño *c*, pasa á la caja *O* y luego á *B*, de modo. pues, que *B ha aspirado* parte del aire del recipiente en el cual quiere hacerse el vacío, vuelve á cerrarse el robinete *n*, como en *Y*, y se repite la operación como al principio.

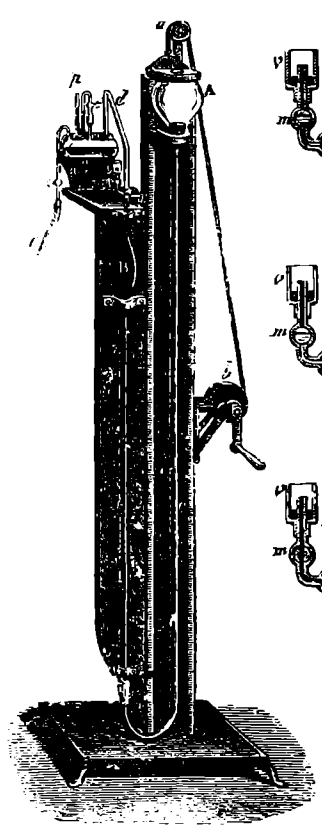


Fig. 298

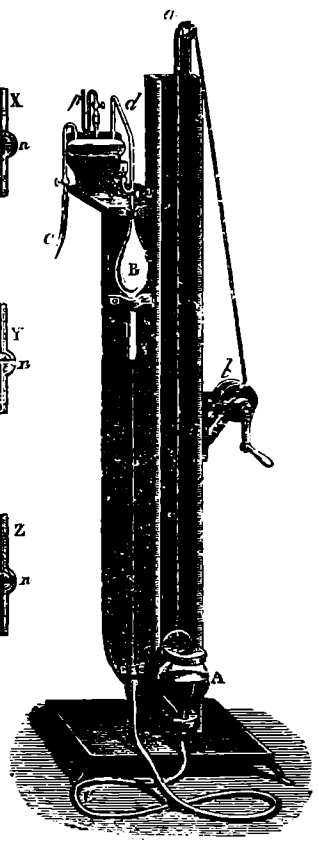


Fig. 299

Máquina de Geisler

Esta máquina hace el vacío mucho *más perfecto* que con los cilindros. pero *tiene el inconveniente de ser más lenta*, por no poderse dar gran capacidad á los recipientes *A* y *B*, por el considerable peso del mercurio.

Sin embargo, *Albergniat* colocando una cadena y ruedas dentadas, en vez de la soga y polea *a* y *b*, ha modificado la máquina, dándole mayores dimensiones.

Cuando el aire ya está muy enrarecido, se espera 15 ó 20 minutos antes de repetir la operación.

Es muy buena máquina para hacer el vacío en recipientes pequeños, y tratándose de aparatos grandes, puede empezarse por enrarecer el aire *al centímetro* por medio de las máquinas á cilindro y después terminar la operación por medio de la máquina de *Geisler*.

418.—Aspiradores.—Hoy se encuentran en uso aparatos destinados á enrarecer ó comprimir el aire, basados en la disminución de la presión que ejerce el agua que corre, contra las paredes del tubo que las lleva, cuando un conductor se divide en dos (*fig. 300*).

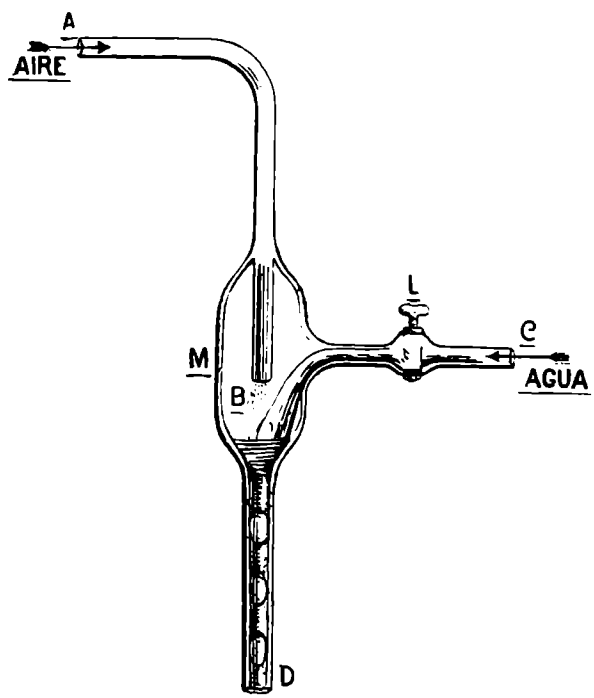


Fig. 300
Bomba aspirante de Sprengel

Supongamos que el extremo *A* del tubo está en comunicación con la vasija en que se que quiere extraer el aire.

Por *C* llega un chorro de agua.

Abriendo toda la llave el agua que entra por el caño *C* llenará todo el bulbo hasta el punto que el agua podría subir por *B* y llegar á *A*.

Cerremos poco á poco la canilla hasta que el caño *D*

dé abasto á dar salida al agua que entra, y entonces se verá que junto con el agua salen burbujas del aire contenido en el bulbo *M* y por consiguiente por *B* se aspira el aire contenido en el tubo *B A* y en el recipiente á él unido.

—Como para poder hacer el vacío en ese recipiente se necesitaría un caño *D* de diez metros de largo y como además el agua deja en el recipiente vapor de agua, se utiliza el mercurio en vez del agua teniéndose así la bomba de *Sprengel*, análoga á la de *Geisler*, pero en la cual se hace el vacío por la *aspiración* del chorro de mercurio.

Dan espléndido resultado.

419.—Usos y aplicaciones de la máquina neumática.—Desde que hemos empezado á hablar de los gases, hemos estado usando la máquina neumática.

Lo hemos hecho al hablar del *peso de los gases; baróscopo; caída de los cuerpos en el vacío; rompe-vejigas; hemisferio de Magdeburgo; lluvia de mercurio*, etc., y ahora, indicaremos una cantidad de aplicaciones.

Con la máquina neumática se puede probar:

420.—1° *Que el sonido no se propaga en el vacío.*

Para esto, nos bastará introducir un timbre debajo de la campana de la máquina. *Mientras haya aire* en la campana *oiremos el sonido* del timbre.

Si se hace funcionar la máquina, el sonido se oirá cada vez menos y al llegar al límite, se *verá* que el martillo golpeará sobre la campana, pero *no se oirá* sonido alguno.

Es necesario tener la precaución de colocar el timbre sobre una *almohadilla*, pues de lo contrario, el sonido podría ser *transmitido por la platina* de la máquina.

421.—2º *Que el aire es necesario para la combustión.*
Se comprueba poniendo una vela encendida debajo de la campana de la máquina neumática. Haciendo el vacío, *la vela se apaga.*

422.—3º *Que la luz y el calor se propagan en el vacío.*
Para eso colocamos un termómetro debajo de la campana de la máquina neumática, y proyectamos *con un lente,* los rayos luminosos y caloríficos del sol.
Se *verá* el termómetro *más iluminado*, y se observará también, un aumento de temperatura.

423.—4º *Que el aire es indispensable para la vida.*
Se introduce un pájaro debajo de la campana, y, hecho el vacío, se observará que el animal siente gran fatiga, respira agitadamente, hasta que *muere* asfixiado, si se extrema la operación.
Si pusiéramos un *pez* en un recipiente con agua é hiciéramos el vacío, el pez sobrenadaría con el vientre al aire, debido á que se ha dilatado la vejiga natatoria, por haber tomado mayor fuerza expansiva los *gases* interiores.
Como parte de esos gases escapan, si se vuelve á dejar entrar el aire, el pez *irá al fondo.*

424.—5º *Que los huevos contienen aire en su interior.*
Para esto se toma un huevo, se le hace un pequeño agujero, y se coloca debajo de la campana.
Haciendo el vacío, se notará que la albúmina sale, debido á que *el aire interior* tomando mayor fuerza expansiva, hace presión, y empuja la albumina hacia afuera.

425.— 6º *Los cuerpos orgánicos* se conservan por muchos años en el vacío.

426.—7º *La fuente en el vacío*, aparato que sirve también para demostrarnos la presión atmosférica.

Este aparato consiste en un recipiente *V*, de vidrio, al cual se puede atornillar un pie de bronce (*fig. 301*).

Se atornilla el recipiente *V* en la platina de la máquina neumática, se hace el vacío y se cierra el robinete *R*.

Se vuelve á colocar el pie, se introduce en una vasija con agua, como lo indica la figura, y abriendo el robinete *R*, *el agua se eleva* con fuerza, *debido á la presión* que la atmósfera ejerce sobre la superficie libre del líquido.

Este experimento se hace más interesante si el agua contenida en la palangana está coloreada con anilina.

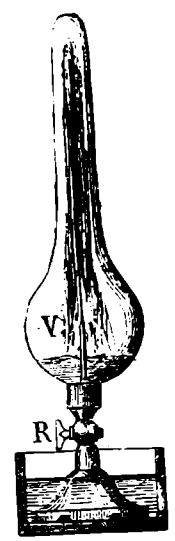


Fig. 301
Fuente neumática

CAPÍTULO V

MAQUINA DE COMPRESIÓN

427.—Máquina de compresión.—El funcionamiento de la máquina de compresión es análogo á la máquina neumática, y *su objeto* es acumular y comprimir (*fig. 302*) una masa gaseosa en un recipiente.

Imaginemos un cuerpo de bomba, dentro del cual se mueve ajustadamente un pistón.

El pistón está *acanalado* en su centro y cerrada la parte interior por una *válvula r*, y del fondo del cilindro sale un tubo que va al recipiente, estando cerrada la abertura de ese tubo por otra válvula *s*.

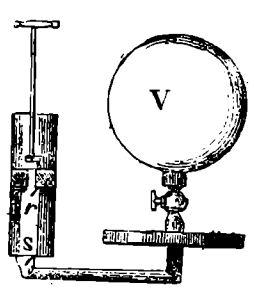


Fig. 302
Aparato de compresión

La diferencia que existe entre ésta y la máquina neumática, es que la válvula *se abre de arriba hacia abajo*, mientras que en las máquinas neumáticas se abría de abajo hacia arriba.

Introduciendo el pistón, el aire que está debajo de él abre la válvula *s* por compresión y entra al recipiente *V*, pero la válvula *r* se cierra por la tensión del aire que está debajo del pistón.

Levantando el pistón se cierra la válvula *s* porque el aire que está en *V* tiene una *presión mayor que la de la atmósfera*, y la válvula *r* se abre, permitiendo la entrada del aire exterior.

Volviendo á bajar el pistón, vuelve á cerrarse la válvula *r* y abrirse la *s*, y así sucesivamente.

428.—Es natural que *no se puede comprimir el gas ilimitadamente*, pues el cuerpo de bomba tiene un *espacio nocivo* y llegará un momento en que el aire comprimido, que llena ese espacio debajo del pistón, no tendrá bastante tensión para abrir la válvula *s*, pues *la presión interior* del recipiente *equilibrará* la presión del aire del cuerpo de la bomba.

429.—Máquina de compresión á dos cuerpos de bomba.—Esta máquina (*fig. 303*) es *análoga* á la máquina neumática,

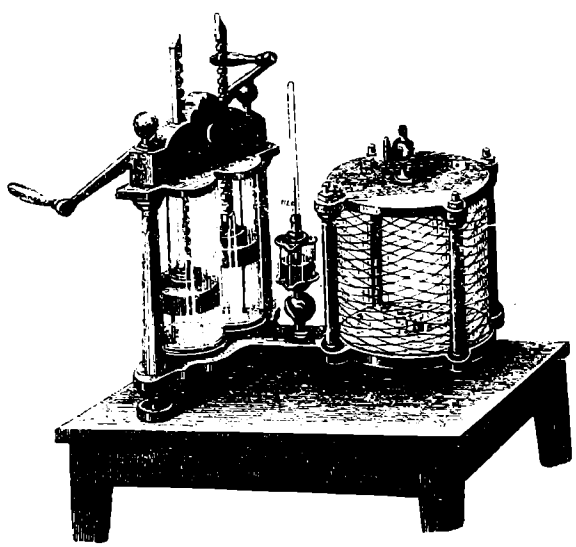


Fig. 303
Máquina de compresión

diferenciándose sólo en el juego de las válvulas, que es *invertido*, en que el *recipiente* en vez de estar *apoyado*, está sólidamente *ajustado* por medio de columnas metálicas, en que el recipiente de cristal está rodeado de un tejido metálico, con el objeto de evitar percances, si el recipiente estallara, y en que, en vez de *un ba-*

rómetro, tiene un *manómetro n* destinado á medir la presión.

En las máquinas de compresión á dos pistones, la presión atmosférica no ayuda *al operador*, como sucedía en la neumática, de donde resulta que esta máquina es *muy fatigosa* por cuyo motivo, se adopta más bien la bomba de compresión á mano.

430.—Bomba de mano.—Consiste en un cuerpo de bomba *A* (*fig. 304*), en el cual corre un pistón lleno, el que se mueve por un vástago terminado en un mango *P*.

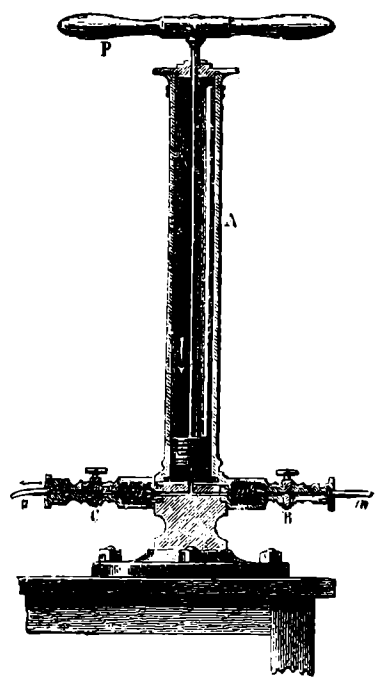


Fig. 304
Bomba de mano

Por la parte inferior del cuerpo de bomba comunica con dos tubos horizontales *B* y *C* que están cerrados por dos válvulas *o* y *s*.

Por el tubo *B* penetra el aire y por el tubo *C* pasa al recipiente donde se hace la comprensión.

Levantándole pistón se hace el vacío debajo de él, la válvula *s se cierra* y la *o se abre* por la presión atmosférica.

Llenado de aire el cuerpo de bomba, se baja el pistón, *el aire se comprime*, hace *cerrar* la válvula *o* y *abrir* la válvula *s*, pasando por consiguiente el aire comprimido, por el tubo *C*, al recipiente.

Si en vez de comprimir aire, se quiere comprimir un *gas cualquiera*, se pone en comunicación el tubo *B* con el recipiente que lo contiene, y se manda por *C* el gas comprimido al otro recipiente.

Si el recipiente se pone en comunicación con el tubo

B y se deja el *C* abierto, *se producirá el vacío*, es decir, que *la bomba de mano es* también una *máquina neumática.*

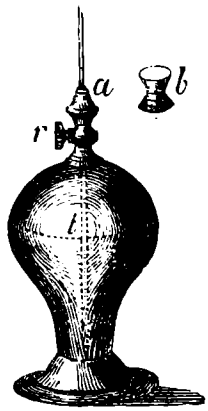


Fig. 305
Fuente de compresión

Además de éstas hay otras bombas de compresión muy poderosas como la de *Regnault*, que puede llegar á una compresión de 40 atmósferas, pero como la compresión produce un gran desarrollo de calor, es necesario tener la precaución de rodear la vasija y los cuerpos de la bomba de agua fría.

431.—Fuente de compresión.—Sea un recipiente metálico, cerrado por un robinete que está atravesado por un tubo *t*, que llega hasta el fondo del recipiente (*fig. 305*).

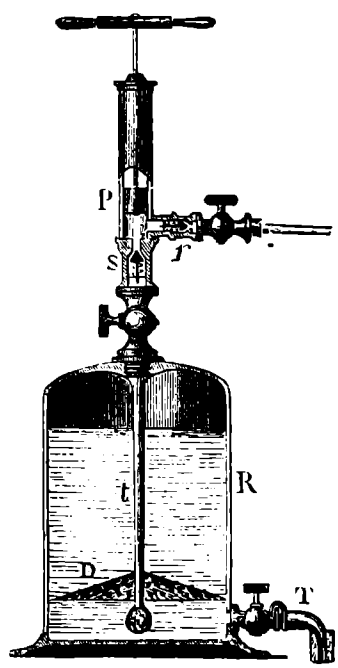


Fig. 306
Aguas gaseosas

A la extremidad de la embocadura se le atornilla una bomba de compresión, se hace funcionar y enseguida se destornilla, colocando una embocadura *a* ó *b*.

Abriendo la llave *r*, el aire comprimido hace presión sobre el agua y la obliga á salir por el tubo *a* y subir á una gran altura.

432.—Aparato para la fabricación de las aguas gaseosas.—Consiste en un recipiente con agua (*fig. 306*), en cuya parte superior hay una bomba de compresión *P*, que *aspira* el gas por un caño *r* y *lo proyecta* al interior, por medio

del tubo *t*. Ese gas trata de elevarse, y entonces encuentra un diafragma de metal *D* que lo obliga á *subdividirse*, y facilita por consiguiente su *disolución*.

Enseguido por medio del tubo *T* se llenan las botellas.

433 —Aplicaciones del aire comprimido.—El aire comprimido se aplica á un gran número de objetos industriales, por ejemplo:

1º Los *fuelles*, para las fundiciones y altos hornos.

434.—2º El *fusil de aire comprimido*, que tiene la misma forma de los fusiles comunes, con la diferencia de que la culata tiene un *depósito* en que se comprime, con la bomba de mano, una cantidad de aire.

Se coloca el proyectil y al dejar caer el gatillo, se produce *un escape* de aire comprimido que lanza el proyectil á larga distancia.

A medida que se dispara, también *va disminuyendo el alcance* del arma.

435.—3º El *Correo Neumático*, que consiste en un tubo metálico, que va de una á otra *estación postal*, y dentro del cual se coloca una caja de cuero, que ajusta al tubo, á semejanza de un pistón.

Se introduce la correspondencia en la caja, se coloca ésta en el tubo y produciendo un escape de aire comprimido, éste lanza la caja hasta la otra estación.

436.—4º Los *Relojes neumdticos*, que consisten en unas esferas de reloj que se colocan en distintos puntos de la ciudad, estando todas ellas ligadas por cañerías á una estación central, donde funciona un *cronómetro*.

De minuto en minuto, se producen desde la estación central escapes de aire comprimido, que llevando la presión á las esferas de todos los relojes, obliga por un

mecanismo especial, á moverse todos los minuteros *también de minuto en minuto.*

437.—5° *Los frenos de los trenes*, que consisten en cilindros ó cajas metálicas llenas de aire comprimido, que se colocan debajo de los wagones.

Cuando se quiere parar el tren, se tira una cadenita y todos los recipientes dejan salir el aire comprimido el cual ejerce presión sobre un pistón, y éste á su vez sobre unas zapatas de madera que se ajustan á las ruedas, y aumentando, por consiguiente, el frotamiento, detienen el tren.

Como la acción de los frenos es simultánea en todos los wagones, la detención se hace rápida y suavemente.

438.—Campana de buzo.—Otra aplicación importante del aire comprimido fué hecha por *Triger* en 1841, para facilitar los trabajos hidráulicos.

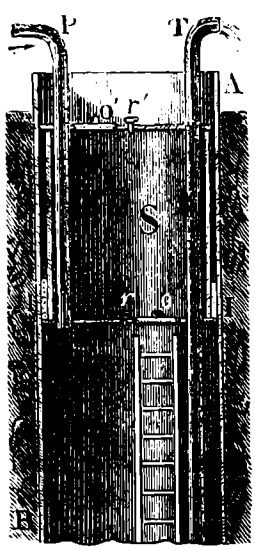


Fig. 307
Campana de buzo

Consiste en un tubo de fundición que se hace apoyar sobre el terreno submarino que se quiere excavar. Este tubo está terminado superiormente por una cámara *S* cuya misión indicamos en seguida (*fig. 307*).

Esta cámara está atravesada por dos caños *P* y *T*, desembocando el primero en la parte superior del tubo de fundición, y llegando hasta el fondo el otro tubo *T*.

Por el tubo *P* se introduce el aire comprimido y el agua será empujada al exterior, pasando parte de ella entre el fondo del tubo y el terreno sobre el cual está apoyado, y otra parte por el caño *T*.

Cuando quiere entrar un obrero, empieza por *abrir* el robinete *r'*, y entonces el aire de *la cámara S se pone á la presión atmosférica.*

Enseguida *abre* el agujero *O'*, penetra y por dentro vuelve á *cerrarlo*. Después *abre* el robinete *r*, y por consiguiente, el aire de *la cámara S se pone paulatinamente á la misma presión que el tubo inferior*. Hecho esto *abre* el agujero *O*, y después de entrar lo cierra por dentro.

Cuando sale, hace la operación inversa.

439.—Efectos del aire comprimido.—Las personas encerradas en la campana de buzo, sienten *menos fatiga* que al aire libre. Sólo sienten un vivo dolor de oídos, al pasar del aire á la campana y vice-versa, pero ese dolor desaparece después de breves momentos.

La voz se hace nasal y es imposible silbar.

La combustión es sumamente rápida.

Es necesario tener la precaución de hacer funcionar los dos robinetes *r* y *r'*, para no pasar bruscamente de una á otra presión, pues podrían producirse acciones graves.

440.—Motores neumáticos.—El aire comprimido fué utilizado como fuerza motora en la perforación de los tuneles del *Monte Cenis* y el *San Gotardo*.

Una caida de agua se utilizaba para la compresión de aire en recipientes especiales y ese aire se dejaba escapar intermitentemente, de manera que actuando sobre pistones que estaban armados de púas de acero, hacían que éstas chocaran contra las rocas y las perforacen.

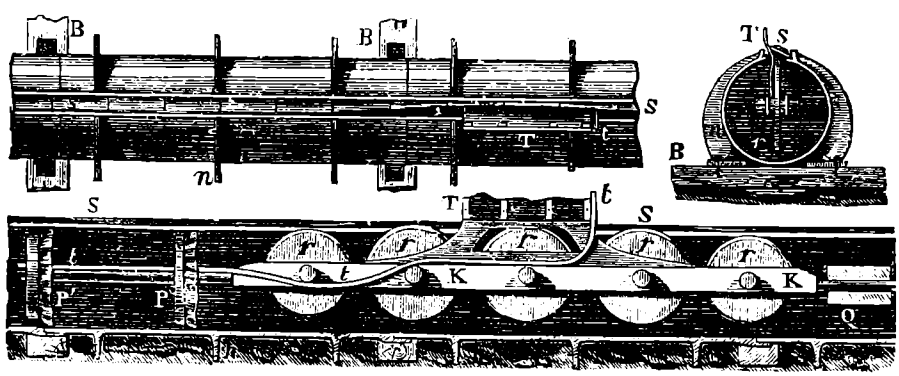


Fig. 308
Motor neumático

441.— Finalmente, podemos indicar que el vacio se ha utilizado para obtener la *tracción de trenes*.

Se han hecho varios ensayos, pero el más importante es el ferrocarril entre Pecy y Saint Germain en París, de una longitud de 3400m, con pendientes de 35 por mil.

Para comprender como se consiguió esto, basta que recordemos que si colocamos un émbolo en un tubo y hacemos el vacío á uno de los lados del pistón, éste se encontrará *como aspirado por el vacío* y marchará de

ese lado. La *fuerza motora* es la presión atmosférica, que empuja la cara del pistón opuesta á aquella de cuyo lado se hizo el vacío

El sistema adoptado está indicado en la *fig. 380.*

Un caño de hierro con una ranura *S S* en la parte superior y reforzado por arcos *n*, está apoyado sobre los cojines *B B.*

La ranura está cerrada por una lámina de cuero *S, fija* en un solo costado y solo *apoyada* por el otro.

Esta lámina de cuero permite que pase otra lámina metálica *T*, que se une al primer vagón y que está fija al motor.

Este está constituído por dos pistones *P* y *P'*, ligados á un mismo eje *K K* que es donde está fijada la lámina *T.*

Hecho el vacío delante de los pistones *P* y *P'*, el motor se pone en movimiento, las ruedas de radios distintos van levantando la lámina de cuero *S S*, y la lámina *T* arrastra en su movimiento todo el convoy.

Cuando se hace el vacío en el caño, la lámina de cuero se superpone, y la presión atmosférica hace que *la junta* sea perfecta.

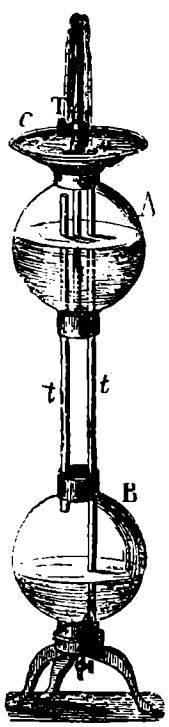


Fig. 309
Fuente de Herón

442.—Fuente de Herón. —Este aparato nos da un juego de agua por la *acción* del aire comprimido.

Consta de dos recipientes de vidrio *A* y *B* (*fig. 309*) terminando el recipiente *A* por una palangana metálica *C.*

Intervienen tres tubos de cobre *T*, *t* y *t'*, cuya colocación es lo que se debe recordar.

Un tubo *t* sale de la parte *superior* del recipiente *A* y termina en la parte *superior* del recipiente *B.*

Otro tubo *t'* tiene un extremo en *o* en el *fondo* de la palangana *C* y el otro extremo en el *fondo* del recipiente *B.*

Finalmente, un tercer tubo *T* sale del *fondo* del recipiente *A* y termina en un *extremo libre T.*

Veamos cómo funciona.

Se vierte agua en *A* casi hasta llenarlo y una pequeña cantidad en el plato *C.*

El agua que se ha vertido en *C* penetra por *o* en el

tubo *t'* y ocupa un cierto lugar en el fondo del vaso *B*. Esta agua *comprime el aire* contenido en *B*, aire que toma una fuerza expansiva igual á la presión atmosférica, *más* la presión *h* representada por la columna de agua contenida en el tubo *t'*.

La presión ejercida sobre el aire de *B* se transmite por *t* al aire del recipiente *A*, el cual ejerciendo á su vez presión sobre la superficie del líquido contenido en esta vasija, lo obliga á elevarse y salir por el tubo *T*.

Se comprende que *la altura* á que llega el chorro de agua debería ser *igual á la diferencia de nivel* entre los dos recipientes, lo cual no sucede en realidad, debido á las resistencias pasivas.

Cuanto más largos son los tubos *t* y *t'*, también tanto más alto será el chorro de agua que sale por *T*.

CAPÍTULO VI

APLICACIONES

443.—Sifón.—El sifón consiste en un tubo encorvado, *de ramas desiguales*, el cual sirve para el transvasamiento de los líquidos.

Se introduce la rama más corta en la vasija que contiene el líquido que se quiere transvasar, *se aspira el aire* contenido en el sifón, hasta que el líquido llene todo el tubo, y enseguida se tendrá una *salida contínua* de líquido.

444.— *Para explicar* este fenómeno, imaginemos tener un sifón á ramas iguales (*fig. 310*) y que *está lleno de agua.*

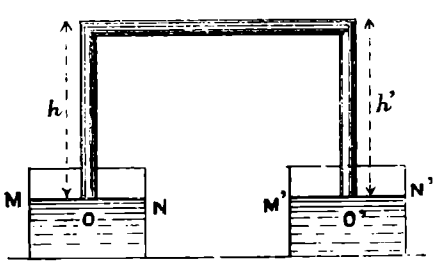


Fig. 310
Sifón á ramas iguales

Si llamamos H la presión atmosférica, tendremos que el extremo ó elemento líquido O sufrirá de *abajo hacia arriba* una presión P, igual á la presión atmosférica H *menos* el peso h de la columna líquida, es decir, que:

$$P = H - h \qquad (1)$$

Análogamente llamando P' la presión de abajo hacia arriba que sufre el elemento O', se tendrá que:

$$P' = H - h'$$

pero como dijimos que las ramas del sifón *son iguales*, podemos escribir:

$$P' = H - h$$

y comparando esta expresión con la (1) se tendrá:

$$P = P'$$

es decir, que *habrá equilibrio.*

—Supongamos ahora tener un *verdadero sifón*, en que una rama (*fig. 311*) es más larga que la otra, y entonces tendremos que el elemento r recibirá de *abajo hacia arriba* una presión expresada por:

$$P = H - x$$

y el elemento r', del otro tubo una presión:

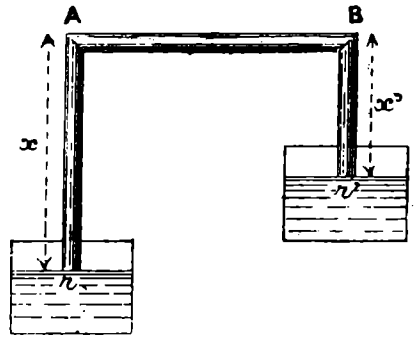


Fig. 311
Sifón á ramas desiguales

$$P' = H - x'$$

Pero $x > x'$ luego:

$$H - x' > H - x$$

es decir:

$$P' > P$$

luego, si el liquido recibe *mayor* presión en r' que en r, ya *no habrá equilibrio*, por lo tanto el líquido *se moverá* en la dirección de la fuerza mayor, es decir, en la dirección r' *B A r*, que es lo que efectivamente sucede.

445.—Para que el sifón funcione, es necesario *cargarlo*, es decir, *llenarlo de líquido*, para lo cual basta hacer una succión con la boca y el líquido subirá por efecto de la presión atmosférica.

Si es el líquido venenoso ó nocivo, puede hacerse uso del sifón indicado en la *fig. 312*, el cual tiene un tubo lateral *M*, *que es el aspirador.*

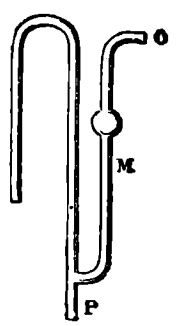


Fig. 312
Sifón para líquidos venenosos

Cuando se quiere cargar el sifón basta *tapar* con un dedo el agujero de la rama *mayor P*, hacer la succión y una vez que el líquido ha llegado á ese punto, retirar el dedo.

—Finalmente, si desprendiera el líquido vapores nocivos y no se pudiera hacer la aspiración con la boca, podría indicarse la forma indicada en la *fig. 313.*

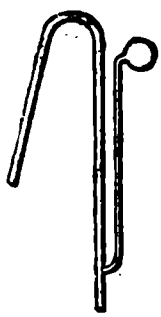


Fig. 313
Sifón sin aspiración

Basta calentar la ampollita de vidrio que tiene el aspirador y al enfriarse el aire, producirá una rarefacción ó depreciación que hará subir el líquido y cargar el sifón.

Es natural que estos aparatos *no funcionan en el vacío.*

—Análogamente no funcionará para el agua cuando pase la altura de $10^m,33$, pues esta columna de agua *equilibraría* la presión atmosférica. No debe pasarse nunca los 9^m por las resistencias pasivas.

—Debe tenerse la precaución de dejar *penetrar el aire* en la vasija donde está contenido el líquido.

Es natural que el sifón dejará de funcionar desde que el nivel del líquido esté más bajo que su extremo de salida.

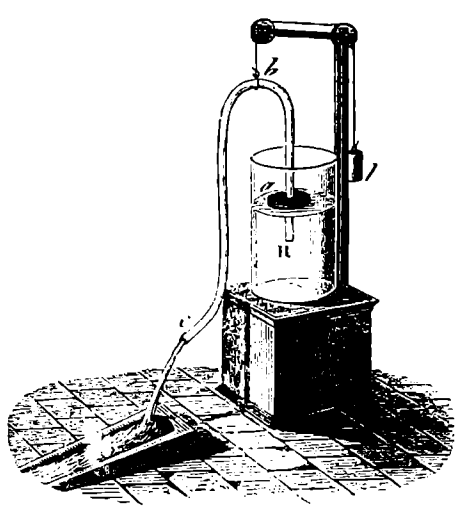


Fig. 314
Sifón á salida constante

446.—Como el nivel del líquido en la vasija, irá disminuyendo á medida que sale el líquido, es justo que disminuyendo la diferencia entre el nivel del líquido y el orificio de salida, resultará que la salida del líquido no será constante.

Esto se subsana con el *sifón á salida constante* (*fig. 314*), el cual tiene su extremo *H*, *siempre igualmente sumergido*, merced

á que el sifón está sostenido por un flotador *a*, equilibrado por medio de un peso *p*.

—A medida que baja el nivel del líquido, baja también el sifón y conserva siempre la misma cantidad *a H* sumergida.

—Un sifón para transvasar mercurio, *no podrá* tener más que $0^m,76$ de altura y por consiguiente esta altura *variará con la densidad* de cada líquido.

Cuando menos denso sea el líquido, mayor podrá ser la altura del sifón.

Ya dijimos que para el agua esta altura podría ser *teóricamente* $10^m,33$.

447.—Vaso de tántalo.—Consiste en un vaso con un agujero en su pie, que permite el paso (*fig. 315*) de un tubo abierto en sus dos extremidades, como lo indica la figura.

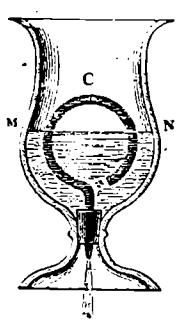


Fig. 315
Vaso de tántalo

Si se vierte agua en el vaso hasta un cierto nivel *M N*, no se observará ninguna novedad, pero si se aumenta la cantidad de agua y el nivel llega al punto culminante *C*, se verá que *toda el agua* del vaso escapa por la extremidad inferior del tubo.

En efecto, cuando el nivel del líquido llega á *C* se verifica *la carga* de ese sifón, y por consiguiente el transvasamiento del líquido.

448.—Pipeta.—Este aparato, llamado también *bombilla ó cata-vino*, consiste en un tubo que forma una ampolla y terminado en sus extremos por dos agujeros pequeños.

Se introduce este aparato en un líquido, dejando abiertos sus dos extremos. El líquido penetra á su interior, y si tapando con el dedo el agujero superior, retiramos el aparato del líquido, caerá inmediatamente una pequeña cantidad de líquido hasta que *disminuyendo* el

volumen del líquido, *aumenta el volumen* del aire contenido en el interior y llega un momento en que la presión de ese aire, *más el peso* del líquido, son *equilibrados* por la presión atmosférica que de abajo hacia arriba actúa por el extremo inferior. Luego puede transportarse la pipeta cargada de líquido.

449.—Fuente intermitente natural.—Muy á menudo se observa que una fuente natural está vertiendo agua durante un cierto tiempo y que de pronto cesa de hacerlo para comenzar de nuevo, después de un tiempo más ó menos largo.

Fig. 316
Fuente intermitente natural

Esto podría explicarse suponiendo que la abertura *a* por donde sale el agua (*fig. 316*) sea el extremo de un tubo encorvado *a n b*, cuyo arranque *b* está en una cavidad *C* que recibe agua por pequeñas vertientes.

Estas vertientes irían poco á poco llenando la cavidad *C* y cuando el nivel del agua llegara al nivel del punto *n*, el sifón *estaría cargado* y entonces el agua de *C* se transvasaría por el sifón, y como hemos supuesto que las vertientes interiores dan *menos agua* que la que sale de *a*, resultaría que al cabo de un cierto tiempo

se desagotaría la cavidad *C* y el sifón ya no funcionaría.

Para hacerlo, deberá esperarse á que el sifón se vuelva á cargar.

450.—Bombas.—Las bombas son máquinas destinadas á elevar agua.

Esta operación puede hacerse por *aspiración,* por *presión* y *por los dos medios* á la vez.

En el primer caso se tiene la bomba *aspirante,* en el segundo, la *impelente* y en el tercero la *aspirante-impelente.*

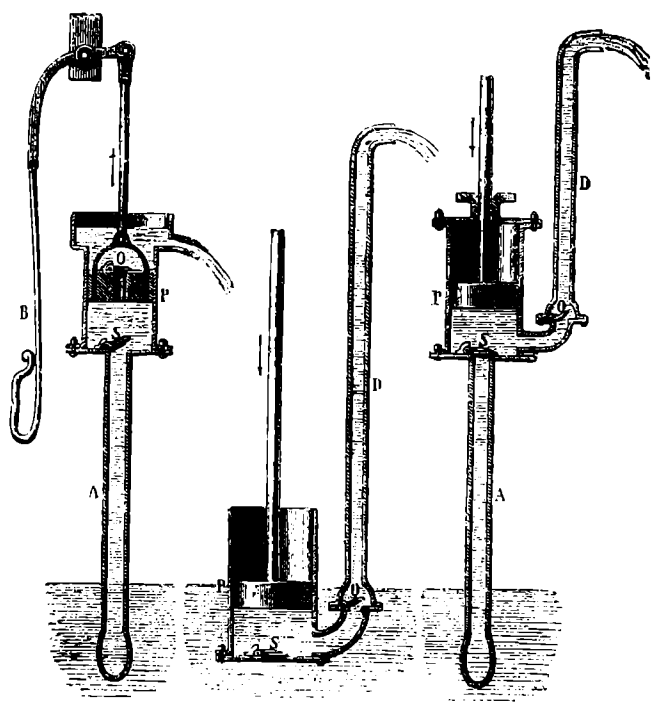


Fig. 317 Fig. 3 8 Fig. 319

Los tres sistemas de bombas

451.—Bomba aspirante.—Esta máquina *(fig. 317)* consiste en un tubo *A*, llamado *tubo de aspiración,* introducido en el agua por su extremo inferior y cuyo extremo superior termina en el fondo del cuerpo de bomba *P.*

Un pistón que toma un movimiento alternativo por la acción de una palanca acodada *B* está acanalado en su centro y munido de una válvula *O* que se abre *de abajo hacia arriba*, como la otra válvula *S* que está en la unión del cuerpo de bomba con el tubo de aspiración *A*.

Cuando se eleva el pistón *se forma el vacío en el cuerpo de bomba* y el agua, levantando la válvula *S*, ocupa la parte inferior del cuerpo de la bomba.

Bajando el pistón, *se cierra la válvula S* por la compresión del agua y abriéndose la válvula *O*, el agua pasa *sobre el pistón*, de donde se vierte por un conducto lateral que se ve á la derecha de la figura.

Como se comprende, estas bombas no pueden funcionar sino para elevar el agua de 9 á 10 metros de profundidad, pues la presión atmosférica equilibra teóricamente una columna de agua de $10^{m},33$ de altura.

Es natural que si prolongamos un caño que parta del cuerpo de bomba *hacia arriba*, el agua podrá elevarse aún más, pero *en ese caso* el pistón se verá obligado á elevar esa columna de agua, con lo cual tendremos constituída una bomba *aspirante-elevatriz*.

452.—Bomba impelente.—Esta bomba *(fig. 318)*, tiene su cuerpo *introducido en el agua* y ésta se eleva por un tubo lateral *D*.

La simple inspección de la figura nos indica su modo de funcionar.

Elevando el pistón, se abre la válvula *S*, y el agua entra en el cuerpo de bomba.

Bajando el pistón, se cierra la válvula *S*, y por efecto de la presión, se abre la válvula *O*, que no permite que la columna de agua baje.

453.—Bomba aspirante-impelente.—Esta máquina es una combinación de las dos primeras *(fig. 319)*.

El pistón no tiene válvula como el de la bomba impelente y su funcionamiento es fácil de comprender.

El agua es *aspirada* por el tubo *A*, y por compresión es *impelida* por el tubo *D*.

454.—Bomba de incendio.—Consiste en un depósito *M N*, (*fig. 320*) en el cual debe haber *permanentemente* agua.

Dentro de este depósito hay *dos bombas impelentes* que funcionan alternativamente por la acción de una palanca *P Q*, movida por 4 ú 8 hombres.

Como lo muestra la figura, un juego de válvulas hace que el agua sea impelida á un departamento *R* en el cual existe una abertura *Z*, por la que va el agua á las mangas de cuero.

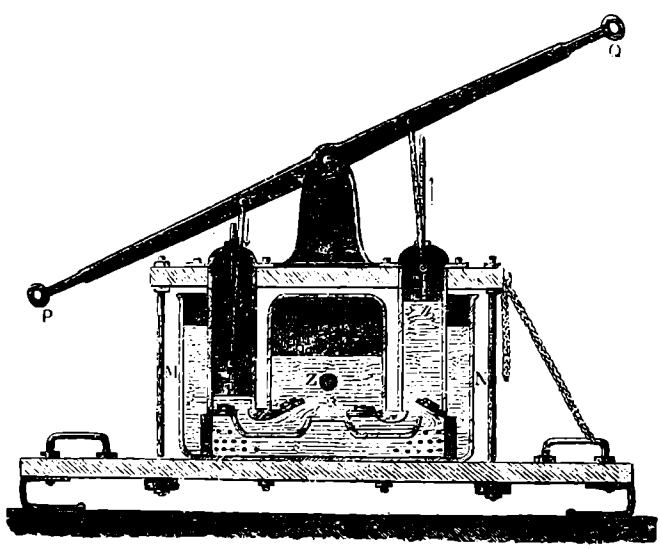


Fig. 320
Bomba de incendio

El espacio comprendido entre el nivel del líquido y el techo del depósito *R* se llama la *cámara de aire* de la bomba, y *su efecto*, es hacer que el chorro de agua que sale por *Z*, sea *contínuo*, gracias á la acción del aire comprimido en la parte superior.

Si no existiera esta cámara, el agua saldría con intermitencias, debido á los *puntos muertos* de las dos bombas.

455.—Frasco de Mariotte.—Cuando se hace un agujero en un recipiente que contiene agua, ésta sale con fuerza debido á la presión del agua que tiene sobre él, pero como esta agua va *bajando su nivel*, resulta que el liquido saldrá *cada vez con menor fuerza*.

El *Frasco de Mariotte* permite obtener una *salida constante*.

—Este aparato consiste en un recipiente cerrado por un tapón atravesado por un tubo *T* (*fig. 321*), de vidrio y *abierto* en sus dos extremos.

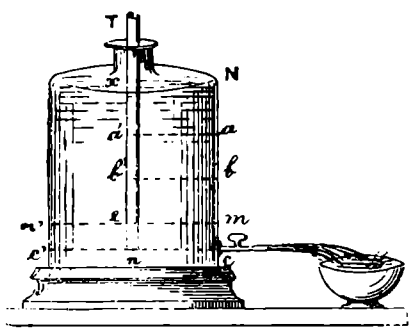


Fig. 321
Frasco de Mariotte

El frasco tiene tres aberturas *a*, *b* y *c* de pequeño diámetro, que están cerradas por estaquitas de madera.

Llenado de agua casi por completo el frasco y el tubo, y *abriendo el tubo b*, se verá que el agua sale de *b* con fuerza y poco á poco va disminuyendo hasta que bajando el nivel del agua *en el tubo T*, llega un momento en que dicho nivel *está en un mismo plano horizontal* que *b*. En ese instante, el agua deja de salir.

—Se comprende que así suceda, pues al empezar la operación en el agujero *b* se ejercía *del exterior* una presión *H igual á la* presión atmosférica y en el punto *b'* del liquido, se ejercía por el tubo abierto una presión *H más la presión* de la columna *b' x* del agua.

Cuando el agua del tubo llega al nivel *b*, entonces *b* y *b'* soportan la *misma presión H*, y por consiguiente se tiene el equilibrio.

—Si abrimos el tubito *a*, como el nivel del liquido ha bajado y por consiguiente ha disminuído la fuerza expansiva del aire contenido en el frasco, sucederá que la presión atmosférica *H* ejercida en la abertura *a*, *será mayor* que la presión interior y entonces *no saldrá agua* por el tubo *a*, sino que se verán *penetrar burbujas* de aire.

456.—Finalmente abramos el tubito *c* y el agua empezará á salir con una *velocidad creciente hasta que* el nivel del agua del tubo *T* llegue á su extremidad inferior *e*, desde cuyo instante, se verán entrar por el extremo del tubo *e* burbujas de aire que irán á la parte superior del frasco y *la salida del líquido por la abertura c, se hará constante*.

Esto tiene que suceder. Cuando se empieza la operación, sobre la capa *c' c* de agua, se ejerce la presión de la columna de agua *n x*, cuya altura va decreciendo, con lo cual decrecía la velocidad de la salida del agua.

Cuando el *nivel* del agua llega al extremo *e* del tubo, entonces quiere

decir que la presión sobre la capa horizontal *m n' es la presión* atmosférica.

Luego *la capa horizontal c c'* sufre en este momento la presión atmosférica *H* más la presión debida á la diferencia de altura de las capas *m n'* y *c c'*, es decir, que *la presión interior* sobre los elementos de la capa *c c'* será:

$$H + e\,n$$

Pero la presión exterior sobre el elemento *c* es igual á *H*, luego el agua *saldrá con la presión* debida á la diferencia de nivel *e n*, *sin que influya para nada* el liquido que hay en el interior del frasco.

Cuando el nivel del liquido del frasco baje de la capa *m' m*, entonces la salida *ya no será constante.*

Puede utilizarse el frasco de Mariotte para obtener una salida constante de gas, para lo cual bastará hacer llegar al recipiente un chorro de agua producido por el frasco de Mariotte y como la entrada de agua es constante, la salida de gas también será constante.

LIBRO SEXTO

CALOR

CAPÍTULO PRIMERO

PRELIMINARES

457.—¿Qué es el calor?—No existe una definición precisa del *Calor*. Sólo lo conocemos por sus *efectos*.

Nosotros definiríamos el Calor diciendo:

« Es una manifestación de la *Energía Universal,* por la cual se obtienen los fenómenos de la sensación del *frío* y del *calor;* que hace *dilatar* los cuerpos; que los hace *cambiar de estado*, y que es fuente de la vida orgánica de la Tierra».

Desde los primeros tiempos, esta manifestación de la *energía* ha sido utilizada y en tanto se la apreciaba, que fué *adorada.* Se adoraba el *fuego.*

458.—Fuentes de Calor.—Múltiples son las *fuentes* del calor, pero todas ellas pueden reducirse á las siguientes:

1°—Reacciones químicas.

2°—Acciones mecánicas.

3°—Acciones eléctricas.

4°—Fuentes naturales.

5°—La vida.

—En las *reacciones químicas* tenemos una gran *fuente de calor* y es la que más se utiliza en la industria.

Si mezclamos *hidrógeno* y *cloro* y exponemos esa mezcla á la acción de los rayos solares, se formará *ácido clorídrico* y el calor será tan grande que estallará la vasija.

En la *combustión*, tenemos una reacción química y como sabemos, esta es la principal fuente de calor aplicada á la industria.

—Se comprueba, que las *acciones mecánicas* son *fuentes de calor*, observando lo que sucede al golpear un martillo sobre un yunque, ó al frotar un cuerpo contra otro, como el eje de una rueda en su muñón.

—El calor debido á las *acciones eléctricas*, se pone de manifiesto al recordar los efectos del rayo ó recordando que es debido á la electricidad que tenemos esos hermosos focos de luz eléctrica, cuyo uso ya está vulgarizado.

—Fuentes *naturales* del calor, tenemos en el calor que nos envía el *Sol* y en el calor terrestre, que se pone de manifiesto por las fuentes termales y el aumento de temperatura que se obtiene á medida que nos acercamos al centro de la tierra, como al introducirnos en un pozo de mina.

—Finalmente tenemos como fuente de *calor*, la *vida*, pues nuestro cuerpo y el de los demás animales posee un calor propio, pero esta fuente de calor puede reducirse también á las reacciones químicas.

459.—Naturaleza del Calor.—Antiguamente se atribuían los fenómenos caloríficos á un *fluído* material y sin peso que se llama *calórico*.

Partículas de este fluído, eran lanzadas en todas direcciones y á ellas eran debidos todos los fenómenos caloríficos.

Esta teoría fué sostenida por *Lavoisier, Laplace, Gay-Lussac* y *Newton.*

—La otra teoría llamada de las *Ondulaciones* ó Teoría *Dinámica*, acepta que el calor no es más que una manifestación de la *energia universal,* ó una forma de *Movimiento*, según la cual, la vibración comunicada á una molécula es transmitida á cualquiera distancia y á través de todos los cuerpos por intermedio de un fluido infinitamente elástico, llamado *Eter.*

Las moléculas de los cuerpos están en un estado de agitación contínua. Giran sobre sí mismas y están animadas de movimientos de traslación.

Si la temperatura aumenta, también se aumentan esas velocidades y vice-versa, si la temperatura disminuye, también disminuye la velocidad de translación ó vibración.

Si nuestro cuerpo toca un cuerpo caliente, la vibración de sus moléculas se transmite á la piel y de allí por intermedio de los nervios, es transmitida al cerebro.

460.—Efectos del calor.—Si exponemos un cuerpo sólido á la acción de una fuente calorífica, se aumenta la velocidad de las moléculas, las que, como es natural, tienden á alejarse unas de otras y por consiguiente á substraerse de la acción de la *cohesión*, de donde resulta, que el cuerpo se *dilata.*

Aumentando la acción del calor, las moléculas en lugar de oscilar ó *vibrar* alrededor de un punto fijo, ven limitada la longitud de la oscilación por las otras moléculas que las rodean y entonces la cohesión está casi anulada y se tiene así el *Estado Líquido.*

—En ese caso, las moléculas que están en la *superficie libre* del líquido ya no se ven impedidas por otras moléculas para oscilar y entonces se comprende que esas moléculas pueden abandonar la masa y substraerse á la cohesión, en cuyo caso tenemos la *Evaporación.*

Esto se comprueba recordando que si se calienta un líquido *en el vacío* se apresura la evaporación, puesto que ya no están las moléculas de aire que impedían la evaporación.

—Finalmente, si la acción del calor sigue ejerciéndose sobre el cuerpo, la cohesión queda vencida, y entonces las moléculas escapan libremente, con lo cual tendremos el estado de *Vapor*.

461.—Dilatación de los cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos.— Para comprobar el efecto de dilatación de los sólidos podemos hacer uso de los aparatos indicados en las *figuras 322* y *323*.

El primer aparato consiste en una varilla metálica *A* que pasa á través de dos columnas. En la columna

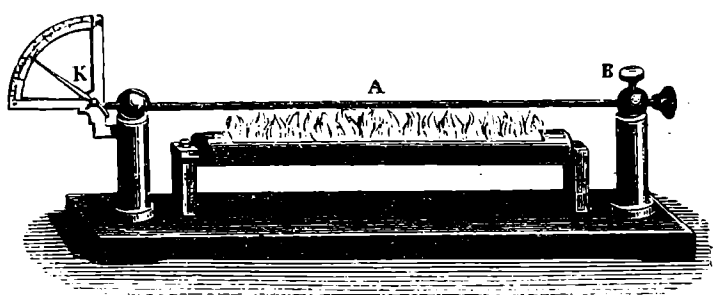


Fig. 322
Dilatación lineal

B, un tornillo *fija* la varilla *A*, la que puede dilatarse libremente en el sentido *AK*.

Si debajo de la varilla *A* colocamos una fuente de calor, la varilla se dilatará y como no puede hacerlo hacia el extremo *B* por estar fijo, lo hará por el otro extremo libre, donde chocará contra una aguja acodada *K* que puede recorrer un cuadrante graduado.

Retirando el foco calorífico, la varilla *A* se enfriará, volverá á su longitud primitiva y la aguja *K* volverá á caer.

—El aparato de la *figura 323* consiste en una esfera de cobre que pasa ajustadamente á través de un aro.

Si se calienta la esfera y se coloca sobre el aro, ya no pasa, por haberse dilatado, pero si se deja enfriar, pasará de nuevo.

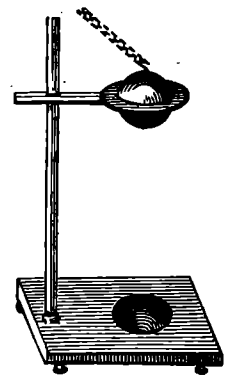


Fig. 323
Dilatación cúbica

462.—Para demostrar que los *líquidos* se dilatan, tómese un tubo cilíndrico de vidrio terminado inferiormente por una esferita (*fig. 324*), la cual contiene un líquido cualquiera, por ejemplo, alcohol.

Fig. 324
Dilatación de líquidos

Si se introduce la esfera en una vasija con agua caliente se observará que en primer instante *el líquido baja*, lo que es debido á que habiendo recibido primeramente la sensación de calor, el *vidrio* de que está formada la esfera, ésta se ha dilatado, aumentando por consiguiente su volumen interior, luego ha debido *bajar* el líquido, pero enseguida transmitiéndose el calor á la masa líquida, ésta también *se dilata*, y se verá que empieza á subir la columna líquida hasta que si se extrema la operación, se verterá el líquido por el extremo superior del tubo.

463.—Finalmente, para comprobar la dilatación de los *gases*, nos valdremos de un aparato análogo al anterior (*fig. 325*), pero cuyo tubo está encorvado en forma de *S*.

En la esfera se introduce un gas cualquiera y una pequeña cantidad de mercurio en el codo del tubo.

Si se calienta la esfera, el gas *se dilata*,

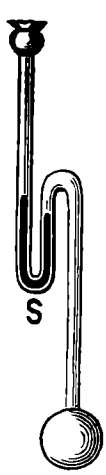


Fig. 325
Dilatación de gases

lo que se pone de manifiesto porque el mercurio *sube* por la rama superior del tubo.

464.—Trabajo producido en la dilatación.—En los fenómenos de dilatación de los cuerpos hay un verdadero *trabajo* producido por el calor.

La energía de las vibraciones caloríficas que hirieron el cuerpo ha producido *dos efectos*. Uno ha sido la elevación de *temperatura* del cuerpo y otro ha sido la *dilatación*.

Por el primer efecto, las moléculas del cuerpo se han convertido á su vez en focos caloríficos ó fuentes de calor.

Por la dilatación, se ha obtenido el aumento de los espacios intermoleculares, produciéndose así dos trabajos, el *trabajo interno* que ha sido necesario para vencer la fuerza de cohesión y el *trabajo externo* destinado á vencer la presión atmosférica que se ejerce sobre el cuerpo.

—En los *sólidos*, el trabajo interno es muy grande, pero el externo es pequeño.

—En los *líquidos*, es pequeño el trabajo interno y el externo.

—En los *gases*, el trabajo interno es *nulo* y muy grande el externo.

465.—Observemos también, que la *energía* comunicada por la fuente de calor, *no se ha perdido;* se ha *transformado*. Se ha convertido en *trabajo* y en aumento de *temperatura*.

Más adelante veremos que hay *equivalencia* entre el *calor* consumido y el *trabajo* producido.

466.—Cantidades de calor.—Según se produzcan *efectos* más ó menos considerables por la acción del calor, también estos efectos habrán sido producidos por una *mayor ó menor cantidad de calor*.

Así, si tomamos tres trozos de hielo de 1, 2 y 3 kilos y los hacemos fundir, resultará que el segundo trozo habría consumido una *cantidad* del calor *doble* que el primero, y el tercer trozo, una cantidad *triple*.

Luego las cantidades de calor pueden compararse por sus *efectos*.

467.—Temperatura.—*Temperatura* de un cuerpo, es la cantidad de *energía calorífica actual* de las moléculas de un cuerpo.

Es necesario no confundir *Cantidad* de calor, con *Temperatura*, pues si tomamos *un tacho* de agua hirviendo y la *punta de un alfiler enrojecido*, el tacho de agua podrá *fundir varios kilogramos* de hielo mientras que la punta enrojecida sólo fundirá *un milígramo* y, sin embargo, la *temperatura* del alfiler será 7 ú 8 *veces mayor* que la del agua en ebullición.

—La temperatura *absoluta* de un cuerpo no podemos aún determinarla; por consiguiente, sólo podemos conocer la *Diferencia de Temperatura* de dos cuerpos.

—Si introducimos las dos manos en dos vasijas con agua, una de las cuales ha estado sufriendo la acción de una fuente calorífica, nuestros sentidos nos dirán que el agua de una vasija es *caliente* y que el agua de la otra es *fría*.

Luego, nuestros sentidos pueden darnos el medio de verificar la diferencia de temperatura de dos cuerpos.

Esto es sólo aparente.

Efectivamente, dejemos en una sala durante un cierto tiempo, un trozo de *hierro* y otro de *algodón* y enseguida toquemos con las dos manos esos cuerpos.

El *hierro* nos parecerá *muy frío* y el *algodón* nos parecerá más caliente que el hierro. Sin embargo, eso no es así. Los dos están á la *misma temperatura*, pues han estado durante un largo tiempo en un ambiente cerrado y por consiguiente, han tomado *los dos*, la misma temperatura.

Lo que ha sucedido es que siendo el *hierro* mejor conductor del calor, como veremos más adelante, se apodera más rápidamente del calor de nuestra mano, y nos hace experimentar la sensación de frío.

—Podemos tomar otro ejemplo. Introduzcamos la mano derecha en agua *caliente* y la izquierda en agua *fría* y si enseguida sumergimos las dos manos en agua *tibia*, la mano derecha nos dirá que esta agua es *fría* y la mano izquierda nos dirá que el agua es *caliente*.

Además de estas ilusiones que nuestos sentidos pueden acusarnos, hay otro inconveniente y es, que nuestro cuerpo no podría ponerse en contacto sino con cuerpos de muy baja temperatura, pues de lo contrario, se produciría la desorganización de los tejidos de la piel, es decir, se producirían quemaduras.

468.—Como uno de los efectos que se producen al someter un cuerpo á la acción del calor, es el de la *dilatación*, efecto que se produce *simultáneamente* con la elevación de temperatura, se ha tomado este fenómeno, que se produce sobre los cuerpos *sólidos*, *líquidos* y *gaseosos*, para construir aparatos especiales destinados á medir la *temperatura* de los cuerpos.

Estos aparatos toman el nombre de *Termómetros*.

CAPÍTULO II

TERMÓMETROS

469.—Medida de la Temperatura.—Como hemos dicho anteriormente, los instrumentos destinados á determinar la diferencia de temperatura entre dos cuerpos, toman el nombre de *Termómetros*.

Están basados en la propiedad que tienen los cuerpos de *aumentar de volumen* cuando se aumenta su temperatura.

—Si ponemos en comunicación dos cuerpos A y B, el primero *caliente* y el segundo *frío*, veremos que el cuerpo A al cabo de un cierto tiempo *se contrae* y el B *se dilata*, lo cual nos prueba que la temperatura del cuerpo A es más elevada que la del cuerpo B.

Pero como lo que nosotros podemos hacer por ahora es hallar la *diferencia de temperatura* entre dos cuerpos, tomemos otro cuerpo C, por ejemplo; una cantidad de alcohol contenida en un tubo de la forma indicada en la *figura 3*, y entonces veremos que puesto este cuerpo C en contacto con el A, el alcohol se *dilatará* y sùbirá en la columna hasta una cierta altura. Enseguida puesto este mismo cuerpo C en contacto con el cuerpo B, subirá la columna líquida hasta una altura menor. *Esta diferencia* de alturas de las columna líquida del cuerpo C, nos medirá la *diferencia de temperatura* de los dos cuerpos A y B.

470.—Elección de la Substancia Termométrica.—Cualquier

cuerpo puede servir como substancia termométrica, pues todos los cuerpos *se dilatan.*

Los sólidos, tienen el inconveniente de ser poco sensibles, pues, con pequeñas diferencias de temperatura, se tienen dilataciones demasiado débiles.

Además, después de una serie de dilataciones y contracciones, *el cuerpo varía su extructura* y por consiguiente, *su dilatabilidad varia.*

Finalmente, estos termómetros *no son comparables*, pues dos trozos de un mismo cuerpo, rara vez tienen la misma extructura.

Sin embargo, cuando se trata de *temperaturas elevadas*, se utilizan los sólidos como sustancias termomérticas.

471.—*Los líquidos*, permiten construir termómetros más sensibles, porque son *más dilatables* que los sólidos y además los termómetros *son comparables*, pues es fácil obtener líquidos en igual grado de pureza.

Los líquidos más usados como substancias termométricas son el *mercurio* y el *alcohol.*

El *mercurio* para las medianas temperaturas, porque tiene una dilatabilidad muy *uniforme* entre ciertos límites de temperatura; y el *alcohol* para medir las *bajas temperaturas*, pues se congela á una temperatura inferior que la del mercurio.

472.—*Los Gases*, son los cuerpos termométricos por excelencia, pues su masa es generalmente uniforme y además, pueden acusar las más *pequeñas variaciones* de temperatura debido á su gran dilatabilidad.

Tienen el inconveniente de que su volumen varía fácilmente no sólo por la temperatura sino con la presión atmosférica, por cuyo motivo, cada vez que se usan los termómetros á gas, es necesario consultar también el *barómetro* para conocer la presión atmosférica salvo el caso que se use el termómetro *auto-corrector* de Max-Koll.

Los termómetros á gas son los que usan los físicos para determinar con precisión las temperaturas.

473.—Reasumiendo lo dicho sobre las substancias termométricas, resulta que:

—*Los sólidos* convienen cuando se trata de observaciones poco precisas ó para las *altas temperaturas.*

—*Los líquidos*, son las substancias más usadas para las temperaturas bajas y medianas.

—*Los gases*, se usan para los termómetros *muy sensibles.*

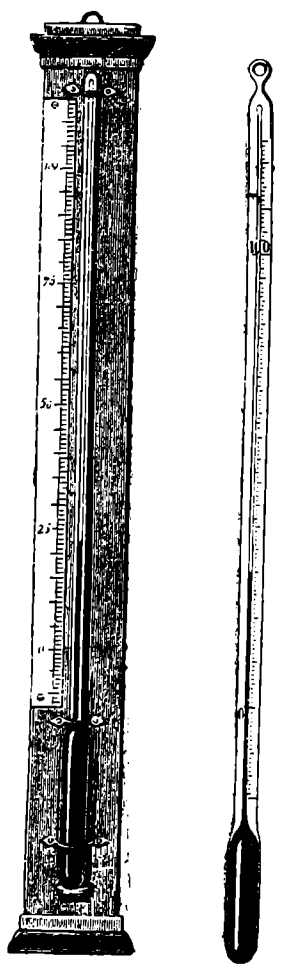


Fig. 326 Termómetros á mercurio

Fig. 327

474. — El primer termómetro construído, lo fué por *Galileo* en el año 1597 que construyó un termómetro *á aire.*

En seguida, los académicos de Florencia construyeron un *termómetro* á *alcohol* y en 1680 se construyó el primer termómetro á *mercurio.*

475.—**Termómetro á mercurio.**—El termómetro á mercurio consiste en un tubo capilar de vidrio, en cuya extremidad inferior (*figuras 326 y 327*) tiene un pequeño recipiente esférico ó cilíndrico. Este recipiente así como parte del tubo contiene mercurio.

A lo largo del tubo ó sobre la tablilla de madera en que se suele fijar el tubo existe una *graduación* que permite observar las dilataciones y contracciones del mercurio.

476.—Construcción del termómetro á mercurio.—La operación de la construcción de un termómetro á mercurio puede dividirse en varias partes:

1°—Elección del tubo.
2°—Introducción del mercurio.
3°—Régimen de la excursión.
4°—Marcar el punto **0**.
5°—Marcar el punto **100**.

477.—Elección de tubo.—Es necesario que el tubo sea perfectamente *calibrado,* es decir, que el cilindro líquido tenga *igual diámetro* á lo largo del tubo, para que el mismo *volumen* de mercurio tenga en toda la excursión del tubo, la misma *longitud.*

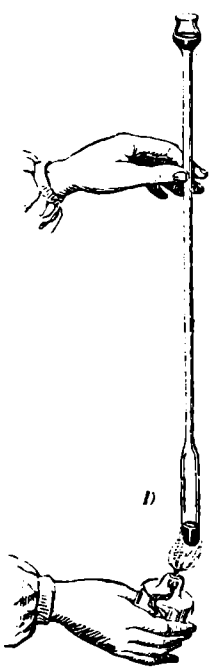


Fig. 328
Método para introducir mecurio

Para comprobar si el tubo elegido satisface á esta condición, nos bastará introducir en el tubo un pequeño índice de mercurio, al cual se le hará recorrer toda la extensión de la columna y si en todas partes *conserva la misma longitud*, tendremos la seguridad de que el tubo es utilizable.

Para obtener el *movimiento* de ese índice, nos bastará calentar poco á poco el aire contenido en el recipiente del tubo.

478. — Introducción del mercurio. — Para introducir el mercurio en el tubo se adapta á su extremidad superior un pequeño embudo *C* (*fig. 328*) en el cual se vierte una pequeña cantidad de mercurio.

El líquido empezará á entrar, pero como el aire interior se comprime, opondrá mucha resistencia y entonces debemos valernos de cualquiera de los siguientes artificios

Se inclina el tubo y se calienta la ampolleta *D*, el aire se dilata y parte de él se escapa á la atmósfera; se deja enfriar el tubo y el aire interior se enrarece; se pone vertical el tubo y entonces el peso del mercurio, ayudado por la *presión atmosférica* obliga á que penetre otra cantidad de líquido.

Se repite varias veces esta operación, hasta que se obtiene el efecto deseado.

—Otro método consiste en atar á la parte superior del embudo un hilo de un metro de largo y teniendo con la mano el extremo libre del hilo se hace girar rápidamente como si fuera una honda.

En virtud de la *fuerza centrífuga* el líquido tiende á ir al fondo del tubo y lo llena por completo.

479.—Régimen de la excursión.—Antes de cerrar el tubo es necesario hacer salir una cierta cantidad de líquido tal, que aún con las *máximas temperaturas* para que va á servir el termómetro, no pueda éste chocar contra la pared superior del tubo, es decir, llenarlo completamente, pues siguiendo la dilatación podría romperse el tubo.

También debe someterse el tubo á las temperaturas más *bajas* á que se aplicará, con el objeto de que la cantidad de mercurio interior sea tal, que cuando la temperatura sea mínima, aún quede en la *columna*, líquido, es decir, que la superficie libre del líquido no pase á la ampolleta.

Esto se conseguirá como hemos dicho, por varios tanteos.

480.—Conseguido esto, se procede á *cerrar* la parte superior del tubo, para lo cual se hace dilatar en exceso el mercurio y se funde el vidrio por medio del soplete, en un punto tal, que cuando se contrae el mercurio quede *hecho el vacío* sobre la columna termométrica, pues si quedara alguna cantidad de aire, este aire

se *comprimiría* al subir la columna de mercurio y nos daría errores en la lectura de las temperaturas, así como podría producir la rotura del tubo.

481. — Determinación del Cero.—Ahora sólo nos queda practicar la graduación, para lo cual debemos marcar el punto *cero*, el punto *cien* y dividir este espacio en 100 partes iguales, representando cada uno de estos espacios *un grado* de temperatura.

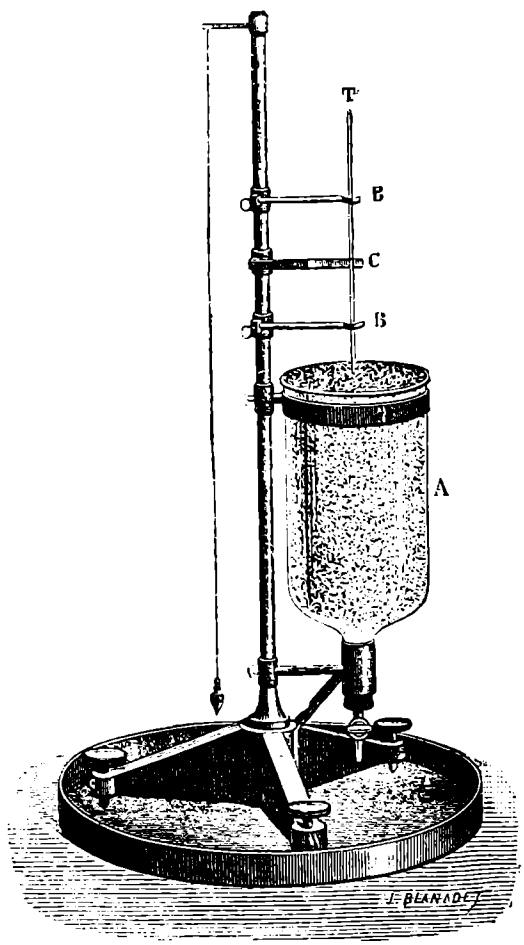


Fig. 329
Determinación del cero

Para determinar el punto *cero*, basta introducir el tubo en una vasija (*figura 329*) que contiene *hielo machacado en fusión*, á cuyo efecto se deja una pequeña abertura en el fondo de la vasija para que pueda salir el agua producida por la fusión del hielo.

Se deja el tubo durante un cuarto de hora y se observará que el mercurio que se pone á la mismo temperatura del *hielo fundente*, empieza á bajar en el tubo, hasta que llega un instante en que queda *estacionario*, ya no baja más, y

entonces, por medio de un diamante sobre el tubo de vidrio, ó por medio de un lápiz sobre una banda de papel, se marca una rayita y este punto nos marcará de ahora en adelante, la altura de la columna mercurial que corresponde á la temperatura de *cero grados*.

Como vemos, este es un *cero* completamente convencional y veremos más adelante que el cálculo nos dice, que el *cero absoluto* corresponde á una temperatura muchísimo *más baja*, que la temperatura del hielo fundente.

Luego, las temperaturas que nos acuse este termómetro no serán las verdaderas temperaturas de un cuerpo ó ambiente, sino la *diferencia de temperatura*, entre la temperatura del *hielo fundente* y la de dicho cuerpo ó ambiente.

482.—Determinación del punto Cien.—Este punto cien, corresponde á la temperatura del *agua en ebullición* á la presión normal, es decir, á la presión de una columna de mercurio de $0^m,760$.

No es tan fácil, como parece á primera vista, determinar este punto, pues la temperatura de ebullición del agua varía con sus *impurezas*, con la clase de las *vasijas*, y con la *profundidad* de la capa líquida, pues las capas inferiores son más calientes que las superiores.

Estos inconvenientes se han salvado después que *Rudberg* demostró que cualquiera que sea la temperatura de ebullición del agua, *la temperatura del vapor* que se desprende, *es constante*, con tal que haya la misma presión.

Luego, para fijar el punto 100, ya no hay necesidad de introducir el termómetro *en el agua*, sino en su vapor.

El aparato que se usa (*fig. 330*) consiste en una vasija cilíndrica *M* con agua, que se pone sobre un hogar para producir la *ebullición* del agua.

La parte superior de la vasija *M* está terminada por

un caño cilíndrico *A* que está envuelto por otro tubo de mayores dimensiones *B*.

Haciendo hervir el agua, el vapor que se desprende sube, según lo indica la flecha, por el tubo *A*, baja por el espacio anular comprendido entre los dos tubos *A* y *B* y sale por el caño *D*.

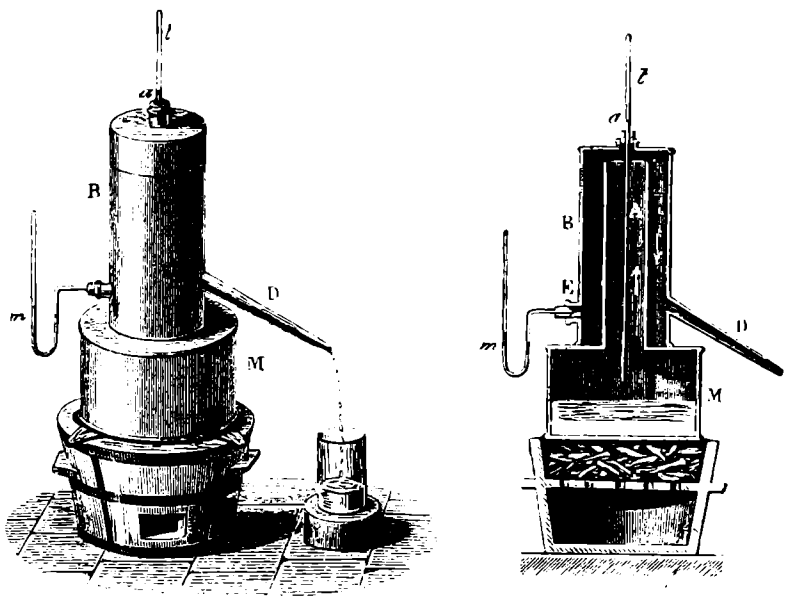


Fig. 330
Determinación del punto 100

En *E*, existe un manómetro á aire libre *M* con el objeto de constatar si la *presión interior es igual á la presión atmosférica*, pues de lo contrario, siendo la presión interior mayor, resultaría que la temperatura del vapor sería mayor de 100.

El espacio anular comprendido entre los cilindros *A* y *B*, sirve para evitar que el ambiente exterior pueda rebajar la temperatura del vapor contenido en el tubo *A*.

Dispuesto así el aparato, se introduce, por una abertura que está en la parte superior, al termómetro sujeto á un corcho y se introduce en el caño *A*, teniendo cuidado de que el termómetro *no toque* el agua.

Se verá que la columna de mercurio sube hasta que al fin queda estacionaria.

Se marca el nivel del mercurio y *este será el punto 100 si la presión atmosférica es la normal.*

Si la presión atmosférica no es la normal, se tiene presente que cada diferencia *en más ó menos de un milímetro* de mercurio, corresponde á una diferencia de temperatura de ebullición, también *en más ó en menos*, *de* $\frac{1}{27}$ *de grado.*

483.—Grado Centígrado.—Marcados así los dos puntos extremos *0* y *100*, no hay más que dividir ese espacio en 100 partes iguales y cada división corresponderá á *un grado centígrado de temperatura.*

Por consiguiente, definiriamos el *grado centígrado* diciendo:

El grado centígrado es la elevación de temperatura que produce una dilatación de substancia termométrica (mercurio en este caso), igual á la centésima parte de la dilatación que sufre cuando pasa de la temperatura del hielo fundente á la del vapor de agua en ebullición, á la presión normal.

484.—Comparabilidad de los termómetros.—Los termómetros de *mercurio*, que han sido construidos con proligidad y que sus tubos son del *mismo vidrio*, son *comparables* entre *0°* y *100°*.

Pasando este límite, la dilatación del mercurio es *irregular*, por cuyo motivo ese es el *límite superior* á que se usan dichos termómetros.

Sin embargo, cuando no se requiere una gran escrupulosidad, puede usarse entre *—40°* y *360°*, siendo la primera temperatura, el punto de *congelación* del mercurio y la segunda su punto de *ebullición.*

Ultimamente se han construido termómetros de mercurio que pueden dar hasta *460°* de temperatura, para lo cual, se deja en el tubo una cierta cantidad de gas, el cual comprimiéndose cuando el mercurio se dilata, retarda su punto de ebullición.

El gas usado es el *ázoe*, pues no es posible usar el aire porque se formaria óxido de mercurio.

485.—Cambio del Cero.—Si al cabo de *algunos años* de construído un termómetro se vuelve á sumergir en el hielo fundente ó en el vapor del agua en ebullición, se observará que el *0°* ó el *100°* debería estar *más alto*, y esta variación suele llegar hasta *2°*.

Luego, cuando se trata de hacer observaciones pre-

cisas, es necesario comprobar cuál es la posición del *cero* en el momento actual.

Este fenómeno se explica porque en las diferentes manipulaciones que se han hecho para construir los termómetros, se ha producido una especie de *temple* que aumentó el volumen del recipiente y después, con el tiempo y por la acción de la presión atmosférica, pues en el interior tenemos el vacío, se produce un trabajo molecular muy lento que hace volver el tubo á su volumen primitivo.

Esta *precaución* de comprobar la posición del cero, conviene tenerla también cuando en una operación anterior se ha llevado el termómetro á una temperatura extrema.

486.—Sensibilidad de los Termómetros.—La sensibilidad de los termómetros puede considerarse bajo dos puntos de vista:

1° La sensibilidad en virtud de la cual el termómetro se pone *rápidamente* en equilibrio de temperatura con el ambiente.

2° La sensibilidad que permite apreciar *pequeñas diferencias* de temperatura.

—La *primera condición* queda satisfecha usando una *masa muy pequeña* de mercurio, lo que se obtiene, haciendo que la ampolleta sea *pequeña*.

—La *segunda condición* se consigue, haciendo que la masa de mercurio sea grande, *pero* que el tubo sea *muy capilar*.

Con esto, cualquiera *pequeña dilatación* que se produzca en esa *gran masa* será inmediatamente revelada por la *pequeña masa* que hay en el tubo capilar.

Como se comprende, estas dos condiciones de sensibilidad son antagónicas. Cuando se satisface á una de ellas, no se puede satisfacer á la otra.

—Para satisfacer á la segunda condición, debería tenerse un tubo *muy largo* para *evitar* lo cual, se hacen

termómetros á *escalas fraccionarias*. Es decir, termómetros que acusan las más mínimas variaciones de temperatura entre *0°* y *10°*; termómetros que nos dan de *10°* á *20°* y así sucesivamente.

487.—Diferentes clases de escalas termométricas.—Además de la escala *centígrada* que hemos indicado anteriormente, suele hacerse uso de otras dos escalas que son las escalas *Réaumur* y *Fahrenheit*, la primera usada en la *meteorología* y la segunda, muy usada en Inglaterra y los Estados Unidos de Norte-América.

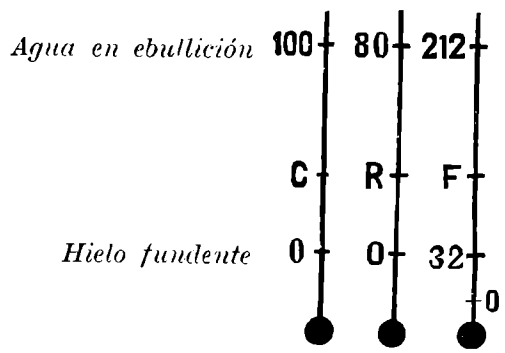


Fig. 331
Escalas termométricas

Ya vimos, que la escala *centígrada* estaba limitada por **0°** en la temperatura de la *fusión del hielo* y el punto **100°** que correspondía á la temperatura *del vapor del agua en ebullición* á la presión normal.

La escala *Réaumur* también toma esos mismos *límites* y pone también *cero* en la temperatura de la *fusión del hielo*, pero pone **80°** en la temperatura del vapor de agua en ebullición.

Luego, la única diferencia que existe entre la escala *Centígrada* y la *Réaumur*, es que en la *primera* se divide la columna termométrica en *100 partes* y en la segunda se divide sólo en *80 partes*.

—Finalmente, en la escala *Fahrenheit*, la temperatura de la fusión de hielo, *corresponde á la división* **32** y la temperatura del vapor de agua *corresponde á la división* **212**, luego el espacio que en la escala *Centígrada* se divide en 100 partes y en la *Réaumur* se divide en 80, aquí en la *Fahrenheit* se divide en 180 partes.

La *figura 331* nos indica gráficamente la relación de las escalas.

Por consiguiente, el *cero* del termómetro *Fahrenheit*, está **32** divisiones más bajo que el *cero centígrado* ó *Réaumur*.

488.—Reducción de las escalas.—Con la simple inspección de la figura, podemos establecer las fórmulas que nos permiten hacer la reducción de una á otra escala.

—Efectivamente, si llamamos C R y F UN *grado Centígrado*, *Réaumur* ó *Fahrenheit* y recordando que el *cero Réaumur ó Centígrado* equivale á $F-32$, se tendrán las siguientes proporciones:

$$\frac{C}{R}=\frac{100}{80}$$

$$\frac{C}{F-32}=\frac{100}{180}$$

$$\frac{R}{F-32}=\frac{80}{180}$$

y simplificando sale:

$$\frac{C}{R}=\frac{5}{4} \qquad (1)$$

$$\frac{C}{F-32}=\frac{5}{9} \qquad (2)$$

$$\frac{R}{F-32}=\frac{4}{9} \qquad (3)$$

Luego, con estas expresiones (**1**), (**2**), (**3**), tendremos la clave para hacer cualquiera *reducción*.

Efectivamente, supongamos que se nos pregunte:

—*¿Cuántos grados Réaumur son 35° Centígrados?*

Aplicaríamos la fórmula (**1**) y despejando R saldría:

$$R=\frac{C\times 4}{5}$$

ó bien

$$R = \frac{35 \times 4}{5} = \frac{140}{5} = 28^{\circ}$$

—Ejemplo 3º: *¿Cuántos grados centígrados son 113º Fahrenheit?*

—Aplicaríamos la fórmula (2) y tendríamos:

$$C = \frac{(F - 32^{\circ}) \times 5}{9}$$

ó bien

$$C = \frac{(113^{\circ} - 32^{\circ}) \times 5}{9}$$

de donde

$$C = \frac{81 \times 5}{9} = \frac{405}{9} = 45^{\circ}$$

—Ejemplo 2º: *¿Cuántos grados Fahrenheit son 24º Réaumur?*

Aplicaríamos la fórmula (3) y saldría:

$$F - 32 = \frac{R \times 9}{4}$$

ó bien

$$F - 32 = \frac{24 \times 9}{4}$$

luego

$$F - 32 = \frac{216}{4} = 54$$

de donde

$$F = 54 + 32 = 86^{\circ}$$

Y así podríamos seguir resolviendo cualquier caso que se nos presentara.

489.—Termómetro á alcohol.—Cuando se necesita apreciar *bajas temperaturas* se usa el termómetro á alcohol, pues este líquido tiene la ventaja de congelarse á la temperatura de $-130°$ en vez de $-40°$ como el *Mercurio*.

La construcción de este termómetro es análoga á la construcción del termómetro de mercurio.

La única diferencia está en el modo de *llenar* el tubo y la construcción de la escala.

—Para *llenar el tubo*, se calienta el aire de la ampolleta, se introduce la extremidad superior de un vaso que contiene alcohol (*fig. 332*) y al enfriarse, el aire que está en el interior del tubo se enrarese y por consiguiente, la presión atmosférica hace penetrar una cierta cantidad de alcohol.

Fig. 332
Termómetro á alcohol

Se repite varias veces esta operación, hasta que se llena el tubo.

—Para *graduar el termómetro*, se determina el cero como con el termómetro de mercurio, pero el punto *100* no es posible determinarlo por la temperatura del vapor del agua en ebullición, pues el alcohol hierve á la temperatura de $79°$ centígrados.

Por consiguiente, debemos valernos de un artificio que es el siguiente:

Se introduce el tubo termométrico que se quiere graduar en una vasija que contenga agua á $50°$ ó $60°$, al

mismo tiempo que se introduce un buen termómetro á mercurio, que sirve de termómetro *tipo*.

Se marca sobre el termómetro á alcohol la división que indica el termómetro á mercurio y en seguida se procede á la división.

Este termómetro á alcohol es *inexacto* para temperaturas superiores á los 40 ó 50 grados.

490.—Termómetro á máxima y mínima de Ruterford.—En ciertos casos conviene determinar cuál ha sido la *máxima* ó *mínima* temperatura, que ha habido en un espacio de tiempo determinado.

Como es imposible exigir de los operadores, que estén constantemente vigilando el termómetro, se han ideado diversos procedimientos para que el mismo instrumento *marque*, cuál ha sido la máxima ó mínima temperatura de un ambiente, después de la última observación.

—*Ruterford*, para determinar la *máxima* temperatura se vale de un termómetro común de mercurio, con la columna horizontal.

En el interior del tubo (*fig. 333*), hay un pequeño ci-

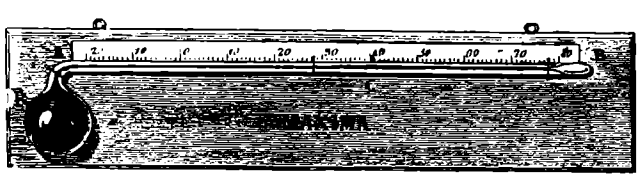


Fig. 333
Termómetro de máxima

lindro *C de hierro*, el cual es empujado por la columna mercurial cuando ésta se dilata.

Al contraerse el mercurio, el *índice* queda en el punto extremo á que fué empujado y por consiguiente, el observador puede en cualquier momento notar cual fué la máxima temperatura.

Cuando se quiere volver hacer otra observación, se obliga al índice de hierro á que se ponga en con-

tacto con la columna líquida, lo cual se consigue haciendo uso de un imán.

—El termómetro de *mínima* es análogo al anterior (*fig. 334*), con la diferencia de que en vez de mercurio es *alcohol* el líquido empleado, y que el índice *C*, es de *esmalte.*

Si la temperatura sube, el alcohol se desliza á los costados del *índice* y éste no se mueve.

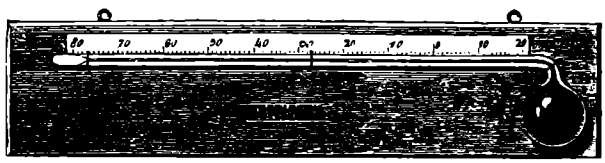


Fig. 334
Termómetro de mínima

Si la temperatura baja, la columna líquida se contrae y cuando ha llegado hasta la base del cilindro de esmalte, éste, por la *adhesión,* sigue la marcha hasta que vuelva á subir el líquido por una nueva elevación de temperatura.

491.— Termómetro normal.—Como los termómetros *á mercurio* y *á alcohol* no son comparables, para las operaciones delicadas de gabinete, se usan los *termómetros á gas* que son perfectamente comparables y sumamente sensibles á *cualquiera temperatura.*

Los gases usados son el *ázoe* y el *hidrógeno.*

492.—Termometrógrafo de Six y Bellani.—Este aparato representado en la *fig. 335*, tiene la ventaja de dar al mismo tiempo el máximo y el mínimum de temperatura.

Se compone de un tubo encorvado conteniendo *mercurio*, terminado por un lado por un recipiente *C lleno* de alcohol y por el otro lado por una ampolleta *A* que contiene alcohol y aire sobre éste.

De modo, pues, que en las dos ramas tenemos alcohol *sobre el mercurio.*

En los extremos de las columnas de mercurio hay *dos índices de hierro.* —Antes de operar, se llevan los dos índices por medio de un imán á que se pongan *en contacto* con las columnas de mercurio.

Si la temperatura *disminuye*, el alcohol del recipiente *C* se contrae y junto con éste el mercurio, el cual empuja el índice hacia el recipiente *C.*

Si enseguida *aumenta* la temperatura, el alcohol se dilata y el índice de la izquierda *queda* marcando el *mínimum* de temperatura, y el de la derecha, se ve empujado hasta el *máximum* de temperatura.

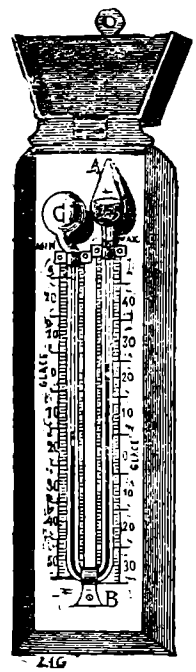


Fig. 335
Termometrógrafo de Six y Bellani

493.—Termómetro diferencial de Leslie. Este termómetro está basado en la dilatabilidad del aire.

Consta de un tubo encorvado, con dos ramas verticales (*fig. 336*) terminadas por dos esferas llenas de aire.

En el interior del tubo se introduce *dcido sulfúrico* coloreado en rojo, líquido que se ha elegido porque no da vapores á las temperaturas ordinarias.

A fuerza de tanteos, se consigue que el líquido que llena el tubo horizontal y parte de los verticales, quede á un *mismo nivel*, cuando la temperatura de las dos esferas es la misma.

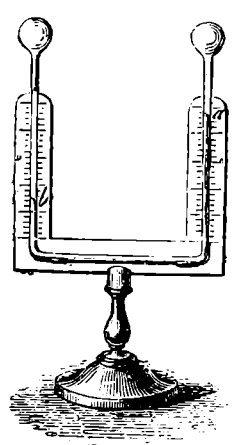


Fig. 336
Termómetro diferencial de Leslie

Para graduarlo, se marca *cero* en las dos columnas cuando las dos temperaturas son iguales.

Enseguida se pone una esfera á la temperatura *cero* y la otra á la temperatura *10°*; por ejemplo, y entonces el nivel del líquido bajará en la columna correspondiente á la temperatura más alta y subirá en la otra columna.

Allí se marca *10°*, se divide en 10 partes iguales y se sigue la división.

La *figura 337* nos indica la modificación ideada por *Matthiessen* y que se aplica para determinar la *diferencia* de temperatura, entre dos líquidos contenidos en dos vasijas diferentes.

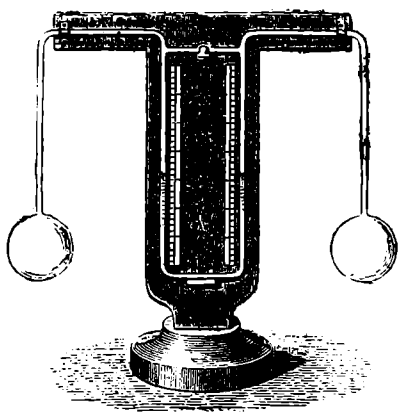


Fig 337
Termómetro comparación

494.—Pirómetro de Brongniart.—Cuando la temperatura del ambiente sobre el cual se ensaya es demasiado elevada, ya no es posible hacer uso de los termómetros á alcohol ó á mercurio, pues podría llegarse á la temperatura de ebullición de esos líquidos, como en los hornos de porcelana, por ejemplo.

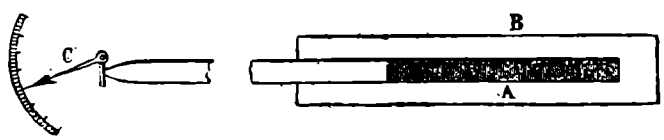


Fig. 338
Pirómetro de Brongniart

En ese caso, puede hacerse uso del pirómetro de *Brongniart* (*fig. 338*) que como vemos consiste en una barra de plata *A* encerrada en el horno *B*, que al dilatarse empuja una palanca acodada, uno de cuyos brazos es una aguja *C* que puede resbalar sobre un cuadrante graduado.

495.—Pirómetro de Wedgwood.—Este otro pirómetro (*fig. 339*) está basado en la propiedad que tiene la arcilla de contraerse y conservar ese volumen una vez que se caliente.

Como vemos, consiste en una plancha de metal sobre la cual se aplican dos reglas metálicas *A* y *A'*, una de las cuales está dividida y que son convergentes.

Se hacen pequeños *cilindros* de arcilla que entran ajustadamente entre los dos bordes de las reglas, en su extremo inferior.

Se introducen estos cilindros en el ambiente cuya temperatura se quiere determinar y se dejan estar allí hasta que tomen la temperatura del ambiente y se notará que los cilindros se contraen. Se dejan enfriar y se hacen correr entre las reglas, como lo marca la figura.

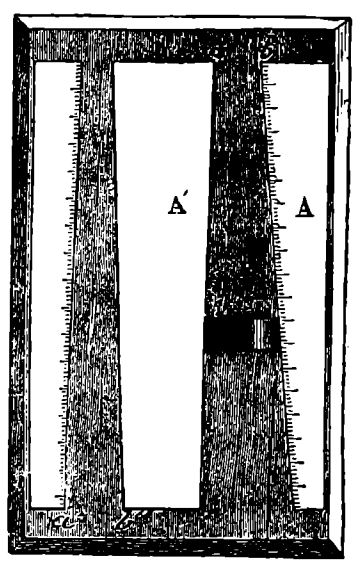


Fig. 339
Pirómetro de Wedgwood

Según sea el punto á que llegan estos cilindros, así también será la temperatura del horno.

—Para no dar al aparato una longitud demasiado grande, sobre la misma plancha de metal se colocan dos reglas graduadas, en que la una viene á ser la continuación de la otra.

496.—Termómetro metálico de Bréguet.—Este termómetro está basado en la *desigual dilatabilidad* de los metales.

Consiste en una *cinta metálica* que ha sido construida de la siguiente manera.

Se coloca una cinta de *platino*, sobre ella una de *oro* y sobre ésta una de *plata*. Se pasa por la *hilera* con

la cual las tres cintas metálicas forman una sola. Se arrolla en espiral, de manera que la plata esté en el interior, se suspende (*fig. 340*) por un extremo á un soporte y al otro extremo se le fija una aguja que puede recorrer un círculo graduado.

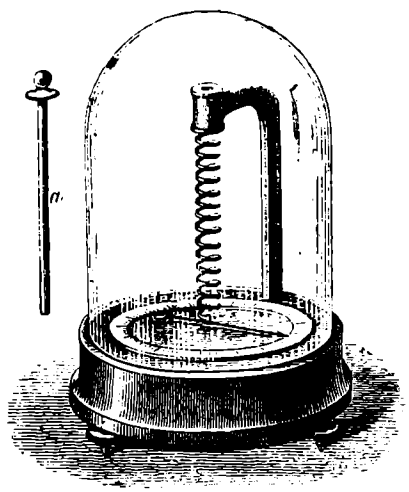


Fig. 340
Termómetro metálico de Bréguet

Cuando aumenta la temperatura, la cinta se dilata pero como la plata es más dilatable que el platino, resulta que la hélice se desarrolla y la aguja recorre un cierto número de grados.

Si la temperatura disminuye, se verifica el fenómeno contrario.

Este es un termómetro muy sensible.

Cuando se quiere transportar el instrumento se introduce en el centro de la hélice la varilla *a*, que impide la deformación de la hélice.

497.—Además de los termómetros que hemos indicado hay los *termómetros eléctricos,* que estudiaremos más adelante.

CAPITULO III

DILATACION DE LOS SÓLIDOS

498.—Coeficiente de Dilatación.—La dilatación de los sólidos puede ser *lineal*, *superficial* ó *cúbica*.

Se llama *coeficiente medio de dilatación* LINEAL *de un sólido*, entre $0°$ y $t°$ la *relación* ó cociente que existe entre *el alargamiento* de la unidad de longitud y la *elevación de temperatura*, partiendo de la temperatura inicial *cero*.

Así si suponemos tener una barra de *hierro* de *un metro* de longitud y suponemos que al calentarla hasta *80 grados*, hemos constatado un aumento de longitud de $0^m,00095$, resultará que *el coeficiente medio de dilatación lineal* será:

$$C = \frac{0^m,00095}{80} = 0.0000118$$

Si la barra en vez de ser de *un* metro fuera de *dos*, nos bastaría *dividir por* 2 este resultado.

—Para los metales y la mayor parte de los sólidos el coeficiente de dilatación lineal es *constante* siempre que las temperaturas no sean mayores de 100°.

499.—El *coeficiente medio de dilatación* SUPERFICIAL, es la relación entre el aumento que sufre la *unidad de superficie* y la *elevación* de temperatura, siendo *cero* la temperatura inicial.

Entre 0° y 100° el coeficiente de dilatación *superficial* es constante.

500.—Finalmente, el *coeficiente medio de dilatación* CÚBICA es la relación entre el *aumento* de la unidad de *volumen* y la *elevación* de temperatura, siendo *cero* la temperatura inicial.

Generalmente entre 0° y 100° estos coeficientes de dilación son constantes.

Debemos tener presente que se puede aceptar con mucha aproximación que el coeficiente de dilatación *superficial* es *doble* del de dilatación *lineal* y que el coeficiente de dilatación *cúbica*, es el *triple* del coeficiente de dilatación lineal, de la misma substancia.

También debe tenerse presente, que el coeficiente de dilatación *aumenta* á medida que elevamos la temperatura á más de 100°.

501.—Determinación del coeficiente de dilatación de los sólidos por el método de Lavoisier y Laplace.—*Lavoisier* y *Laplace* estudiaron la dilatación de los sólidos valiéndose de un aparato análogo al pirómetro de *Brongniart*.

La barra *A B* (*fig. 341*) cuyo coeficiente de dilatación se quiere determinar, se dispone horizontalmente, colocándola de manera que uno de sus extremos *A* quede apoyado en un punto fijo y que el otro extremo *B* pueda moverse libremente y empujar una palanca *O B*, que puede girar alrededor del punto *O*.

En el extremo *O* de esa palanca, está rígidamente fijado un anteojo *L L* que por consiguiente se inclina cuando se mueve la palanca *O B* alrededor del punto *O*.

Cuando la barra *A B* está á la temperatura de 0°, el anteojo está *horizontal* y dirigiendo la mirada á una *mira* colocada á una cierta distancia, *se lee* la división *C*.

Cuando se eleva la temperatura, la barra *se dilata* y

como el punto *A* está fijo, tiene que dilatarse hacia el otro extremo, luego el punto *B* pasa de *B* á *B'*, el anteojo toma la posición *L L'* y se hace la lectura *C'*.

La diferencia de las dos lecturas *C* y *C'*; nos dan la longitud *C C'*.

La distancia *O B* está dada por el fabricante del aparato ó se mide directamente, así como *se mide* la distancia *O C*.

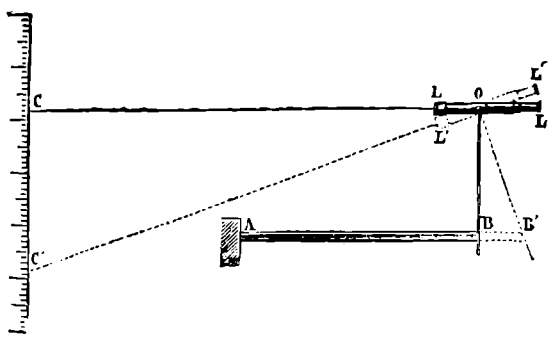


Fig. 341
Método de Lavoisier y Laplace

Entonces los dos triángulos rectángulos *O C C'* y *O B B'* que son *semejantes* por tener sus ángulos respectivamente iguales, y nos dan:

$$\frac{O\,B}{O\,C} = \frac{B\,B'}{C\,C'}$$

En esta proporción tenemos *O B*, *O C* y *C C'* *conocidas*, luego, podemos hallar *B B'* y saldrá:

$$B\,B' = \frac{O\,B \times C\,C'}{O\,C}$$

expresión que nos da la dilatación que ha experimentado la barra.

—Si la barra tiene *un* metro de longitud y la temperatura ha pasado de 0° á 1°, esta dilatación nos mide el *coeficiente de dilatación.*

Si la barra es siempre de *un* metro, pero la temperatura ha pasado de 0° á 50°, el coeficiente será:

$$C = \frac{B\,B'}{50}$$

Finalmente, si la barra tiene $2^m,50$ de largo y la temperatura ha pasado de 0° á 40°, el coeficiente de dilatación lineal será:

$$C = \frac{B\,B'}{2^m\,50 \times 40}$$

502.—El aparato usado está indicado en la *figura 342* que como vemos, consiste en cuatro pilares *N* de mampostería que abrazan una cuba *C*, en cuyo interior se introduce *la barra S*, la que está sumergida en un baño de aceite para poder llevar la temperatura hasta 300°.

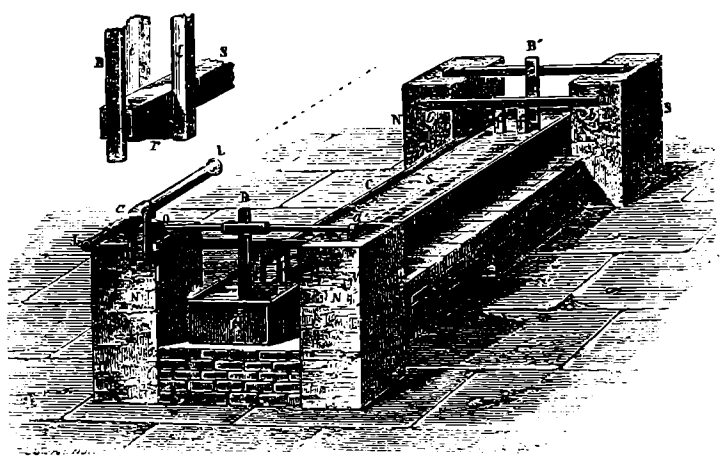


Fig. 342
Aparato de Lavoisier y Laplace

Esta barra *S* descansa sobre una serie de rodillos y es guiada por dos pares de columnas para que al dilatarse no sufra flexión.

Se apoya un extremo de la barra contra un poste fijo *B'* y el otro extremo toca contra un montante *B* fijo á un eje *a a* que lleva el anteojo *L L'*.

Para operar, se llena la cuba de hielo y se anota la división de la mira que se lee por el anteojo, división que corresponderá á la temperatura 0°.

Se saca el hielo, se vierte aceite y se pone fuego en una hornalla que está debajo de la cuba.

Cuando se ha llegado á la temperatura que se desea, lo que se comprueba por varios *termómetros* sumergidos en el aceite, se tapa el hogar.

La temperatura cesa de subir y queda estacionaria el suficiente tiempo para poder hacer la segunda lectura, con lo cual se tienen los elementos necesarios para determinar el *coeficiente de dilatación lineal* de la barra.

503.—Fórmula de la dilatación lineal.—De lo dicho anteriormente se deduce que si consideramos una barra de *un metro* de longitud á *cero* grados y llamamos α su coeficiente de dilatación, es decir, *el alargamiento que experimenta* la unidad de medida cuando la temperatura pasa de 0° á 1° y suponemos que en vez de pasar de 0° á 1° pasa de 1° á $t°$ el *alargamiento* será t veces mayor, es decir:

$$\alpha\, t$$

y si en vez de tener la longitud de 1m á cero grado tuviera la longitud l_0, resultaria que el *alargamiento* de dicha barra al pasar de 0° a $t°$, sería:

$$l_0\, \alpha\, t$$

luego, llamando l_t la longitud que toma esa barra á cero grado, se tiene:

$$l_t = l_0 + l\, \alpha\, t$$

ó bien

$$l_t = l_0\, (1 + \alpha\, t)$$

fórmula de la dilatación *lineal*.

La expresión

$$1 + \alpha\, t$$

se llama *binomio de dilatación*.

504.—Si quisiéramos ahora la fórmula de dilatación *superficial* nos bastaria considerar una superficie del mismo metal y de forma de paralelógramo cuyas dimensiones *á cero* sean l y b.

Su superficie á cero sería:

$$S = l.\, b$$

Pero si suponemos que pase de la temperatura 0° á $t°$, las dimensiones se transformarían en

$$l_t = l\,(1 + \alpha\, t)$$
$$b_t = b\,(1 + \alpha\, t)$$

luego la superficie sería

$$S_t = l\,(1 + \alpha\, t) \times b\,(1 + \alpha\, t)$$

es decir

$$S_t = l \times b \times (1 + \alpha\, t)^2$$

luego

$$\mathbf{S_t = S\,(1 + \alpha\, t)^2} \qquad (A)$$

fórmula de la dilatación superficial.

505.—Si queremos determinar la fórmula de la dilatación *cúbica* supondremos tener un prisma rectangular de ese metal, de dimensión l, b y c, luego su volumen *á cero* sería

$$V = l\,.\,b\,.\,c$$

Si suponemos ahora que de 0° la temperatura ha pasado á $t°$, las nuevas dimensiones serían:

$$l_t = l\,(1 + \alpha\, t)$$
$$b_t = b\,(1 + \alpha\, t)$$
$$c_t = c\,(1 + \alpha\, t)$$

luego el volumen á $t°$ sería

$$V_t = l\,(1 + \alpha\, t) \times b\,(1 + \alpha\, t) \times c\,(1 + \alpha\, t)$$

es decir

$$V_t = l\,.\,b\,.\,c \times (1 + \alpha t)^3$$

ó bien

$$\mathbf{V_t = V\,(1 + \alpha\, t)^3} \qquad (B)$$

fórmula de la *dilatación cúbica.*

506.—Estas fórmulas *(A)* y *(B)* desarrolladas serían:

$$S_t = S(1 + 2\alpha t + \alpha^2 t^2)$$
$$V_t = V(1 + 3\alpha^2 t^2 + 3\alpha t + \alpha^3 t^3)$$

En estas fórmulas $\alpha^2 t^2$ y $\alpha^3 t^3$ son despreciables, pues α es una fracción decimal muy pequeña en general, y elevada al cuadrado y al cubo mucho más pequeña aún, luego se pueden suprimir y las fórmulas se transformarán en

$$S_t = S(1 + 2\alpha t)$$
$$V_t = V(1 + 3\alpha t)$$

es decir que el coeficiente de dilatación superficial es el *doble* del lineal y el de dilatación *cúbica* es al *triple* del lineal.

507.—Resultados generales.—No todos los experimentadores han obtenido el *mismo* resultado al determinar el coeficiente de dilatación de los sólidos, lo cual es debido á los errores ineludibles en toda observación, al estado físico de los trozos empleados, á su modo de preparación, al grado de pureza, etc.

Damos á continuación un cuadro que nos da el *coeficiente de dilatación lineal* de algunas substancias:

Platino	0,0000092	*Cobre*	0,0000177
Oro	0,0000147	*Latón*	0,0000187
Plata	0,0000199	*Estaño*	0,0000221
Fundición	0,0000112	*Plomo*	0,0000281
Hierro	0,0000118	*Zinc*	0,0000302
Acero	0,0000123	*Vidrio*	0,0000085

Como vemos, estos números tan pequeños, son muy diferentes de uno á otro cuerpo.

Felizmente, el *vidrio* y el *platino* tienen casi el mismo coeficiente de dilatación, lo cual nos permite fijar un hilo de platino en el vidrio, cosa que es tan útil en los aparatos de física.

508.—Excepción del caucho.—El *caucho tendido*, hace excepción á la regla general.

Para verificarlo, tomemos un tubo de caucho de unos *25 centímetros* de largo, suspendámoslo por un extremo y fijemos en el otro extremo *un peso* capaz de estirar el tubo hasta que sea tres ó cuatro veces más largo que en su estado normal.

Dejemos durante algunas horas el tubo así tendido, y enseguida hagamos correr rápidamente á lo largo de la superficie del tubo, la llama de un pico de *Bunsen*.

El tubo *no se dilata,* sino que al *contrario*, *se contrae* unos *diez centímetros* más ó menos, elevando el peso.

509.—Aplicaciones de la dilatación.—Indicaremos algunas aplicaciones.

1ª Las *regillas* de los hogares de las máquinas, etc., no deben estar fijadas en sus extremos, sino que deben poder dilatarse libremente.

2ª Las armaduras de los techos de hierro y puentes deben disponerse de tal manera que puedan *jugar* las juntas por efecto de las dilataciones y contracciones.

3ª Las *chapas de zinc* de los techos, deben estar dispuestas de modo que puedan cabalgar unas sobre otras, para que no se produzcan deformaciones y rupturas.

4ª Los *rieles* de los ferrocarriles no deben estar en *contacto* por sus extremos, pues en los días de grandes calores, podrían dilatares de tal manera, que hasta podría ocasionar la completa destrucción de la vía.

5ª Para colocar las *llantas* de las ruedas y fijarlas, basta calentar el aro de hierro que las forman y enseguida enchufar á golpes de maza el armazón de madera en el aro. Se enfría con agua, y al enfriarse se contrae de tal modo que queda perfectamente ajustada.

6ª A los caños de aguas corrientes, se les *compensa* de cuando en cuando, es decir, se unen dos caños por

medio de una caja-estopa, de manera que pueda correr uno dentro de otro.

7ª Las bóvedas de los grandes puentes se elevan y bajan por las variaciones de la temperatura.

8ª Los instrumentos astronómicos, cuando están colocados en edificios elevados, son desalojados de su posición, por la dilatación de las paredes expuestas al sol.

9ª Para demostrar el enorme esfuerzo desarrollado en la dilatación y contracción de los cuerpos por las variaciones de temperatura, nos bastaría citar la feliz aplicación de *Molard*, para enderezar las paredes de una galería del Conservatorio de Artes y Oficios de París, que por el empuje de la bóveda que sostenían, se encontraban desalojadas de su posición vertical.

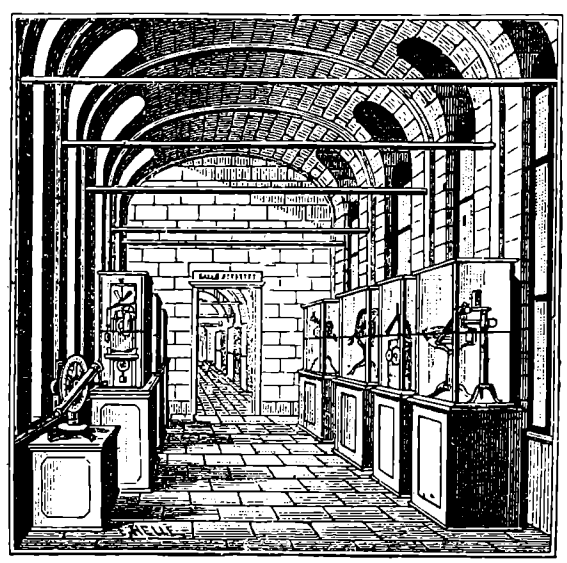


Fig. 343
Aplicaciones de la dilatación

Ligó (*fig. 343*) las dos paredes opuestas, por medio de barras de hierro, uno de cuyos extremos está terminado por una chapa gruesa de hierro que apoyaba en la parte exterior de la pared y el otro extremo está terminado por un tornillo en el cual encaja una tuerca.

El extremo con la chapa se fijaba en una pared y el otro extremo atravesaba libremente la otra pared.

Se calentaban estas barras por medio de carbones colocados en unas parrillas que se suspendían de las

barras y cuando éstas se habían dilatado se apretaba la tuerca.

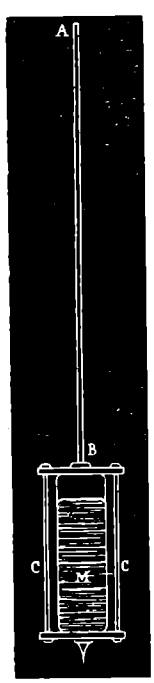
Al enfriarse las barras se contraían y desarrollaban un enorme esfuerzo, arrastrando consigo á las paredes acercándolas.

Repitiendo varias veces la operación, se consiguió aplomar nuevamente las paredes.

510.—Péndulo compensador de Graham.—Este péndulo compensador está basado en la dilatación de los cuerpos.

Fué el primero que se ideó y aún hoy es considerado el mejor.

Consiste en una varilla *A B* (*fig. 344*) en cuyo extremo inferior hay un bastidor *C* que sostiene un vaso cilíndrico de vidrio *M*, conteniendo mercurio.



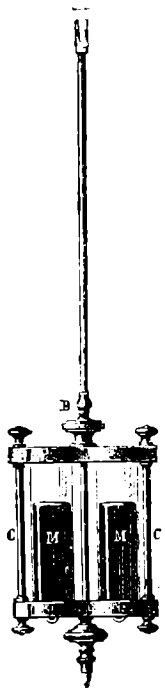


Fig. 344 Fig. 345
Péndulo compensador de Graham

Cuando aumenta el calor, la varilla se estira hacia *abajo*, pero al mismo tiempo el mercurio se dilata hacia *arriba*.

Con la dilatación de la varilla, el eje de oscilación *baja*, pero con la dilatación del mercurio *sube*. Por cuyo motivo, aplicando ciertas fórmulas, es posible calcular qué relación debe existir entre la longitud de la varilla *AB* y la altura de la columna del mercurio, para que haya compensación y el eje de oscilación quede fijo.

Generalmente se dispone el aparato como lo indica

la *figura 345*, poniendo el mercurio en dos vasos, simétricamente colocados á uno y otro lado de la varilla.

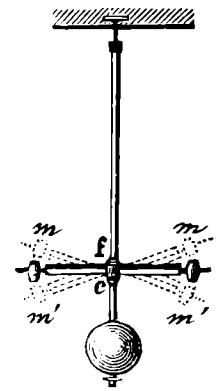


Fig. 346
Péndulo compensador de Martín

511. — Péndulo compensador de Martín. —Este péndulo está también basado en la desigual dilatación de los metales.

Consiste, como los demás, en una varilla que tiene una masa en su extremidad inferior, completándose el sistema, por una lámina compensadora *mm* (*fig. 346*), formada por una lámina de *cobre* y otra de *hierro*, perfectamente unidas, como si no fuera más que un solo cuerpo.

Supongamos que la parte inferior sea de cobre y la parte superior de hierro.

Si la temperatura aumenta la varilla del péndulo *se alarga*, pero las masas *m* y *m suben*, pues el cobre se dilata más que el hierro, luego, el centro de gravedad sube.

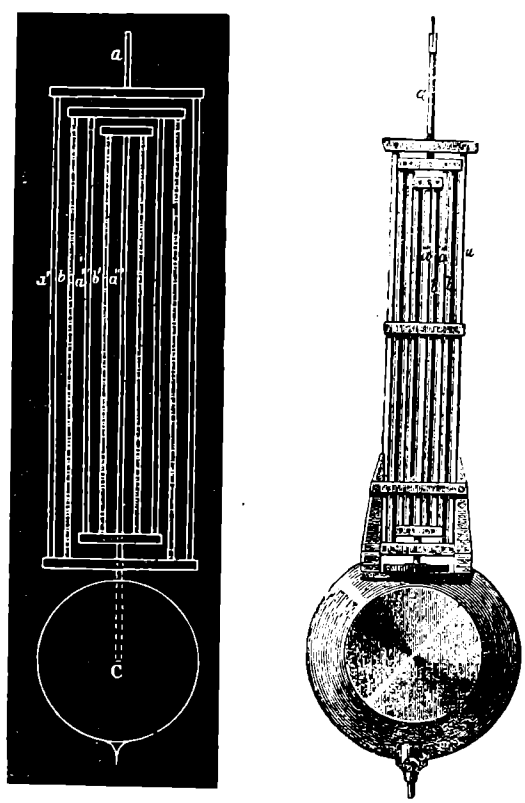


Fig. 347
Péndulo compensador á parrilla

Si la temperatura baja, la varilla se acorta, pero la lámina compensadora toma la po-

sición *m' m'* y por consiguiente, el centro de gravedad del sistema *baja*, luego hay compensación.

512.—Péndulo compensador á parrilla—Este péndulollamado también de *Harrison*, consta de una serie de varillas de *hierro*, *a'*, *a''*, *a'''* y otras de *cobre b* y *b'*, que *forman la varilla* del péndulo *(fig. 347)*.

La dilatación de las varillas de *hierro* trata de *bajar el eje de oscilación* y la dilatación de las varillas de *cobre*, hace *subir* el eje de oscilación. Ahora bien, dada la diferente dilatación del hierro y el cobre se calcula las longitudes convenientes de esas varillas y se tiene una perfecta compensación.

513.—Efectos mecánicos de la dilatación de los sólidos.—Ya hemos indicado algunos efectos mecánicos debidos á la dilatación de los sólidos.

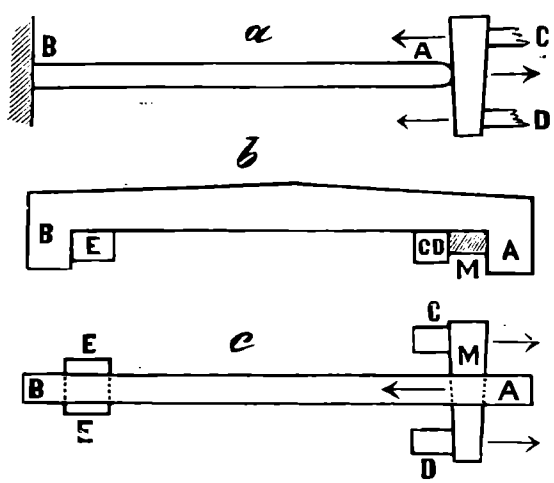


Fig. 348
Efecto mecánico de la dilatación de los sólidos

Los esfuerzos que se producen en la dilatación son considerables.

El esfuerzo desarrollado por una barra que se calienta, es igual á la *tracción que sería necesario* hacerla sufrir para que se alargara de una cantidad igual á lo que se dilata.

Para demostrar este *efecto mecánico de la dilatación*, nos valdremos de una barra *de acero AB (fig. 348 a)* fija en su extremo *B* y cuyo otro extremo *A* choca contra una cuña *de fundición* que se ha introducido

forzadamente entre el extremo *A* de la barra y dos tacos *C* y *D*.

Calentando la barra *B A*, ésta se dilata y la cuña se rompe.

514.—Los *efectos de contracción* que son equivalentes á los de la dilatación, se prueban por el aparato indicado en la *figura 348 b y c*.

Se tiene una barra de acero *AB* con dos salientes *A* y *B*, como lo indica la figura.

Se tienen además tres tacos *C*, *D* y *E* perfectamente fijos, sobre los cuales cabalga la barra *AB*.

Se calienta esta barra y entre la saliente *A* y los dos tacos *C* y *D* se coloca la cuña *M*.

Se deja enfriar la barra de acero, la cual *contrayéndose* rompe la cuña *M*.

CAPÍTULO IV

DILATACIÓN DE LOS LIQUIDOS

515.—Dilatación absoluta y aparente.—Ya dijimos, que los *líquidos* como todos los cuerpos, *se dilatan* por la acción del calor, pero en estos cuerpos sólo se estudia la *dilatación cúbica.*

Como los líquidos no tienen *forma*, sino la de las vasijas que los contiene y como por consiguiente, cada vez que los líquidos se dilatan, se dilatará también el recipiente, resulta que se debe notar una *dilatación aparente* que es la que en realidad se observa y *dilatación absoluta* que es la que nosotros debemos estudiar, prescindiendo del aumento ó disminución de volumen que puede haber sufrido la vasija.

El *trabajo interior* de dilatación es muy pequeño, pues la cohesión de las moléculas en los líquidos es muy pequeña, pero el *trabajo exterior* es muy considerable, pues para una variación determinada de *temperatura*, la dilatación de los líquidos es mayor que la de los sólidos.

516.—Aparato de Tommasi.– Para demostrar el *efecto mecánico de la dilatación de los líquidos* nos valdremos del aparato *de Tommasi*, que consiste (*fig. 349*), en un tubo de acero *S T* cerrado por la parte inferior y abierto en su parte superior, donde está munido de un tornillo exterior *E*.

Se coloca en ese tubo aceite de oliva y sobre la abertura superior se aplica una lámina de plomo de *5 mi-*

límetros de espesor, que se fija por medio de un sombrerete atornillado al tubo.

Se calienta el aceite por medio del mechero *CC*, el cual dilatándose, arrastra consigo un redondela de plomo, que arrancó de la lámina, como lo haría un *sacabocado* en el cuero.

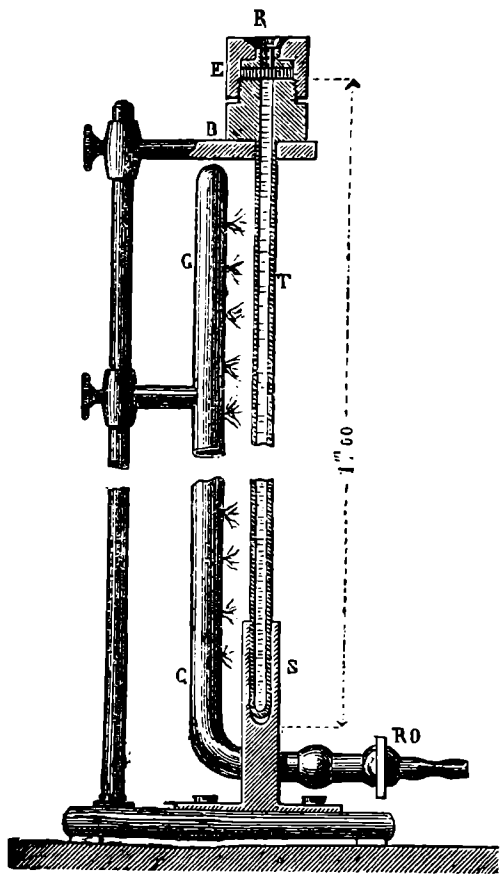


Fig. 349
Aparato de Tommasi

517. — Dilatación absoluta del mercurio y su determinación por el método de Dulong y Petit.—Por el procedimiento de *Dulong* y *Petit*, se prescinde por completo de la dilatación del recipiente.

Está basado en el *principio de los vasos comunicantes*, cuando se emplean *dos líquidos de distinta densidad*, que como sabemos, nos dice que: *la altura de los líquidos está en razón inversa de sus densidades.*

Se emplean dos tubos *A B* y *C D* *(fig. 350)*, de 2 ó 3 centímetros de diámetro, unidos por un tubo capilar horizontal *E F* en los cuales se ha vertido mercurio.

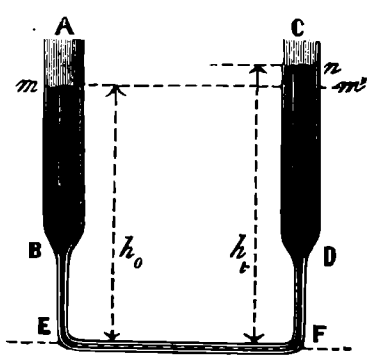


Fig. 350
Coeficiente de dilatación absoluta del mercurio

Se pone el tubo *A B* á la temperatura de *cero grados* y el tubo *C D* á la temperatura de *t grados;* luego, el mercurio del tubo *A B*, será más denso que el mercurio del tubo *C D*, por consiguiente, la altura del mercurio

en el tubo $A\,B$ debe ser menor que la altura del mercurio en el tubo $C.\,D.$

Se anota la *temperatura* t, se lee con el catetómetro las alturas h_o y h_t, y entonces la fórmula

$$K = \frac{h_t - h_o}{h_o\, t}$$

nos dará el coeficiente de dilatación K, que como sabemos, es *la dilatación que experimenta la unidad de volumen de líquido, cuando pasa de la temperatura de 0° á 1°.*

518.—Si llamamos V_o el volumen de un líquido cualquiera á *cero* grados y suponemos que K represente su coeficiente de dilatación, resulta que si ese volúmen de líquido lo elevamos á t°, el *aumento* que experimentará su volúmen será

$$V_o\, K\, t$$

y el nuevo volúmen que tomará el líquido á $t°$ será

$$V_t = V_o + V_o\, K t$$

ó bien

$$\mathbf{V_t = V_o\,(1 + K\,t)}$$

que es la fórmula de la dilatación de un líquido.

519.—El aparato, se dispone como lo indica la *figura 351.*

El tubo C está envuelto por un recipiente que contiene hielo fundente; luego el mercurio en el tubo C, está á *cero* grados.

El tubo A, está contenido en un recipiente que contiene aceite, el cual se eleva á la temperatura $t°$ por medio de un hornillo que lo rodea.

Los tubos A y C, están unidos por medio del tubo capilar B, el cual se dispone *horizontal* por medio del

tornillo *M* que forma la base del aparato y unos niveles que se ven en la figura.

La *temperatura*, está dada por un termómetro á peso *E*, que llega *hasta el fondo* del vaso que contiene el aceite, para poder dar la *temperatura media*.

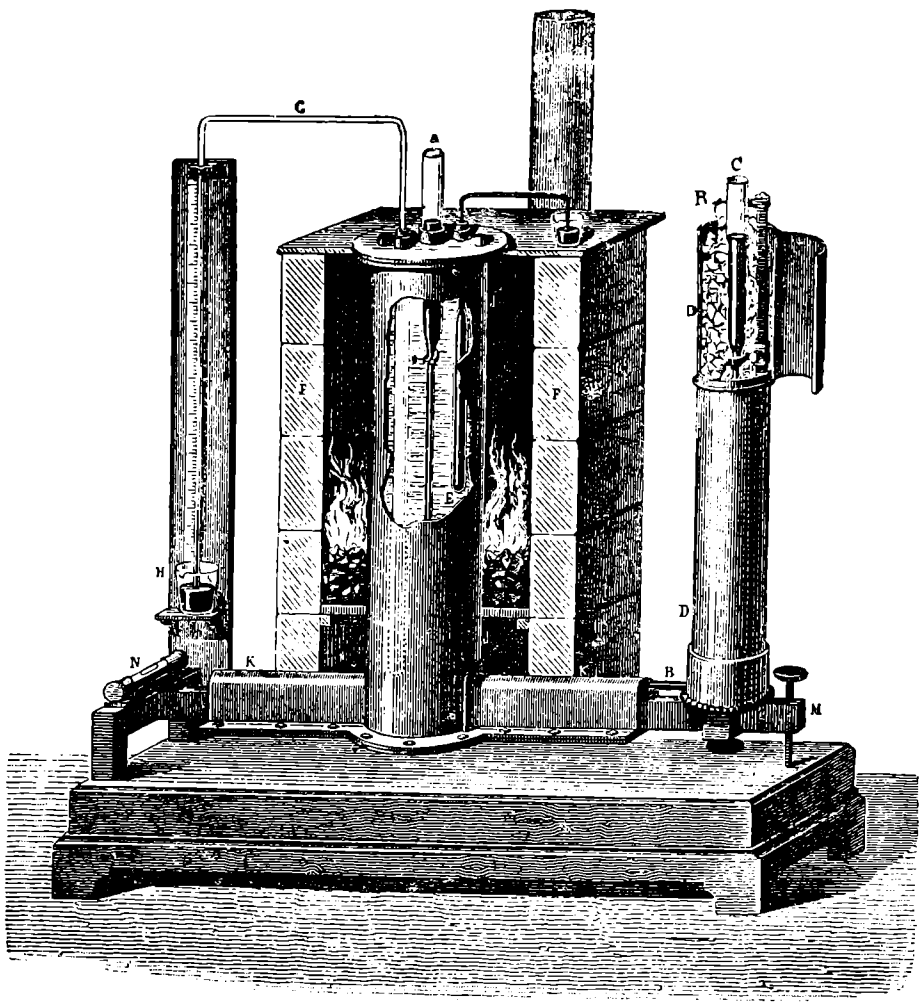


Fig. 351
Aparato de Dulong y Petit

520.—Los *resultados* obtenidos fueron: que la dilatación es *constante* para el mercurio, *desde 0° á 100°*, pero más adelante ya no existe la proporcionalidad entre la dilatación y el aumento de temperatura. La dilatación es *mayor*.

Entre 0° y 100°, el *coeficiente de dilatación del mercurio es* $\frac{1}{5550}$

Este mismo método puede aplicarse para los otros líquidos, pero presenta algunos inconvenientes, por cuyo motivo, suele aprovecharse el resultado obtenido para el mercurio, para determinar el de otros líquidos.

El método más usado es el del *termómetro á peso* ó el del *dilatómetro* que nosotros no debemos estudiar.

521.—Máximum de densidad del agua.—Además del *mercurio*, el líquido que merece un estudio especial, es el *agua*.

Este líquido no sólo nos interesa porque es un elemento indispensable para la vida orgánica, sino también por los innumerables *usos* á los cuales lo destinamos y por ciertas *propiedades originales*, que presenta.

En general, cuando se somete un líquido á la acción del calor, se nota que el líquido *se dilata* á medida que se aumenta la temperatura y *se contrae* cuando la temperatura disminuye.

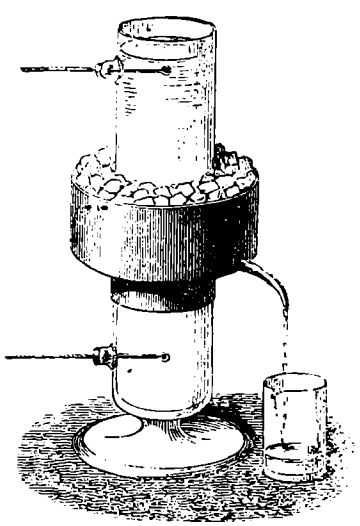


Fig. 352
Máximo de densidad del agua

Con el agua sucede lo mismo hasta la temperatura de 4°, pero si se sigue disminuyendo la temperatura se verá que en vez de contraerse, *el agua* se dilata.

Luego quiere decir, que á esa temperatura es que una masa de agua tiene su *mínimum de volúmen*, luego á la temperatura de 4°, tenemos el *máximum de densidad del agua*.

522.—*Para comprobarlo*, podemos hacer uso del aparato indicado en la figura 352, que como vemos consiste

en un vaso de vidrio con dos aberturas, por las cuales se introducen dos termómetros.

En el medio de la vasija de vidrio se coloca un recipiente anular que rodea á la vasija y que se llena de hielo.

Al empezar la operación se hace la lectura en los termómetros y se notará que acusan *igual temperatura.*

Enseguida el agua que está en contacto con la vasija anular que contiene el hielo, se enfría, se hace más densa y baja, y entónces se nota que el termómetro *inferior* acusa temperaturas cada vez *menores* hasta que llega á 4°.

Desde ese instante el termómetro inferior *marca siempre la misma temperatura* de 4° y la temperatura acusada por el termómetro superior empieza á decrecer, hasta que llega también á la temperatura de 4° *y sigue decreciendo hasta que marca cero grados.*

Esto comprueba perfectamente que la mayor densidad corresponde á 4° de temperatura.

Vemos, pues, que de la temperatura de 4° para abajo el *agua se dilata* y que de la misma temperatura de 4° para arriba, el agua *se dilata también* y según la tabla construída por *Despretz* resulta que la dilatación que experimenta el agua al pasar de 4° á 0° es la misma próximamente que la que experimenta al pasar de 4° á 8°.

CAPÍTULO V

DILATACIÓN DE LOS GASES

523.—Experimento de Gay-Lussac.—En los gases, no se considera tampoco más que la dilatación *cúbica*.

Al principio, los físicos obtenían resultados muy diferentes debido á que no sabían secar los gases, y el mismo *Gay-Lussac* no evitó completamente esta causa de error.

Gay-Lussac empleó un tubo termométrico con ampolla esférica y tubo largo y bien calibrado.

Lo llenó de mercurio bien purificado, y pesando el mercurio contenido en el tubo y el mercurio contenido en la ampolla, halló la relación de los volúmenes de la esfera y cada división del tubo.

Enseguida, llenando perfectamente de mercurio el tubo y ampolla se le adaptaba (*fig. 353*) otro tubo *C* que contiene *cloruro de calcio*.

Todo este conjunto se pone vertical con la esfera hacía arriba y se introduce en el tubo un hilo fino de platino.

Retirando el hilo de platino, el mercurio sale gota á gota y va penetrando el aire, debiendo pasar antes por el cloruro de calcio, donde abandonará su vapor de agua.

Se tiene la precaución de dejar en el tubo un *índice* de mercurio, que es el que servirá para medir la dilatación del aire contenido en la esfera.

Preparado así el aparato, se introduce en una caja de

fundición haciendo que la varilla pase por un tapón *B* que penetra en un agujero *ad-hoc*.

Esta caja está cerrada por una tapa que está dotada de tres agujeros; dos para permitir la salida del vapor de agua y otro para introducir un termómetro *D*.

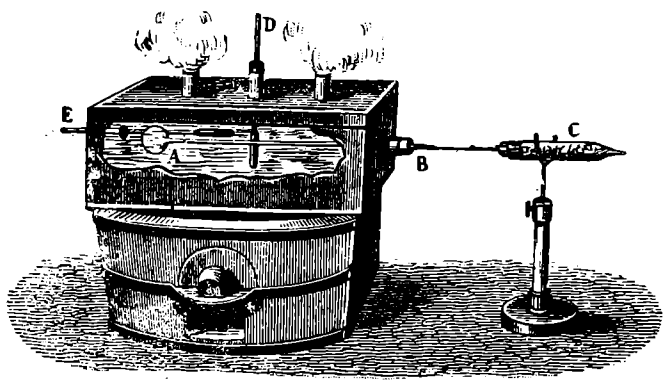


Fig. 353
Aparato de Gay-Lussac

Finalmente, se introduce un segundo termómetro *E*.

Hecho esto, se coloca hielo machacado y entónces se verá que el índice de mercurio se introduce más, hasta que cuando el aire interior esté á temperatura de 0º queda estacionario.

Se anota la división y la presión atmosférica, con lo cual se tiene el volúmen *V* del aire contenido en el tubo, á la temperatura de 0º.

Se retira el hielo, se vierte agua en la caja y se pone sobre un hogar.

Elevándose la temperatura, el aire interior se calienta y se dilata, hasta que cuando se quiere, se cierran los hornillos, el termómetro queda estacionario y se anota la nueva posición del índice de mercurio y también la presión atmosférica.

Con esto se tiene el nuevo volúmen V' que ha tomado el aire, á la temperatura de t^o.

Luego:

$$V' - V$$

representará *la dilatación* experimentada por el aire al pasar de 0^o á t^o.

Si la presión ha permanecido constante y el volúmen V es la unidad de volúmen:

$$\alpha = \frac{V' - V}{t^o}$$

representará el *coeficiente de dilatación* del aire ó gas contenido en el tubo de vidrio, al que suele llamársele *termómetro ó aire.*

Es necesario también tener en cuenta la dilatación del vidrio.

524.—De una manera análoga al raciocinio empleado con los líquidos deduciremos el coeficiente de dilatación de los gases por la fórmula

$$V_t = V_o\ (1 + \gamma t)$$

525.—Resultados generales.—*Gay-Lussac*, con sus experimentos, llegó á las siguientes *leyes:*

1ª *Todos los gases se dilatan igualmente.*

2ª *Su dilatación es independiente de la presión.*

3ª *Esta dilatación común á todos los gases está representada por el número 0,00375 entre 0º y 100.*

Los estudios posteriores de *Dulong* y *Petit*, de *Regnault*, *Pouillet*, *Rudberg*, etc., demostraron la *no exactitud* de estas leyes, pues se comprobó:

1º Que la primera ley *no es exacta*, pues los gases se dilatan *desigualmente.*

2º Que la segunda ley *tampoco es exacta*, pues la *presión influye* sobre el coeficiente de dilatación y que las diferencias eran tanto más notables, cuanto más fácil de liquefacerse es el gas.

3º Que el coeficiente de dilación del aire era:

0,00366

4º Es probable que la rarefacción del gas y la elevación de temperatura, tiendan á acercar un gas cualquiera á un *estado particular*, donde seguiría *rigurosamente* las leyes de *Mariotte* y las de *Gay-Lussac.*

526.—Gas perfecto.—Este gas, al cual podríamos aplicar con toda precisión las leyes de *Mariotte* y *Gay-Lussac*, sería el *gas perfecto*, en cuyo caso el coeficiente de dilatación es constante, cualquiera que sea la presión, luego el coeficiente de dilación sería:

$$\alpha = 0{,}0036 = \frac{1}{273}$$

527.—Cero Absoluto.—El cero absoluto sería aquel en que los cuerpos ya no tuvieran calor y que por consiguiente, hubiera cesado todo movimiento vibratorio de las moléculas, es decir que el *gas no tiene fuerza elástica.*

En ese caso, si suponemos que un gas está á esa temperatura sin liquefacerse y sujeto á la ley de *Mariotte*, se demuestra que la temperatura t sería:

$$t = -\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{\frac{1}{273}}$$

ó bien:

$$t = -273^{\circ}$$

Es decir, que el *cero absoluto,* está 273º centígrados más bajo, que el 0º ó punto de fusión del hielo.

528.—Temperatura absoluta.—La temperatura absoluta es aquella que se cuenta á partir de este cero absoluto.

Si llamamos t á la temperatura de un cuerpo, y T á su temperatura absoluta, se tendrá siempre:

$$T = t + 273^{\circ}$$

Así, si una vasija con agua, está á la temperatura de 27° centígrados, su temperatura absoluta sería:

$$T = 27^{o} + 273^{o} = 300^{o}$$

Suele emplearse en los estudios físicos, la temperatura absoluta, porque facilita los cálculos.

CAPÍTULO VI

DENSIDAD DE LOS GASES

529 —Método de determinación.—La densidad de un gas es la *relación ó cociente que existe entre el peso de un determinado volumen de gas y el peso de un volumen igual de aire, tomados esos dos cuerpos á la temperatura de 0° y á la presión normal de 0^{m},760 de mercurio.*

De modo, pues, que el cuerpo que se toma como comparación es el *aire* en vez del *agua* que se empleaba para determinar la densidad de los *sólidos* y *líquidos*.

Entonces las precauciones que se deben tomar para la determinación de la densidad de un gas son:

1° que la temperatura del gas y el aire sea de 0°.

2° que la presión sea la normal y como eso rara vez sucede, se reduce á ello por medio de artificios especiales.

3° que los dos cuerpos estén perfectamente secos.

4° que se tenga en cuenta el *empuje del aire* sobre los cuerpos que se pesan.

Cuando se trataba de determinar la densidad de los cuerpos sólidos y líquidos, esta ultima condición poca influencia tenía, pero tratándose de los gases tiene mucha importancia debido á que el cuerpo que se pesa tiene poco peso con un gran volumen.

Hay varios métodos para determinar la densidad de

los gases, pero el más sencillo y el más práctico es el de *Regnault.*

El aparato adoptado consiste en una balanza (*fig. 354*), debajo de cuyos platillos se colocan dos esferas de vidrio, fundidas en un mismo establecimiento y el mismo día, con el objeto de que el vidrio que los forma sea igualmente *higroscópico.*

Todo esto está encerrado en una caja con cristales, dentro de la cual, como se ve en la figura, se pone una vasija con *cloruro de calcio*, para secar el ambiente.

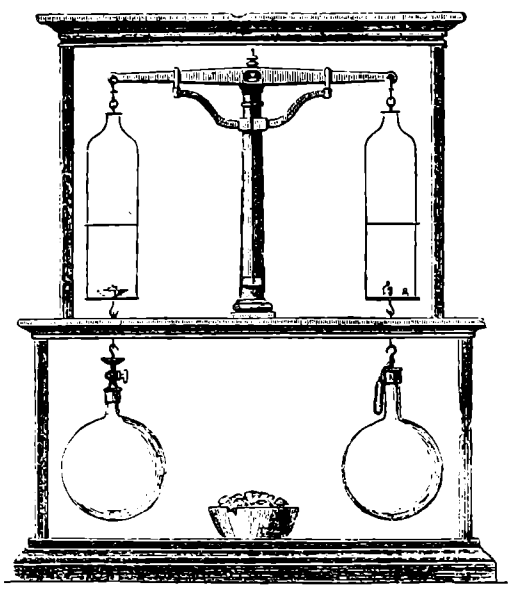


Fig 354
Aparato de Regnault

530.—*Sólo uno* de estos dos globos de vidrio es el que se va á utilizar, pues el otro, sólo servirá para que los dos platillos de la balanza reciban el *mismo empuje* de abajo hacia arriba.

Por eso se le suele llamar el método de los *globos compensadores.*

Es necesario, pues, que los dos globos *tengan el mismo volumen exterior*, para obtener lo cual, se introducen ambos en un recipiente con *agua* y se mide el empuje que reciben.

Si el empuje es igual en ambos, es porque el volumen exterior de los globos también es igual.

Si el empuje no es igual, se le agrega exteriormente al globo que recibió el menor empuje, un tubito de vidrio como se ve en el globo de la derecha, con lo cual se aumenta el volumen exterior, y repitiendo varias veces

la operación, se tendrá un mismo volumen *exterior* de los dos globos.

531. Una vez conseguido esto se toma el globo de la izquierda y se introduce en una vasija con hielo machacado, muniéndolo de un tubo *A* con una llave á tres vias. Una que comunica con el interior del globo; otra, que por medio de un caño de goma *D* comunica con la máquina neumática y otra que comunica con varios tubos *M* y *N*, que contienen piedra pómez empapada en ácido sulfúrico.

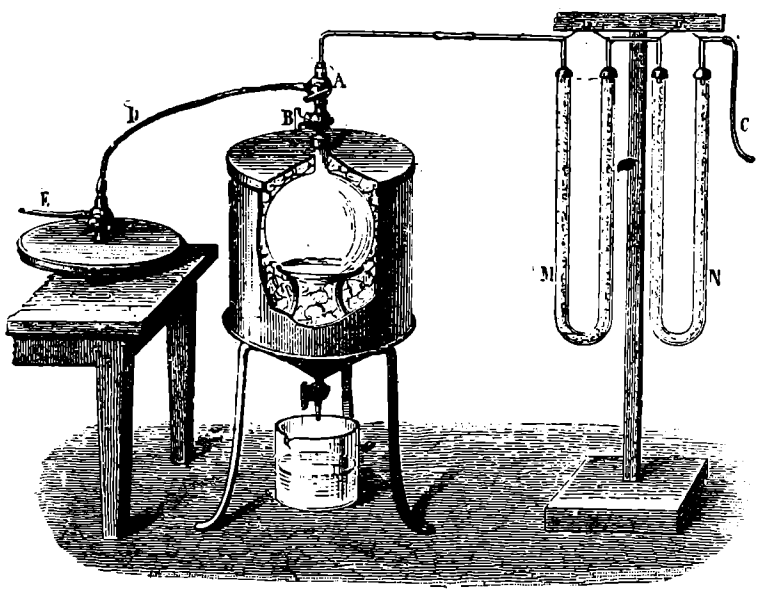


Fig. 355
Aparato de Regnault

Pongamos el globo en comunicación con la máquina neumática y hágase *el vacío*.—Pésese el globo.

Enseguida cerremos la comunicación con la máquina y permítase que el *gas* entre por *C* y llene el globo, después de haber pasado por los tubos *M* y *N*.

Repítase varias veces esta operación, hasta que el globo esté lleno de *gas*, perfectamente seco.

Déjese así el globo rodeado de hielo, hasta que el gas que está en el globo haya tomado la temperatura de 0°, lo que se conseguirá al cabo de algunas horas.

Llévese el globo á la balanza, el equilibrio quedará roto, y la diferencia entre esta pesada y la primera, nos daría el *peso P del gas* contenido en el globo.

Repítase esta misma operación con el aire y determinese el *peso P' del aire* contenido en ese mismo globo, luego:

$$d = \frac{P}{P'}$$

nos dará la densidad del gas.

Cuando se procede con toda escrupulosidad, se determina la presión atmosférica H y H', en el momento que entra el gas y el aire en el globo y las presiones h y h' que acusa la tensión de los gases contenidos en el globo cuando se pretendió hacer el vacio.

En esos casos, la fórmula que nos da la densidad, será:

$$d = \frac{P}{P'} \times \frac{H' - h'}{H - h}$$

Las presiones H y H' están dadas por el barómetro y las presiones h y h', están dadas por el manómetro que se pone en comunicación con el tubo E.

532.—Resultados generales.—Los resultados obtenidos, fueron los que indicamos en la siguiente tabla:

Tabla de las densidades de algunos gases, referidos al aire

GASES	DENSIDAD	GASES	DENSIDAD
Aire	1.00000	Acido sulfuroso	2.19300
Oxigeno	1.10563	Cloro	2.42160
Acido sulfídrico	1.19120	Acido yodídrico	4.44300
Acido clorídrico	1.24740	Azoe	0.97137
Acido carbónico	1.52901	Oxido de carbono	0.95690
Protóxido de ázoe	1.57690	Gas amoniaco	0.59669
Cianógeno	1.80640	Hidrógeno	0.06926

Se encontró también que un *decímetro cúbico* de aire pesa:

$$1^{gr.},293$$

533.—Densidad de los gases con respecto al agua.—Conociendo el peso de un litro de agua, nos es fácil referir al agua, la densidad de los gases.

Efectivamente, sabiendo que el peso específico del aire con respecto al agua es la relación entre el peso de un litro de aire á 0° y á la presión de 760 milímetros, y el peso de un litro de agua destilada á 4° de temperatura, resulta que la densidad del aire con respecto al agua será:

$$d = \frac{1^{gr.},293}{1000^{gr.}} = 0{,}001293$$

Luego, si tenemos la densidad de un gas con respecto al aire y queremos determinar la densidad de ese gas con respecto al agua, *nos bastará multiplicar la densidad dada por el número* 0,001293.

Así, la densidad del hidrógeno con respecto al agua será:

$$d = 0{,}06926 \times 0{,}001293 = 0{,}00008955$$

luego, *un litro* de hidrógeno á 0° y á la presión de 760 milímetros pesará $0^{gr.},08955$.

CAPÍTULO VII

CAMBIO DE ESTADO DE LOS CUERPOS

534.—Generalidades.— Al hablar, en la primera parte de estos *Apuntes*, de los *Estados* de los cuerpos, digimos que entre las moléculas de los cuerpos obraban dos fuerzas, la de *cohesión* que tiende á impedir la separación de las moléculas y la *fuerza repulsiva* que tiende á separarlas.

Dijimos también, que según predominara una ú otra fuerza, teníamos los tres estados generales de los cuerpos, *sólido*, *líquido* y *gaseoso*.

Agregamos, finalmente, que el *calor* aumentaba la fuerza repulsiva y que el *enfriamiento* ó disminución del calor aumentaba la de cohesión.

535.— Eso es lo que se observa, pues si tomamos un trozo de hielo y lo sometemos á la acción del calor, se transformará en líquido, *agua*, y si el calor sigue actuando, se convertirá en *gas*.

Si efectuamos la operación inversa, es decir, si enfriamos el vapor, se convertirá en líquido y si se sigue el enfriamiento se *solidificará*, es decir, pasará al estado sólido.

- El paso del estado sólido á líquido toma el nombre de *fusión*.

—El paso de líquido á vapor se llama *vaporización*.

—El paso de vapor á líquido se llama *condensación* ó *liquefacción*, según se trate de vapores ó gases.

—Finalmente, el paso del estado líquido al de sólido, se llama *solidificación*.

536.—Fusión.—Se llama *fusión* el paso del estado sólido de un cuerpo, al estado líquido, *por medio del calor*.

Cuando se calienta un cuerpo, empieza por *dilatarse*, enseguida se pone *pastoso* que es un estado *intermedio* entre el estado sólido y el líquido, y finalmente se convierte en líquido.

La temperatura á la cual los sólidos se convierten en líquidos, varía entre grandes límites, así, el *mercurio* se funde á -40^0 y el platino se funde á 2,000°. A esta temperatura se le da el nombre de *punto de fusión*.

Antes se llamaban cuerpos *refractarios*, aquellos cuerpos que no podían fundirse, pero estos cuerpos han ido cada día disminuyendo, hasta que hoy día, la física no acepta que haya ningún cuerpo infusible.

Moissón con sus hornos eléctricos ha llegado á obtener 3,500° de temperatura.

537.—Sin embargo, hay ciertas substancias que son *infusibles*, pero eso es debido á que se *descomponen* antes de llegar á su punto de fusión.

Entre estos cuerpos está el *mármol* ó *carbonato de cal*, el cual puede llegar á fundirse siempre que esté en una vasija cerrada de paredes muy resistentes.

Damos á continuación el punto de fusión de algunos cuerpos:

Mercurio solidificado	—40	Bismuto	264°
Hielo	0°	Plomo	326°
Manteca	32°	Zinc	410°
Sebo	33°	Antimonio	432°
Fósforo	44°	Bronce	900°
Estearina	55°	Plata pura	1000°
Cera vírgen	61°	Oro puro	1050°
Cera blanca	69°	Fundición	1100°
Acido esteárico	70°	Cobre	1150°
Azufre	111°	Acero	1350°
Alcanfor	175°	Hierro dulce	1500°
Estaño	228°	Platino	2000°

Veremos más adelante, que el paso del estado sólido al líquido, no sólo se efectúa por intermedio del calor, sino también por la mutua afinidad entre un sólido y un líquido, lo que constituye la *disolución*.

538.—Leyes de la fusión.—Las leyes á las que está sujeta la fusión son las siguientes:

1.ª *Para un mismo cuerpo, la fusión tiene lugar siempre, á la misma temperatura.*

2.ª *Desde que empieza hasta que termina la fusión, la temperatura se conserva constante.*

La primera ley, no necesita explicarse, pero sí, la segunda.

Si tomamos un pedazo de cera vírgen y lo sometemos á la acción del calor, veremos que la cera va aumentando de temperatura hasta llegar á 61°, en cuyo momento empieza la fusión, y esa temperatura quedará constante, hasta que se haya fundido *toda* la cera.

Después que se ha fundido todo el cuerpo, empezará nuevamente á elevarse la temperatura.

—¿A qué es debida esa constancia de temperatura mientras dura la fusión?

Es debido á que, el calor que se sigue aplicando es empleado en efectuar un *trabajo mecánico*, que es la desagregación ó separación de las moléculas.

Este calor, como ya hemos dicho, varía con la substancia, pero la cantidad de calor es proporcional á la masa del cuerpo.

Este calor, necesario para fundir la unidad de masa de un cuerpo, es lo que se llama *calor de fusión*.

—Para poner de manifiesto ese calor de fusión, podemos hacer el siguiente experimento:

Mezclemos un litro *de agua á 0°* y un litro de agua á 70° y *la temperatura de la mezcla será*, como es lógico, la *temperatura media*, es decir, 39°,50.

Mezclemos otra vez, un litro de *hielo machacado que*

está á 0° con otro litro de agua á 79°. La temperatura de la mezcla después de fundirse el hielo *será* 0°.

539.—Se ha comprobado que el punto de fusión de un cuerpo, *aumenta con la presión*, lo cual era necesario esperarlo, pues la compresión tiende á aumentar la cohesión. Cuando se funden los sólidos, generalmente *aumentan de volumen*, es decir, disminuyen su densidad, pero hay cuerpos que hacen excepción como el *hielo*, el *bismuto*, etc.

540.—**Aplicaciones.**—Estos puntos de fusión se han aplicado á la fabricación de *aleaciones fusibles* á diferentes temperaturas, las cuales pueden variar con la proporción con que entran los mismos cuerpos.

Así 1 parte de *estaño* y 1 de *plomo* funde á 250° mientras que 1,50 de *estaño* y 1 de *plomo* funde á 169°.

La aleación de *Wood* compuesta de 1 de *cadmium*, 7 de *bismuto*, 2 de *estaño* y 4 de *plomo*, funde entre 66° y 70°.

La aleación de *Rose*, conteniendo 2 de *bismuto*, 1 de *plomo* y 1 de *estaño*, funde á 94°.

Estas aleaciones suelen emplearse para válvulas de seguridad.

541.—**Disolución.**—Además del calor, puede usarse para la *fusión* de los sólidos de la afinidad mutua que existe entre un sólido y ciertos líquidos.

Así, pues, la *disolución* es un verdadero fenómeno de *fusión*.

El *azúcar* se disuelve en el agua; el *fósforo* en el sulfuro de carbono, pero no en el agua; el *alcanfor* en el alcohol.

Al producirse la fusión, se efectua un *trabajo*, lo cual se obtiene á costa de una cierta cantidad de *calor*, pero como al producir la disolución no hemos *aplicado calor*, resultará que este calor tendrá que consumirse de

algún cuerpo, luego el líquido y el sólido que se disuelven *perderán* calor, es decir, que bajarán su temperatura.

Es lo que se verifica experimentalmente, pues disolviendo azúcar en el agua, *se baja la temperatura del agua azucarada.*

542.—Algunas veces, el fenómeno de disolución, en vez de producir *enfriamiento* produce *aumento* de temperatura, lo cual es debido á que además del fenómeno de disolución, se tiene un *fenómeno químico*, el que desarrolla calor.

Esa es la causa por la cual, *no siempre* que se disuelve un cuerpo, hay enfriamiento.

Cuando el calor desarrollado en la reacción química *es mayor* que el enfriamiento producido por la disolución, entonces se tendrá un *aumento* de temperatura, y al contrario cuando el calor desarrollado es menor, se tendrá un *enfriamiento.*

Para comprobarlo tomemos *4 partes de ácido sulfúrico* y mezclémoslo con *1 parte de hielo.*

Al producirse la fusión del hielo, debe verificarse una disminución de temperatura, pero al verificarse *la combinación* del agua con el ácido sulfúrico, la temperatura *sube hasta cerca* de 100°.

En cambio, si tomamos **1** *parte de ácido sulfúrico* y **1** *partes de hielo* la temperatura *baja* hasta —20°.

En este caso el enfriamiento producido por la disolución, ha sido mayor que la elevación de temperatura producida por la reacción química.

543.—Mezclas frigoríficas—Se aprovecha la *disminución* de la temperatura que se produce en el fenómeno de la disolución para obtener *bajas temperaturas artificiales*, utilizadas para la fabricación de hielo, helados, liquefacción de vapores y gases, etc.

Así, si mezclamos partes iguales de hielo machacado y sal común, rebajaremos la temperatura á —17°.

Mezclas frigoríficas

SUSTANCIAS	PARTES EN PESO	REBAJÓ LA TEMPERATURA DE
Nitrato de amoniaco	0.75	44°
Agua	1	
Hielo machacado	2	29°
Sal común	1	
Sulfato de soda	1.6	27°
Acido clorídrico	1	
Cloruro de calcio	1.33	61°
Hielo machacado	1	

544.—Solidificación y sus leyes.—Cuando se funde un cuerpo sólido *se le da calor.*

Análogamente, para *solidificar un líquido* debemos *quitarle calor.*

Si no todos los líquidos han podido solidificarse por medio del enfriamiento, es debido á los medios deficientes que aun tenemos para producir las bajas temperaturas.

Cuando *se funde* un cuerpo sólido, el calor se convierte en *trabajo,* destinado á separar las moléculas. La fuerza repulsiva ayudada por el calor vence á la cohesión.

Recíprocamente, cuando se *solidifica* un líquido, el enfriamiento hace disminuir la fuerza repulsiva, la *cohesión vence* y el cuerpo se solidifica.

545.—Las leyes que rigen la solidificación son análogas á las de fusión.

1.ª Bajo una determinada presión, el punto de solidificación es fijo; es el mismo que el punto de fusión.

2.ª Desde que empieza hasta que termina la solidificación, la temperatura de un cuerpo queda invariable.

Estas dos leyes, son una consecuencia de la ley de conservación de la energía.

546.—Cristalización —Cuando los cuerpos pasan *lentamente* del estado líquido al estado sólido, afectan formas geométricas de tetraedros, cubos, prismas, etc., como el *azufre* y el *bismuto* fundidos, ó el *alumbre* disuelto.

Cuando los líquidos que se cristalizan son *fundidos* como el azufre, se dice que la *cristalización* se ha hecho por *vía seca;* cuando los líquidos son *disoluciones*, como en el caso del *alumbre*, se dice que la cristalización se ha hecho por *vía húmeda*.

Finalmente, la cristalización puede efectuarse también por *volatilización* ó *sublimación* que es cuando como el *arsénico*, un cuerpo pasa directamente del estado *gaseoso al sólido*.

Cuando el paso del estado líquido al sólido se hace *bruscamente*, el sólido no afecta ninguna forma geométrica y entonces toma el nombre de *amorfo*.

547.—Formación del hielo.—Sabemos que el agua se solidifica á 0°, pero esto es en el caso de que se trate de agua destilada y á la presión normal.

Veamos lo que pasa en un lago que se *hiela*.

Observaremos, primeramente, que en la superficie del agua se forma una infinidad de agujas de hielo que se entrecruzan en todas direcciones. Todo esto se hace lentamente, porque á medida que una parte del líquido se solidifica, pierde una parte de su calor que pasa á la masa líquida y *retarda* la solidificación.

Al lado de las primeras agujas, se forman otras y otras, hasta que toda la superficie se congela.

—Si se toma un trozo de hielo prismático, nos parecerá que todas sus moléculas están perfectamente unidas y que *no hay* cristalización. Sin embargo, si á través de ese prisma de hielo hacemos pasar un haz de

rayos solares, y hacemos, que se proyecte sobre una pantalla, veremos que el hielo está formado de hermosísimos cristales, como se ven en la figura siguiente:

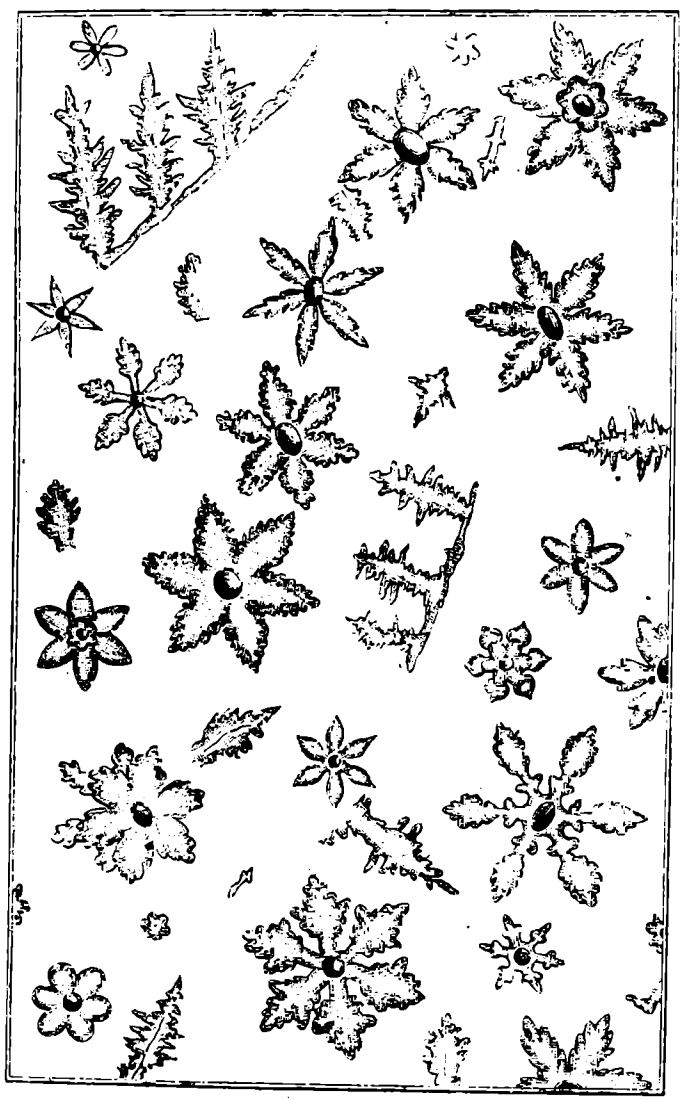


Fig. 356
Flores de hielo

548.—Fuerza expansiva del hielo.—El agua al solidificarse *aumenta de volumen* y desarrolla una fuerza considerable.

Huyghens puso de manifiesto este enorme esfuerzo

llenando de agua el caño de una pistola que cerró perfectamente. Introdujo ese caño en una mezcla frigorífica y cuando el agua se congeló desarrolló tal esfuerzo que la pistola se rajó.

El mayor *William* también demostró la fuerza expansiva en Quebec, usando al efecto, una bomba que llenó de agua y que sujetó á un frío intenso.

Al efectuarse la congelación, el tapón de hierro fué proyectado á una distancia de 100 metros.

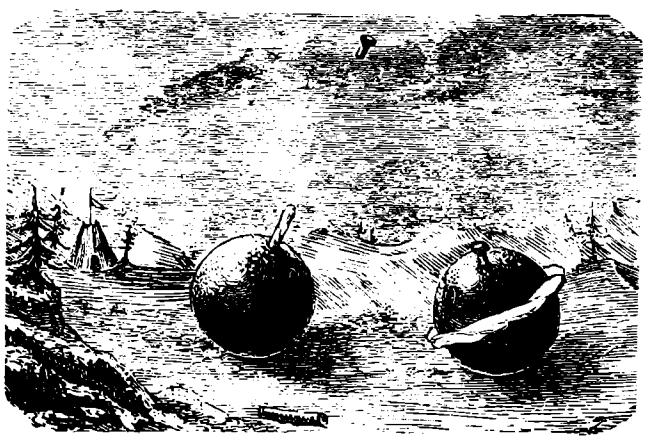


Fig. 357
Fuerza expansiva del hielo

En un segundo experimento, el tapón resistió pero *la bomba reventó* y una lámina de hielo se formó alrededor de le rajadura, representando este hielo el líquido que no había podido ser contenido en la bomba al aumentar de volumen por la congelación.

La figura 357 nos da una idea de los dos experimentos hechos por el mayor de artillería *Eduardo William.*

549. Se ha querido explicar este *aumento de volumen* que experimenta el agua al solidificarse, por la *distribución especial* que toman las moléculas debido á la *cristalización.*

550.—Aplicaciones.—Esta fuerza expansiva nos explica algunos fenómenos naturales.

Así, los árboles, suelen estallar ó quebrarse con estrépito cuando hay fríos muy intensos, debido á la congelación de la savia.

—Una gran cantidad de nuestros productos agrícolas se malogran debido á las heladas extemporáneas, como

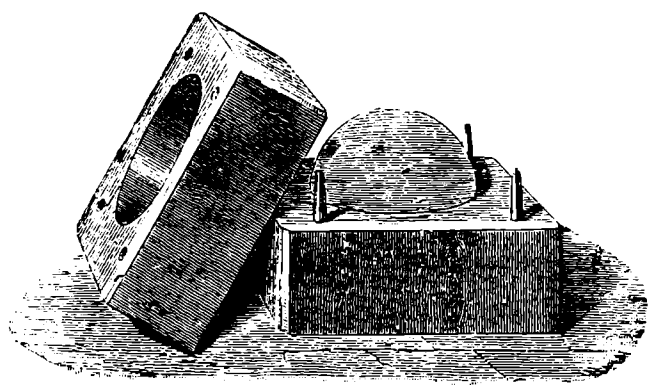


Fig. 358
Regelación

son el trigo, lino, maíz, papas, tomates, ajíes, etc., pues, al helarse la savia, se rompen los tubos capilares que la conducen y desorganizan las plantas, produciendo la muerte.

—Los caños de agua corriente suelen estallar al congelarse el agua.

—En terrenos húmedos, el suelo se hincha al helarse levantando á veces edificios enteros.

—Las rocas de las motañas suelen desprenderse, debido á que habiéndose formado en ellas una grieta, al helarse el agua contenida en ella, hace efecto de cuña y la separa del resto de la roca.

551.—Regelación.—La *regelación* ó el *rehielo*, es un fenómeno por el cual se explica, por que tomando una cantidad de hielo machacado y *comprimiéndolo*, se obtiene un trozo de hielo compacto.

Tyndall, tomaba una cantidad de hielo machacado y lo ponía en un molde *(fig. 358)* de madera.

Después de comprimirlo obtenía un lente trasparente de hielo que no sólo concentraba los rayos luminosos, sinó también los caloríficos, pues por medio de él, era posible, utilizando el calor solar, prender fuego á una cantidad de virutas secas.

552.—Este fenómeno se explica, teniendo presente que al comprimir el molde, los trozos de hielo que están en contacto se comprimen unos á otros, luego allí en esos puntos de contacto, se desarrolla calor, el hielo se funde y el agua que resulta de esta fusión llena los vacíos que hay entre trozo y trozo y como esa agua está sustraída *á la presión*, se congela y suelda entre sí los diferentes trozos.

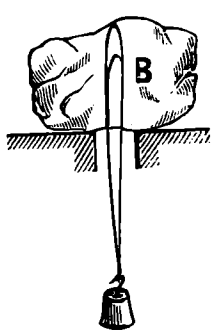


Fig. 359
Experimento de James Thomson

—Las bolas de nieve que hacen los niños en los países que nieva, se convierten en bolas compactas debido á este fenómeno de regelación.

553. – Experimentos de James Thomson. – Un hermoso experimento hecho por *J. Thomson*, aplicando la regelación consiste en tomar un gran trozo de hielo *(fig. 359)* y sobre él apoyar un alambre fino, en cuyos extremos hay un peso.

El alambre al hacer presión sobre el hielo lo funde y penetra en la masa del pan de hielo, pero el agua de fusión vuelve á llenar la ranura dejada por el alambre hasta que habiendo atravesado el alambre toda la masa de hielo, cae al suelo con el peso y el pan *no se ha dividido;* ha quedado siempre unido.

El plano según el cual ha sido cortado por el alambre, sólo se distingue gracias á la reflexión de una luz en esa superficie de la sección.

554.—Otro ejemplo de regelación tenemos en el hecho de poder *soldar* dos trozos de hielo frotándolos uno contra otro.

Este experimento también tiene éxito, frotando los dos trozos de hielo en el agua caliente.

555.—Cambio de volumen en los cambios de estado.—*En general*, los cuerpos *se dilatan* al pasar del estado sólido al líquido, pero algunos cuerpos hacen excepción, como el *agua*, el *bismuto*, el *antimonio*, la *fundición del hierro*, etc.

En cambio, estos cuerpos que se *contraen* al pasar del estado sólido al líquido, se *dilatan* al pasar del estado líquido al sólido.

—Para la fundición de moldes, los primeros cuerpos son los más convenientes, pues dilatándose al solidificarse, llenan perfectamente todas las cavidades del molde y reproducen exactamente los detalles.

556.—Sobre-fusión.—Es el fenómeno en virtud del cual ciertos cuerpos y en condiciones determinadas, *pueden conservarse líquidos*, á una temperatura *más baja* que su punto de solidificación.

Se observó que el agua contenida en tubos capilares se podía conservar líquida á una temperatura menor que $0°$.

Este mismo fenómeno, puede reproducirse aún con una masa considerable de agua, á cuyo efecto se hacía hervir una cantidad de agua en un globo de vidrio con cuello estrecho que se cierra con la lámpara.

Si en estas condiciones se enfría lentamente el agua, puede llegarse á $-5°$ ó $-6°$ sin que el agua se congele, pero basta un choque ó vibración que se transmita á la vasija, para que la masa líquida se convierta *bruscamente* en sólida.

Si en el interior de esa basija se había colocado previamente un termómetro, este aparato acusaría suce-

sivamente las temperaturas —4°, — 5°, — 6°, pero en cuanto la masa líquida se convierte en sólido, el termómetro *sube* y acusa la temperatura de *0°*.

Como dijimos, este fenómeno no es sólo exclusivo del agua.

Otros cuerpos, como *el azufre*, *el fósforo*, *la naftalina*, etc., gozan de esa propiedad, y para obtener su *inmediata solidificación*, podemos, como antes, hacer sufrir á la vasija que contiene el líquido, un choque ó una vibración ó también, introduciendo en el líquido una partícula pequeña del mismo cuerpo sólido.

Gernez comprobó que el sólido que hace cesar la *sobre fusión*, debe ser el *mismo cuerpo* y en un estado físico idéntico.

Así, el fósforo ordinario *no pasa al estado sólido* cuando se introduce una partícula de *fósforo rojo*, pero, *cosa notable*, se solidifica *inmediatamente*, cuando se introduce en el líquido una varilla de vidrio ó platino, *que previamente ha tocado una varilla de fósforo ordinario.*

557.—Sobre-saturación.—Ya hemos visto, que además del calor, podíamos utilizar la afinidad entre sólidos y líquidos para obtener la fusión de algunos sólidos.

La cantidad de materia sólida que un líquido puede disolver, varía con la temperatura, con la naturaleza del sólido y la natulareza del líquido.

Cuando un líquido ha disuelto á una determinada temperatura todo lo que él puede disolver de un cuerpo sólido, se dice que ese líquido está *saturado*.

Si se deja en seguida *bajar* la temperatura, se observa que parte de la substancia disuelta vuelve á pasar al estado sólido y éste es uno de los procedimientos más usuales para obtener la *cristalización* de las sales por *via húmeda*.

Pero muchas veces, aún bajando la temperatura, la solidificación no se verifica. En ese caso el líquido está *sobre-saturado*.

Es un fenómeno análogo al de la *sobre-fusión.*

En los gabinetes suele ponerse de manifiesto la sobre-saturación, usando una disolución de *acetato de soda*, saturado á alta temperatura.

Si se deja enfriar lentamente en un globo, no se verifica la solidificación, pero, si deja caer dentro de la disolución un cristal de acetato de soda sólido, la solidificación se hace inmediatamente.

558.—En el momento de la solidificación, el *calor absorvido* durante la fusión ó disolución, *se desprende*, y eso se puede poner de manifiesto con el siguiente precioso experimento.

Se toma un tubo de ensayo que contenga una disolución sobre-saturada de *hiposulfito de soda*, en cuyo interior se ha sumergido un tubo termométrico lleno de éter y que está terminado por una punta afilada.

Conviene depositar sobre la disolución una capa de aceite, para defenderlo del contacto del aire.

Si se deja caer en el tubo un cristal de hiposulfito de soda, la solidificación se produce instantáneamente y es tal el *calor desprendido*, que el éter entra en ebullición y es posible encender el chorro de vapor de éter que se desprende por la punta afilada.

559.—Experimento de Mousson.—El experimento de *Mousson* sirve para comprobarnos que la presión retarda el momento de solidificación.

Para probarlo, se toma un tubo hueco de fundición *A (figura 360)* en el cual por un extremo, puede enchufarse un pistón *D* con vástago á tornillo.

Se vierte agua en el tubo y se introduce un cilindro metálico *B*, colocando el aparato enseguida en una mezcla frigorífica, que producirá la solidificación del agua. Luego, la esfera quedará en el fondo del vaso.

A continuación, ciérrese la extremidad de ese tubo, por medio de un sombrerete metálico *C* que también

ajusta á tornillo, é *inviértase* el aparato como se ve en la figura. Por consiguiente, el cilindro metálico, debe haber quedado en el mismo punto.

Enseguida introduzcamos el pistón *D*, con lo cual se desarrollará una *presión* tan enorme, que *Mousson* calculó en 13.000 atmósferas.

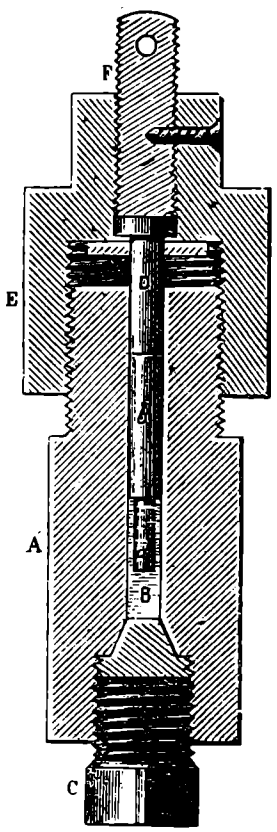


Fig. 360
Experimento de Mousson

Finalmente, se saca el pistón y se encuentra que el agua está siempre congelada, pero el cilindro metálico ya no está en *B* sino en contacto con el pistón ó sombrerete *C*, lo cual prueba que por efecto de la presión, el hielo se ha licuado y, por consiguiente, el cilindro ha pasado á través del *líquido* y se ha ido al fondo.

560. — Aplicaciones. — Ya indicamos algunas aplicaciones del estudio que acabamos de hacer del cambio de estado de los cuerpos.

Ahora indicaremos algunas otras que consideramos interesantes.

—Cuando se producen grandes fríos, se siente menos frío en las orillas de los lagos y ríos, que en el interior, pues en el río ó lago *no puede bajar la temperatura á menos de 0°*, mientras que en el interior, sí.

—Si envolvemos una planta ó una substancia orgánica con un paño húmedo, esta planta no se hiela, hasta tanto que toda el agua contenida en el paño ó lienzo se haya solidificado.

Por la misma razón, los chacareros y quinteros rie-

gan de noche las plantas que pueden sufrir con la helada.

—En *San Petersburgo* en el invierno del año 1740, se construyó con el hielo del *Neva* un palacio de 16 metros de largo, en cuyo interior se dieron fiestas, sin que las paredes se fundieran.

—Se fabricaron también, seis cañones con sus ajustes, con los cuales se lanzaron balas de hierro sin que las paredes estallaran.

Las paredes de los cañones eran de 10 *centímetros* de espesor.

—En Siberia se construyen cristales para puertas y ventanas, con láminas de hielo.

CAPÍTULO VIII

VAPORIZACIÓN

561.—Vapores.—El calor no sólo transforma los sólidos en líquidos, sino también convierte los líquidos en gases ó fluídos aeriformes.

El resultado del paso del estado líquido al gaseoso toma el nombre de *vapor* y este fenómeno toma el nombre de *vaporización*.

Cuando el paso del estado líquido á vapor se hace por la superficie libre del líquido, se le llama *evaporación* y cuando el cambio se hace *rápidamente*, en el seno de la masa líquida, se le llama *ebullición*.

—El paso inverso, del estado de vapor al estado líquido, toma el nombre de *condensación*.

562.—Hay muchos líquidos que á la temperatura normal, pasan fácilmente al estado de vapor, como el *éter*, *alcohol*, etc., y estos líquidos se llaman *Volátiles*.

Hay otros cuerpos, como el *mercurio*, el *ácido sulfúrico*, etc., que á la temperatura ordinaria dan pocos vapores.

Otros cuerpos, llamados *fijos*, no dan vapor á ninguna temperatura, como los *aceites grasos*.

—Finalmente, otros cuerpos sólidos, como el *hierro*, *arsénico*, *alcanfor*, *materias olorosas*, etc., dan inmediatamente vapores, sin pasar al estado líquido.

563.—Fuerza elástica de los vapores.—Los vapores, lo

mismo que los gases, tienen una fuerza elástica en virtud de la cual ejercen presiones sobre las paredes de las vasijas que los contienen.

Esta fuerza aumenta ó disminuye, según se aumente ó disminuya la temperatura del vapor.

Para comprobarlo tomemos un tubo encorvado (*fig. 361*), en cuya extremidad más corta se le ha introducido una cierta cantidad de éter.

En la rama más larga, se vierte mercurio y se verá que en la rama larga, el nivel del mercurio llega á *d* y en la rama corta llega á *b*.

El espacio *a b* está ocupado por *vapor* de éter.

Introduzcamos, como se ve en la figura, ese tubo en una vasija que contiene agua caliente, y se notará que el espacio *a b aumenta* y que por consiguiente el mercurio se eleva en la rama larga.

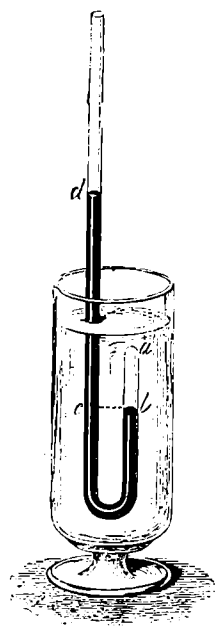


Fig. 361
Fuerza elástica de los vapores

Ese aumento del espacio *a b*, nos prueba que la fuerza elástica del vapor, ha *aumentado* con la temperatura.

Si enseguida se introduce ese tubo en una vasija que contiene agua fría, se verificará el fenómeno contrario.

564.—Vaporización en el vacío.—Tengamos una cubeta *A B* (*fig. 362*), en que hemos introducido varios tubos barométricos como lo indica la figura.

El nivel en los cuatro tubos será el mismo, pues estará midiendo la presión atmosférica.

Dejemos el tubo *C* como barómetro y en el tubo *D* introduzcamos, con una pipeta, *una gota* de agua por el extremo inferior del tubo.

El agua que es menos densa que el mercurio se ele-

vará, hasta que cuando llega á la superficie del mercurio, *desaparecerá instantáneamente*, pero se observará que el nivel del mercurio en el interior del tubo, bajará hasta p', lo cual prueba que el agua se ha convertido instantáneamente en vapor.

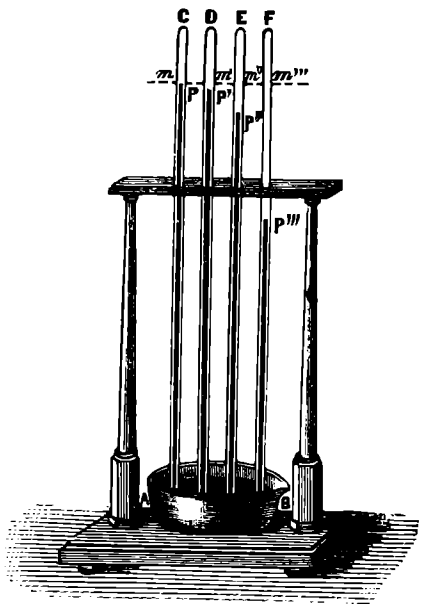


Fig. 362
Vaporización en el vacío

Lo mismo sucederá con cualquier líquido que se introduzca.

565.—Tensión del vapor. —Si en los otros dos tubos E y F, introducimos en el primero una gota de *alcohol* y en el segundo una gota de *éter*, también se verá que el mercurio baja, es decir, que la cámara barométrica aumenta, pero la depresión del mercurio en el tubo E será mayor que en el D y en el tubo F será mayor que todos.

Esto nos prueba que la *tensión* de los tres vapores de *agua*, *alcohol* y *éter*, no es la misma, siendo mayor en el éter y menor en el agua. Luego el vapor de cada líquido tiene una tensión distinta

566.—Vapores saturados.—Si volvemos á introducir en el tubo *D otra gota más* de agua, el agua volverá á convertirse en vapor y *volverá á bajar* la columna de mercurio y así seguiría hasta que llega un momento que por más gotas de líquido que se introduzcan, la columna *no baja*, pero el líquido tampoco se convierte en vapor sino que *se deposita* sobre la superficie del mercurio.

Ya no hay formación de vapor y entonces se dice, que el *vapor está saturado* ó también que ese *espacio* está *saturado.*

567.—Tensión máxima de los vapores.—Cuando se tienen los vapores *saturados,* podemos probar que su tensión no varía con el variar de su volumen, para lo cual nos valdremos del barómetro á cubeta profunda.

Al efecto (*fig. 363*), introduzcamos en el barómetro un líquido cualquiera, por ejemplo, *éter*, hasta que sobre el mercurio haya un *exceso de líquido*, lo cual nos probará que el vapor está saturado.

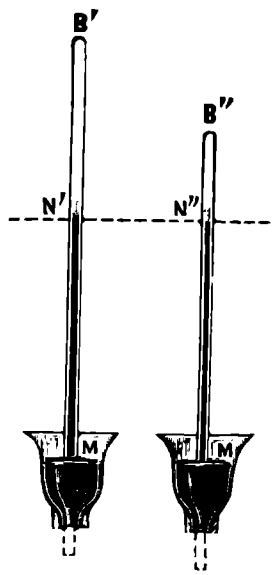


Fig. 363
Tensión máxima de los vapores

Midamos la altura de mercurio *M N'* y la diferencia entre esta altura y 0^{m},76 *nos mide la tensión* del vapor, como hemos visto en el curso anterior.

Elevemos ahora el tubo barométrico: el espacio *N B'* *aumentará* mientras haya *exceso de líquido* en el tubo, *pero la altura M N' permanece constante.*

Bajemos el tubo y el espacio *N'' B''* disminuirá, pero aquí como antes, la altura *M N'' permanece constante.*

Pero esto, *siempre que haya exceso de líquido.*

Cuando *levantamos* el tubo, el líquido disminuye porque se ha convertido el vapor para ocupar el espacio que quedaba libre.

Cuando *bajamos* el tubo, el líquido aumenta, porque se ha condensado, pero *la tensión ha sido siempre la misma*, pues la altura del mercurio *M N'* ó *M N''* han quedado *constantes.*

Esta tensión que permanece *constante* es la *tensión máxima.*

Cada líquido tiene su tensión propia, la que como es natural, varía con la temperatura.

Así, á la temperatura de 20° la tensión máxima del agua es de $17^{mm},39$ de mercurio; la del vapor del alcohol es de $44^{mm},46$ y la del éter es de $432^{mm},78$.

A la temperatura de 0° la tensión del vapor de agua es de $4^{mm},6$ y á la temperatura de 100°, sería de $0^{m},760$.

Para que el éter tenga esta tensión, basta elevarlo á 35°.

—Finalmente, si elevamos más y más el tubo, hasta que todo el líquido haya desaparecido, entonces se verá que *también el mercurio sube*, lo cual prueba que la tensión ha disminuido.

568.—Diferencia entre los vapores saturados y los no saturados.—Hemos visto, pues, que los vapores se nos presentan bajo dos estados distintos, según sean ó no saturados.

Los *saturados*, difieren completamente de los gases, pues ellos pueden ser comprimidos ó dilatados, sin que su *tensión* varíe.

En cambio, los vapores *no saturados* son completamente análogos á los gases, pues están sujetos á la ley de *Mariotte* y á la de *Guy-Lussac*, mientras que los vapores saturados no están sujetos á estas leyes.

569.—Experimento de Tyndall.—Este experimento permite poner de manifiesto la *disminución de la tensión del vapor* por la disminución de la temperatura.

El aparato consiste en una vasija cilíndrica de poca altura, fabricada de hoja de lata.

Se pone en el interior una cantidad de agua que se hace hervir y en ese instante, se tapa con un corcho la pequeña abertura que se había dejado.

Se introduce la vasija en un recipiente con agua fría y al *enfriarse el vapor*, se ve que la vasija cilíndrica se deforma, se aplasta, lo que demuestra que la *tensión*

del vapor ha disminuido, y por consiguiente predomina la presión atmosférica.

570.—Hervidor de Franklin.—Este experimento demuestra que *la tensión aumenta con la temperatura.*

El aparato (*figura 364*), consiste en una esfera *a* de vidrio que está unida á otro tubo *b* por medio de un tubo capilar.

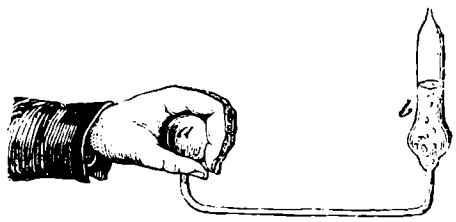


Fig. 364
Hervidor de Franklin

Se vierte agua ó éter en el interior y se hace hervir. Cuando todo el aire interior se ha expulsado y sólo queda *vapor* de agua ó éter, se cierra el extremo del tubo *b;* luego en el interior habrá líquido y sobre él su vapor.

Si tomamos enseguida el aparato como lo indica la figura, el vapor aumentará de temperatura por el calor de la mano y se notará que su tensión aumenta, pues el líquido de la esfera será empujado hacia el tubo *b*.

571.—Principio de Watt ó de la pared fría.—Hemos visto que enfriando un *vapor* se disminuye la tensión, pero no es necesario enfriar toda la masa para obtener este efecto.

Para probarlo, tomemos dos vasijas *A* y *B*, que contienen agua privada de aire y llevemos la vasija *B* á la temperatura de 100°, es decir, á la temperatura de ebullición é introduzcamos la vasija *A* en el hielo machacado; entonces, según lo que hemos visto, la tensión del vapor en *A* será de $4^{mm},6$ y la del vapor en *B* será de 760^{mm}.

Si se abre el robinete *C* y se pone en comunicación el vapor á 0° con el vapor á 100°, parece á primera vista, que la tensión del vapor debía ser la *media* de las tensiones, pero *no es así.*

Efectivamente, debido á la *diferencia de presión* entre los dos vapores, el vapor de la vasija *B* se precipitará á la vasija *A*, donde *se condensará inmediatamente* por enfriamiento y por consiguiente habrá una verdadera *destilación* de *B* hacia *A*.

Esta destilación continuará mientras haya una gota de

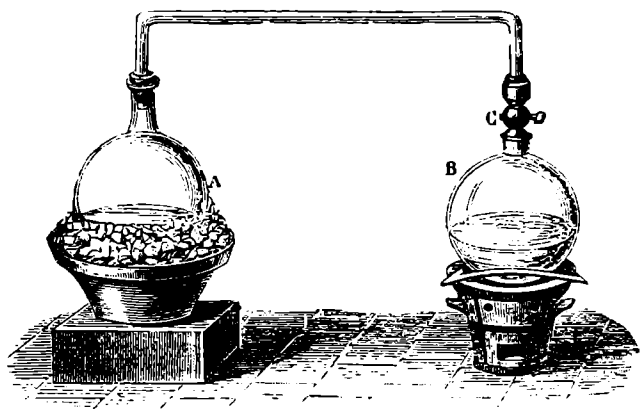


Fig. 365
Principio de Watt

agua en la vasija *B* y cuando ya no haya agua sino vapor á 100°, este vapor seguirá dirigiéndose siempre h cia *A* debido á la diferencia de tensión y así seguirá hasta que esta diferencia sea *nula*, en cuyo caso ya habrá equilibrio *y el vapor que está á 100° de temperatura tendrá la misma tensión que el vapor que está á 0°*.

Este es el principio de *Watt*, que se puede enunciar:

En dos espacios comunicantes y que están á diferentes temperaturas y donde el equilibrio de las tensiones se ha establecido, la tensión del vapor es igual á la tensión que corresponde á la temperatura más baja.

CAPÍTULO IX

EBULLICIÓN

572.—Generalidades.—Si imaginamos tener una vasija con agua sobre un hogar, notaremos al principio unas burbujas pequeñas que suben hasta la superficie y desaparecen. Esas son *burbujas del aire* que contiene el agua, y que aumentando su fuerza expansiva por la elevación de temperatura, se desprenden de la masa líquida.

—*Enseguida*, se notarán unas burbujas más grandes, que también se elevan, pero que desaparecen antes de llegar á la superficie. Esas ya son *burbujas de vapor* de agua, formadas en contacto con la pared caliente de la vasija y que se *condensan* al encontrar capas líquidas más frías.

—*Finalmente*, cuando la temperatura del agua, llega próximamente á 100°, se ven salir esas grandes burbujas, tumultuosamente y llegar á la superficie del agua, donde estallan.

Este es el fenómeno de la *ebullición*.

573.—Sus leyes.—Las leyes de la ebullición son las siguientes:

1ª Para un mismo líquido, que está en las mismas condiciones, la ebullición se produce siempre á la misma temperatura.

2ª La temperatura queda constante mientras dura la ebullición.

3ª La tensión del vapor será igual á la presión que se ejerce sobre el líquido.

574.—Punto de ebullición.—Si tomamos varios líquidos que están en las mismas condiciones, veremos que unos hierven antes y otros después, es decir, unos á una temperatura y otros á otra temperatura diferente.

Damos á continuación una tabla, conteniendo la temperatura de ebullición de algunas substancias, suponiendo que la presión sea la normal, es decir, de 760^{mm}.

SUBSTANCIAS	TEMPERATURA	SUBSTANCIAS	TEMPERATURA
Acido carbónico	— 80°	Anilina	182°
Cloro	— 34°	Mercurio	359°
Acido sulfuroso	— 10°	Azufre	449°
Eter	35°	Cádmiun	869°
Alcohol	79°	Zinc	1040°

575.—Canto del liquido.—Ya dijimos que cuando empezaba la ebullición se notaba la formación de burbujas de vapor que se elevaban, y al llegar á las capas de agua más frías, desaparecían sin llegar á la superficie. Por consiguiente, el vapor que constituía la burbuja se ha condensado y en los espacios que ocupaban las burbujas se forma el *vacío*, en cuyos espacios el agua se precipita con choque. Esa serie de choques constituye el *canto del líquido.*

576.—Causas que modifican el punto de ebullición.—Varias son las causas que pueden modificar el punto de ebullición.

Así, si un líquido tiene *substancias en disolución*, aumentará el punto de ebullición; *la naturaleza de las paredes* de la vasija; la existencia ó *falta de aire ó gas* disuelto y la *presión* que se ejerce sobre el líquido, también influyen sobre el punto de ebullición.

577.—Influencia de las substancias en disolución.—Toda substancia disuelta en un líquido, retarda la ebullición; siempre que esa substancia no sea volátil ó por lo menos, no sea más volátil que el líquido

Se retarda el punto de ebullición, *tanto más*, cuanto más *concentrada* es la disolución y, este retardo del punto de ebullición, varía de una á otra substancia.

Así:

El *agua* saturada de sal marina..... .... hierve á 109
" " " " nitrato de potasa..... " " 116
" " " " carbonato de potasa. " " 135
" " " " cloruro de calcium... " " 179

Mientras que sabemos que el *agua pura* hierve á 100°, siendo la presión de 760^{mm}.

—Las substancias en *suspensión*, no retardan el punto de ebullición.

578.—Influencia de la falta de aire á gas disuelto.—Es necesario la presencia de aire libre en un líquido para que el líquido hierva á la *temperatura normal*.

Si tomamos el agua por ejemplo, ésta tiene aire disuelto y la primera acción del calor es transformar en burbujas ese aire.

Cuando se toman todas las precauciones necesarias para echar todo el aire disuelto en el líquido ó adherido á las paredes, así como para librarlo del contacto del aire exterior, recubriéndolo, por ejemplo, con una capa de aceite, ha sido posible llevar el agua á 180°, sin que empezara á hervir.

Todo líquido calentado á una temperatura superior al punto de ebullición normal, se dice que está *recalentado*.

579.—Experimento de Gernez.—Este físico hizo un experimento por el cual se comprueba de una manera evidente que basta una pequeña cantidad de aire introdu-

cido en un líquido recalentado, para provocar inmediatamente la ebullición.

Al efecto tomó una vasija (*fig. 366*), conteniendo agua privada de aire y la elevó á una temperatura superior á 100° sin que se produjera la ebullición.

Enseguida introdujo en la masa líquida una campanilla de vidrio que está unida á un vástago.

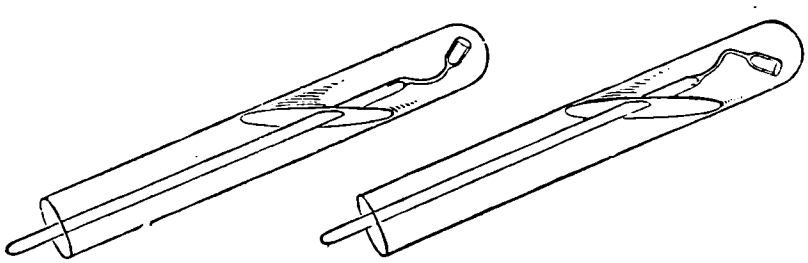


Fig. 366
Experimento de Gernez

Como es natural, esta campanilla invertida llevaba en su interior una pequeña cantidad de aire que provocó enseguida la ebullición.

No es indispensable introducir la campanilla, sino que basta introducir un cuerpo sólido cualquiera y entonces la ebullición será provocada por las partículas de aire que ocupan los poros de ese cuerpo.

El cuerpo que sirve de *excitador,* pierde su propiedad de excitación después de haberse usado una ó dos veces, lo cual se comprende, pues el aire que al principio tenía, ha sido expulsado por la elevación de temperatura.

580.—Influencia de la naturaleza de las paredes de la vasija. —Se ha notado que en un vaso de *vidrio* el agua hierve á una temperatura superior á 100°.

Si se ha tenido la precaución de lavar bien la vasija de vidrio con potasa ó ácido sulfúrico concentrado, se consigue elevar la temperatura hasta 106°.

Esta variación en el punto de ebullición, así como en

el agua recalentada ó el agua que contiene substancias en disolución, ha sido la causa por la cual al graduar los termómetros no se introduce el termómetro en el agua sino en el *vapor de agua*, pues éste, en todos los casos estará á la temperatura de 100°, siempre que la presión sea la normal, es decir, de $0^m,760$

Gay-Lussac, explicaba este fenómeno, por la cohesión que existe entre el *agua* y el *vidrio*, pero nosotros creemos que es debido á que teniendo el vidrio una superficie perfectamente pulimentada, en la pared hay poca cantidad de aire, que tan indispensable es para que la ebullición empiece á la temperatura normal.

581.—Influencia de la presión.—Ya dijimos que los líquidos entraban en ebullición cuando la tensión del vapor que se formaba en su seno era *igual á la presión atmosférica.*

Cuando la presión era la *normal*, la tensión del vapor de agua correspondía á la temperatura de 100°.

Luego, es natural que disminuyendo la presión, la temperatura de ebullición será menor y cuando la presión aumenta, la temperatura deberá ser mayor.

Para comprobarlo, nos bastará introducir una vasija conteniendo agua á 30° de temperatura, debajo de la campana de la máquina neumática.

Si se hace el vacío, el agua hierve.

582.—Experimento de Franklin.—Esta propiedad de que el punto de ebullición se rebaja, al disminuir la presión, se puede demostrar sin hacer uso de la máquina neumática, repitiendo el *experimento de Franklin.*

Al efecto, se toma un globo de vidrio que contiene agua y se hace hervir.

Cuando el vapor ha expulsado todo el aire, se cierra herméticamente y se invierte, sacándolo del hogar. Por consiguiente, el agua ha cesado de hervir.

Hecha esta operación *(fig. 367)*, exprímase una es-

ponja embebida de *agua fría*, é inmediatamente el agua entra en ebullición. ¿Por qué?

Porque el agua fría, ha *condensado* el vapor de agua que hacía presión sobre el líquido y produciéndose el vacío, el agua que está á una elevada temperatura entra en ebullición.

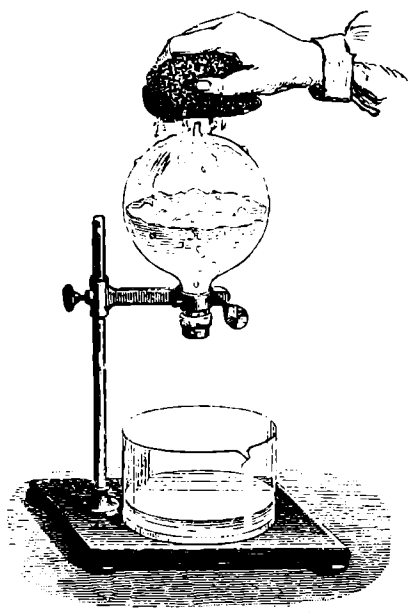


Fig. 367
Experimento de Franklin

583. — Esto *se aplica* también, para producir la *destilación* de ciertos líquidos, que se descomponen fácilmente con una alta temperatura.

Al efecto se los hace hervir á una baja temperatura disminuyendo la presión.

584.—Ipsómetro.—Debido á la disminución de la temperatura de ebullición por la disminución de la presión, es porque no es posible cocer legumbres en las altas montañas, pues éstas necesitando de 90° á 100° para cocerse, no pueden hacerlo porque el agua hierve á menos de esa temperatura.

Así, en Quito, cuya altura es de 2.900 m. y la *presión atmosférica* está representada por 527 mm. de mercurio el agua hierve á 90° y en la cumbre del Monte Blanco. cuya altura es de 4.800 m. y la presión está representada por 372 mm., la temperatura de ebullición es de 84°.

585.—Entonces, vemos que estos diferentes puntos de ebullición, según la altura, nos permiten hallar la *diferencia de nivel* entre dos puntos dados.

Efectivamente, sabemos que la temperatura de ebullición va *disminuyendo* á medida que nos elevamos, por consiguiente, si se *conoce la temperatura* de ebullición en un punto dado, se conoce la *tensión* del vapor, que *es igual á la* presión atmosférica que se ejerce sobre el líquido, por medio de unas tablas especiales que al efecto ha construido *Regnault.*

Ahora bien, la relación que existe entre la *presión* atmosférica y la *altura* del lugar, está dada por la fórmula de *Laplace;* entonces por esta fórmula de *Laplace* y las tablas de *Regnault*, se puede *deducir* la altura de la temperatura de ebullición.

Schoentjes dice que se pueden obtener resultados satisfactorios usando la fórmula:

$$h = 300\,(t - t')$$

siendo h la diferencia de altura entre dos puntos y t y t' las temperaturas de ebullición en cada uno de esos puntos.

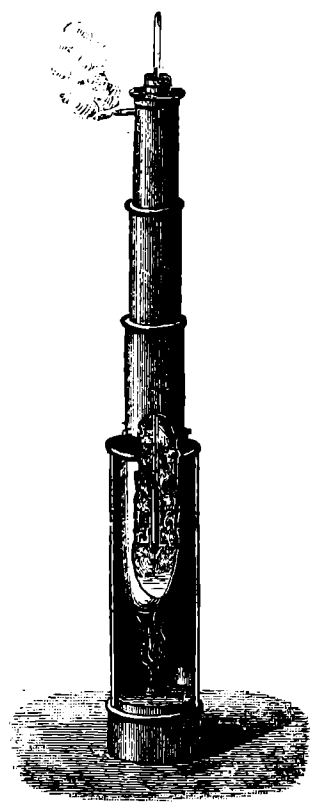


Fig. 368
Ipsómetro

586.—Se ha construído un aparato *ad-hoc* para poder operar y este aparato toma el nombre de *barómetro ipsométrico* ó *Ipsómetro de Regnault.*

Este aparato *(fig. 368)*, consiste en una pequeña vasija cilíndrica, con agua, que se puede hacer hervir por medio de una lamparilla de alcohol.

Dentro de esa vasija se introduce un termómetro de varilla larga y que está graduado sólo entre 85° y 100°.

Cada uno de estos grados está dividido en 10, 20 ó

100 partes iguales, de manera que podemos apreciar hasta *un centésimo* de grado.

587. – Marmita de Papin.—Si en vez de disminuir la presión ejercida sobre la superficie del líquido, se *aumenta*, entonces se retarda ó *se eleva el punto de ebullición.*

Así, cuando se hace hervir un líquido en una vasija cerrada, es posible elevar muchísimo la temperatura sin que empiece la ebullición.

Esta propiedad se aplica para disolver la gelatina que tienen los huesos, lo cual para poder hacerse totalmente, necesita una temperatura mayor de 100°.

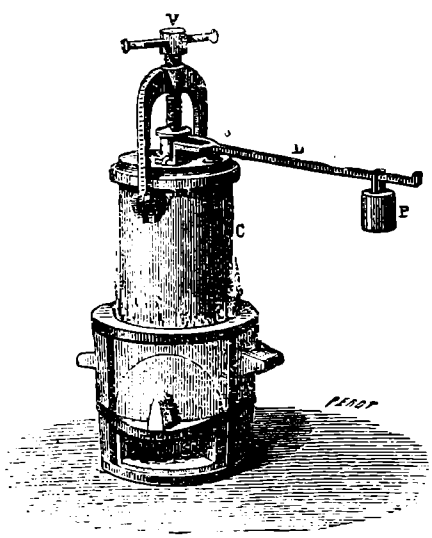


Fig. 369
Marmita de Papin

Esto se consigue por medio de la *Marmita de Papín* que como vemos (*fig. 369*), consiste en una vasija cerrada de paredes muy resistentes y cuya tapa está constituida por un disco de hierro que se ajusta herméticamente por medio de un tornillo *V*.

Esa tapa tiene una pequeña abertura *s* cerrada por una *válvula de seguridad*, sobre cuya cabeza se apoya una palanca *L*, á lo largo de la cual puede correr un peso *P*.

Cuando se calienta el agua, se forman vapores, los que no pudiendo expandirse, *ejercen presión* sobre la superficie del líquido, el que por consiguiente *no puede entrar en ebullición.*

Si aumentamos la temperatura, el vapor aumentará de tensión, hasta que si se extremara la operación podría *estallar* la vasija.

Esto se impide, colocando el peso *P* á una distancia conveniente, para que cuando el vapor haya tomado la máxima tensión que puede resistir la vasija, se levante la válvula de seguridad y permita el escape del vapor.

Generalmente, estas vasijas pueden resistir hasta *10 atmósferas* de tensión.

Si la tensión del vapor ha llegado á *2 atmósferas*, la temperatura del agua se eleva á *120°;* si la tensión es de *3 atmósferas*, la temperatura será de *134°* y así sucesivamente á medida que la tensión se hace mayor, también aumentará la temperatura de ebullición.

588.—Si se sigue aumentando más y más la temperatura en esa vasija cerrada, llegará un momento en que *todo* el líquido se habrá convertido en vapor, á cuyo efecto basta que el volumen de la vasija sea *3 veces mayor* que el volumen del líquido.

Este es el fenómeno de la *vaporización total* que para el *éter* se verifica á 201° y á 259° para el *alcohol*.

589.—Calor de vaporización.—La constancia de la temperatura *mientras dura* la ebullición, nos conduce á aceptar que todo el calor que suministra la fuente calorífica, mientras dura ese fenómeno, se emplea solamente á producir el *cambio de estado*, sin elevar la temperatura.

Este calor así empleado se llama *calor de vaporización*. Es análogo al calor de fusión.

Dicho calor se convierte en *trabajo interno*, para vencer la cohesión de las moléculas y *trabajo externo*, para vencer la presión atmosférica y comunicar al vapor su fuerza expansiva.

590.—Si ponemos en la mano una cantidad de éter, el éter se vaporiza, se volatiliza, pero para esto ha tenido que hacer un *gasto de calor* y esa absorción la ha

hecho de la mano, donde se experimenta un frío intenso.

Cuando se deja escapar una cantidad de vapor, como en la *Marmita de Papín*, que está á una alta presión, se puede acercar impunemente la mano sin que se sienta calor, debido á la absorción de calor que efectúa el vapor para producir su expansión.

Es necesario tener la precaución de retirar la mano cuando el vapor está por llegar á la tensión de 1 atmósfera, pues á esa presión, sabemos que el vapor tiene una temperatura de 100°.

El vapor que sale de una paba de agua hirviendo produce quemaduras, pero el vapor que sale de una máquina á vapor, produce enfriamiento.

Más adelante veremos que se utiliza este *frío* producido por la expansión, para obtener la liquefacción de los gases.

591.—Estado Esferoidal.—El punto que debemos tratar ahora es tan interesante, que más que un párrafo, debía tener los honores de un capítulo.

Sin embargo, trataremos de dar en forma concreta, lo más interesante.

Eller en 1746, observó que si se vertía una pequeña cantidad de líquido sobre una plancha muy caliente, el líquido tomaba una *forma redonda*, *se movía* sobre la plancha y tardaba mucho tiempo en vaporizarse *sin entrar* en ebullición.

A este fenómeno curioso se le da el nombre de *Experimento de Leidenfrost*, porque este físico fué el primero que lo estudió.

—Se comprobó que no sólo el agua sino que todos los líquidos, aún los más volátiles, producían el mismo fenómeno.

Este es el fenómeno de la *calefacción* y el estado particular que toma el líquido, se da el nombre de *Estado Esferoidal*.

Se comprueba que en esas condiciones, *el líquido no está en contacto* con el cuerpo caliente y que *la temperatura* del glóbulo líquido, *es menor* que su temperatura de ebullición.

Para que el fenómeno se presente, es necesario que la plancha metálica esté á 160° para el *agua;* 134° para el *alcohol* y á 60° para el *éter.*

Si la temperatura llega á bajar de esos puntos, el líquido *entra bruscamente en ebullición.*

—Para comprobar que la temperatura del líquido es menor que la de ebullición, basta introducir agua en una cápsula enrojecida de platino, la cual tomará el estado esferoidal. Si enseguida introducimos la ampolleta de un termómetro, veremos que el termómetro marca *menos de* 100°; si fuera *éter*, marcaría menos de 35° y si fuera *ácido sulfuroso*, marcaría menos de 10°.

—*Boutigny* hace el siguiente experimento:

Toma la cápsula enrojecida, vierte ácido sulfuroso y dentro de este líquido introduce una esfera con agua y se tiene el curiosísimo fenómeno que el agua *se congela.*

Si en vez de ácido sulfuroso pusiéramos *ácido carbónico*, y en vez de agua una esfera con *mercurio,* también se congelaría.

592.—El experimento de *Leidenfrost* puede ponerse de manifiesto con el siguiente experimento:

Se toma una esfera de cobre, se calienta al rojo y se introduce en una vasija con agua caliente.

No se observa sino el fenómeno de que el líquido no está en contacto con la esfera.

Si se deja la esfera introducida en el líquido, se irá poco á poco enfriando, hasta que en un momento dado, el agua entra bruscamente en ebullición con desprendimiento de una gran cantidad de vapor.

593.—Para explicar el fenómeno de la *calefacción* nos

basta concebir que el ser proyectado el líquido sobre la plancha metálica, *se produce inmediatamente* una cantidad de vapor cuya tensión equilibra la acción de la gravedad, es decir, el *peso* del líquido, y de allí el *no contacto* entre el líquido y el metal.

La capa de vapor comprendida entre el metal y el líquido deja pasar con dificultad el calor, por cuyo motivo el líquido *no entra en ebullición*, existiendo por otra parte la pérdida de calor por la vaporización.

—La capa de vapor que se produce entre el metal y el líquido se escapa lateralmente y como ese escape es irregular, de allí *sus movimientos* de traslación y rotación.

—Finalmente, como no hay contacto entre líquido y metal, no hay adhesión; luego el líquido está sujeto sólo á la acción de su cohesión y del peso de sus moléculas.

Esa es la razón de su *forma* redondeada.

594.—Debido al fenómeno de calefacción, es posible introducir el dedo mojado en éter en el plomo fundido; es posible moldear con la mano el vidrio fundido introducido en el agua y es posible partir en dos un chorro de fundición, teniendo cuidado que el calor radiante no ataque las partes del cuerpo cercanas á la mano ó de no producir con la mano un *choque* contra la masa de fundición, pues podría suceder que la acción del choque fuera mayor que la acción del éter y entonces los efectos serían desastrosos.

La única sensación que se experimenta, es de frío, debido á la evaporación del éter.

595.—Finalmente, ha querido explicarse la explosión de las calderas á vapor, por el fenómeno de la calefacción.

Cuando las aguas empleadas en las calderas son calcáreas, se forma en las paredes un depósito que es poco conductor del calor; luego las paredes exteriores de la

caldera que están en contacto con el hogar están muy calientes.

Si en un momento dado se desprende una parte del depósito calcáreo, el agua se encuentra con una lámina metálica á una alta temperatura y si después esa lámina disminuye de temperatura, se pone el agua en contacto con ella, produciéndose bruscamente una gran cantidad de vapor que hace estallar la caldera.

—Suele también explicarse la explosión de las calderas de la siguiente manera:

Cuando la máquina cesa de trabajar, contiene una cantidad de agua *sin aire* ó *recalentada.*

Al empezar nuevamente el trabajo, ya sabemos que esa agua sin aire entra en ebullición á una temperatura mayor de 100°; luego, si en ese momento hacemos introducir en la caldera una cantidad de agua del depósito, *esta agua que lleva el aire* provocará una ebullición tumultuosa y por consiguiente una producción rápida de vapor cuya presión no puede sufrir la pared de la caldera, produciéndose, por consiguiente, la explosión.

CAPÍTULO X

LIQUEFACCIÓN DE LOS VAPORES

596.—Restitución del calor de vaporización.—La *liquefacción* ó *condensación* de los vapores, es el paso del estado gaseoso al líquido.

Es el fenómeno inverso á la vaporización.

Hemos visto, que para conservar un líquido en estado de vapor, era necesario emplear una cierta cantidad de calor para mantener su fuerza expansiva, es decir, que dicho calor era empleado en comunicar al vapor una cierta fuerza viva.

Ese calor *es devuelto* al producirse la liquefacción ó condensación.

Hay tres medios para obtener la condensación de los vapores.

1º *Por afinidad química.*
2º *Por enfriamiento.*
3º *Por compresión.*

597.—Ejemplo de condensación por afinidad química, tenemos en la absorción del *vapor de agua*, por ejemplo, por medio del *cloruro de calcio*, el *ácido sulfúrico*, etc.

—*Por enfriamiento*, tenemos el ejemplo en el agua que se deposita en los cristales de las habitaciones, cuando la temperatura exterior es menor que la de la habitación.

Análoga cosa sucede con la condensación del vapor

de agua, que se expele por la respiración, que como sabemos se condensa en forma de niebla cuando el aire está frío.

—Finalmente, si en un tubo cilíndrico munido de un pistón, se introduce un vapor y después *se comprime* éste por medio del pistón, se producirá la liquefacción del vapor.

598.—Para poner de manifiesto la *restitución* del calor al producirse la condensación, bastaría hacer pasar un chorro de vapor por una cantidad de agua y veríamos que ésta, *se calienta.*

Se comprueba que el *calor que aparece durante la condensación, es igual al calor que había desaparecido durante la vaporización.*

599.—Destilación.—*Destilar un líquido* es convertirlo en vapores y enseguida condensar estos vapores por medio del enfriamiento.

Su objeto, es separar un líquido de otros menos volátiles que él; ó separar un líquido de otra substancia sólida que está mezclada ó disuelta en él.

Los aparatos especiales destinados á esta operación toman el nombre de *Alambiques.*

600.—Alambiques.—El aparato que sirve para obtener el *agua destilada*, es decir, *pura*, consiste en un recipiente *(fig. 370)* metálico *A*, llamado *cucúrbita*, en el cual se introduce el líquido que se quiere destilar.

La cucúrbita está terminada por una campana *B* que toma el nombre de *capitel*, el cual por medio del tubo *BB'* está unido á un tubo metálico *E E*, arrollado en espiral y que se llama *serpentín* el cual está contenido en una vasija que contiene agua fría.

Producida la ebullición en la *cucúrbita*, el vapor pasa al *capitel* y de allí al *serpentín* donde se condensa, debido á que las paredes de este tubo están enfriadas por el agua que lo rodea.

Esta agua iría poco á poco calentándose, pero eso se evita haciendo que por el caño *FF'* penetre constantemente un chorro de agua fría y que por el caño *G* se

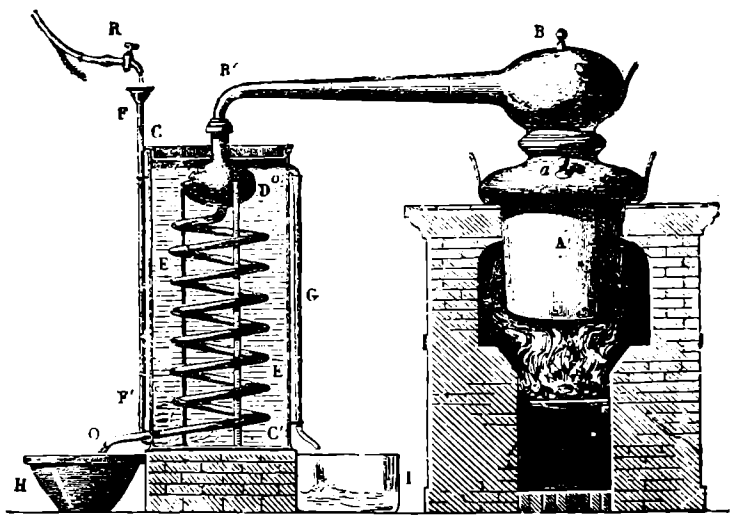


Fig. 370
Alambique

escape el agua caliente, que por ser menos densa va á la parte superior del condensador.

El agua destilada sale por el extremo *O* del *serpentín* y es recibida en una vasija *H*.

601. – Indicaremos también el *alambique* de *Salleron*, que sirve para el ensayo de los *vinos*, es decir, para determinar su riqueza alcohólica.

Consta (*fig. 371*) de un globo de vidrio sostenido por un trípode y calentado por una lamparilla á alcohol.

Los vapores que se forman pasan por medio de un caño al serpentín que produce la condensación del vapor y el resultado de la destilación se recibe en una probeta de vidrio.

Esta probeta tiene tres divisiones que están marcadas en la figura.

El vino que se quiere ensayar se mide en la probeta

hasta la división *A*, se vierte en el globo de vidrio y se empieza la destilación.

Si el vino es *muy alcohólico*, se recibe el producto

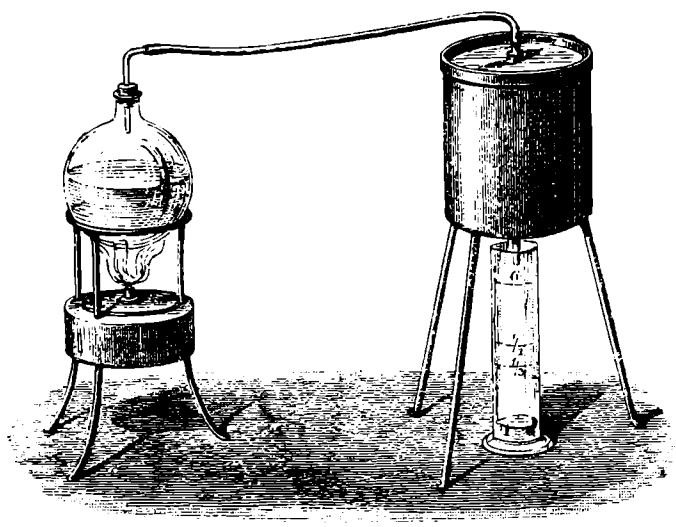


Fig. 371
Alambique de Salleron

de la destilación hasta la división $\frac{1}{2}$ y si es un *vino ordinario,* hasta la división $\frac{1}{3}$

En esos casos, *se supone* que ya ha destilado todo el alcohol, que es lo primero que destila, *por ser más volátil* que el agua.

Enseguida se vierte agua destilada en la probeta hasta llegar á la división *A*, luego se tendrá *el mismo volumen* de líquido que el vino que queríamos ensayar, *pero privado* de toda otra substancia orgánica.

Finalmente, por medio del *alcohómetro* podemos determinar su grado.

CAPÍTULO XI

EVAPORACIÓN

602.—Frío que produce —En la *evaporación,* sólo en la *superficie libre* del líquido, se producen los vapores mientras que en la ebullición, los vapores se forman en la masa del líquido.

Todos los líquidos se evaporan desde que la *tensión* de su vapor no sea nula ó que el ambiente no esté saturado.

El *ácido sulfúrico* no da vapores á una temperatura menor de 30^{o}.

El *mercurio* se evapora desde la temperatura de -44^{o} y sus vapores tienen un gran poder difusivo.

Se comprueba la evaporación del mercurio, por medio de un experimento debido á *Faraday*, que consiste en poner mercurio en un frasco y taparlo con una lámina de oro. Al cabo de algunos días la lámina de oro se pone blanquizca, lo cual comprueba que se ha amalgamado.

603.—Ya hemos visto que cuando se produce la vaporización, hay *un gasto ó consumo de calor* y como en la *evaporación* no se aplica ninguna fuente calorífica, el líquido gasta su *calor propio* y el de los cuerpos que están en contacto con él.

—Ya indicamos la sensación de frío que se experimentaba por la evaporación de un líquido volátil que se vertía en la mano.

En botellas de tierra porosa, el agua se conserva fresca, debido á la evaporación que se produce del agua que brota por los poros de la botella.

604.—Experimento de Leslie.—Este físico probó con un precioso experimento, que el frío producido por la evaporación del *agua*, puede ser tan grande que llegue hasta á congelarse á sí misma.

Al efecto, debajo de la campana de la máquina neumática (*fig. 372*), colocó un recipiente *V* con ácido sulfúrico y sobre éste una cápsula *A* que contiene *agua* á *20°* ó *25°*.

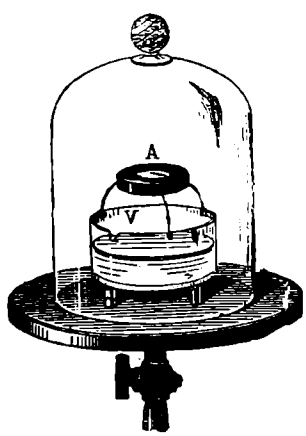


Fig. 372
Experimento de Leslie

Hecho el vacío, se ve producirse la ebullición y los vapores que se forman son *absorbidos* por el *ácido sulfúrico*.

Al cabo de un cierto tiempo cesa la ebullición, pero sigue la evaporación con la absorción por el ácido, hasta que el agua que queda en la cápsula se convierte en un trozo de *hielo*, lo cual es debido á la absorción de su propio calor para efectuar el cambio de estado, de líquido á gas.

Hemos tenido, pues, el curioso fenómeno de agua que hierve sin auxilio del calor y que repentinamente pasa de la ebullición á la congelación.

605.—Circunstancias que aceleran la evaporación—Las circunstancias que pueden acelerar la evaporación son:

1ª La temperatura.

2ª La cantidad del mismo vapor que hay en la atmósfera.

3ª La renovación de la atmósfera.

4ª La extensión de la superficie.

5ª La presión.

—La *temperatura* tiene que acelerar la evaporación, debido á que comunica á las meléculas del vapor, mayor *tensión*.

—La influencia de la *cantidad de vapor existente en la atmósfera* ambiente, se explica recordando que la evaporación de un líquido sería *nula* en un ambiente *saturado* y, recíprocamente, *máxima* en un ambiente privado de ese vapor.

—Del mismo modo se explica la influencia de la *renovación de la atmósfera* ambiente, pues renovándose contínuamente, nunca llega á saturarse.

—La *extensión de la superficie* influye poderosamente, pues, es por la *superficie libre* que se desprenden los vapores.

—La *presión* influye también, pues sabemos que en el vacío, la evaporación se hace instantáneamente.

606.—Aplicaciones.—Ya indicamos la aplicación de las *alcarazas* ó botellas de tierra porosa, para refrescar el agua.

—Para extraer la sal del agua de mar, se utiliza la evaporación de estas aguas, á cuyo efecto, se eleva el agua á una cierta altura y después se deja caer por entre medio de ramas que presentando gran superficie, facilitan la evaporación del agua.

Finalmente, podemos indicar la fabricación del hielo.

Se introduce una serie de cajas prismáticas llenas de agua en una habitación cerrada y en vez de hacer el vacío como en el experimento de *Leslie*, lo cual requeriría poderosas máquinas neumáticas, se proyecta dentro de la cámara un chorro de vapor hasta arrojar todo el aire, vapor que se condensa enseguida por la absorción del ácido sulfúrico concentrado, contenido en otras vasijas, produciéndose así el vacío, que facilitando la evaporación del agua la hace congelar.

El ácido sulfúrico se hace concentrar nuevamente, por medio del calor.

CAPÍTULO XII

LIQUEFACCIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE LOS GASES

607.—Idea de los métodos empleados.—Ya sabemos, que *los gases son vapores* que están lejos de su punto de saturación; luego los gases pueden ser condensados ó bien liquidados.

Los métodos empleados son varios, pero todos tendentes á *aumentar la cohesión* de las moléculas ó bien á disminuir su fuerza repulsiva.

Los métodos que expondremos son:

1º Liquefacción por simple enfriamiento.

2º Liquefacción por simple compresión.

3º Liquefacción por enfriamiento y compresión simultáneas.

4º Liquefacción por compresión, enfriamiento y brusca expansión.

608.—El primer gas que se liquidó, fué el *amoniaco*, que *Van Marum* á fines del siglo pasado, lo obtuvo, sujetándolo á una *presión* de 6 atmósferas.

Por *enfriamiento*, se liquidó enseguida el *ácido sulfuroso*, usando una temperatura menor que -10^{o}.

609.—Liquefacción por simple enfriamiento.—El método usado para liquidar el ácido sulfuroso por *simple enfriamiento*, es el siguiente:

En un matraz *A* (*fig. 373*), se introduce *virutas de cobre y ácido sulfúrico* concentrado; se expone al calor de un hogar y se produce el *anhídrido sulfuroso*, el cual se hace llegar á una probeta *b* rodeada de hielo machacado, que por enfriamiento *condensa* el *vapor* de agua que se ha producido en la reacción química.

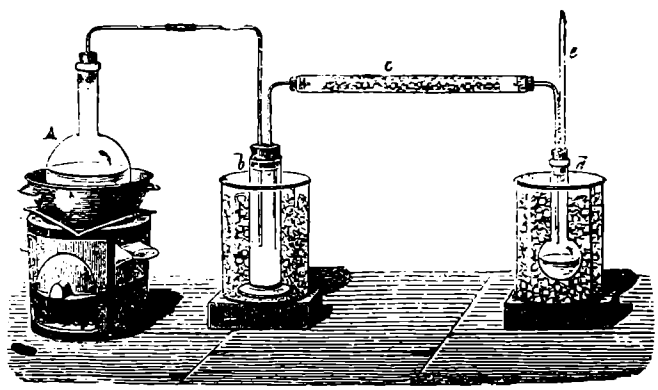


Fig. 373
Liquefacción del anhídrido sulfuroso

Sigue marchando el ácido sulfuroso y pasa por un tubo *c* que contiene *cloruro de calcio* donde pierde los últimos rastros de vapor de agua, y finalmente, llega á un globo *d*, que está sumergido en una mezcla frigorífica que baja la temperatura á -10^0.

Allí se *licúa* y el exceso de gas puede salir libremente á la atmósfera por el tubito *e*.

En vez de ácido sulfuroso, podríamos haber usado el *cianógeno*, *el ácido hipo-azótico*, etc.

Así, pues, hemos licuado el gas, por enfriamiento y á la *presión normal*.

De aquí sacamos la ley que dice:

Un gas se licúa cuando se le enfría á una *temperatura* menor que el punto de ebullición de su líquido.

610.— Método de Faraday.—Este método, que se aplica al *amoniaco*, *cloro*, *ácido sulfídrico*, etc., consiste en

tomar un tubo en forma de *U* (*fig. 374*), en uno de cuyos extremos se colocan las substancias que han de *producir el gas*, como el *cloruro de plata amoniacal*, si se trata de obtener el *amoniaco* líquido; ó *sulfuro de hierro* mezclado con *ácido clorídrico*, si se trata de obtener el *ácido sulfídrico*.

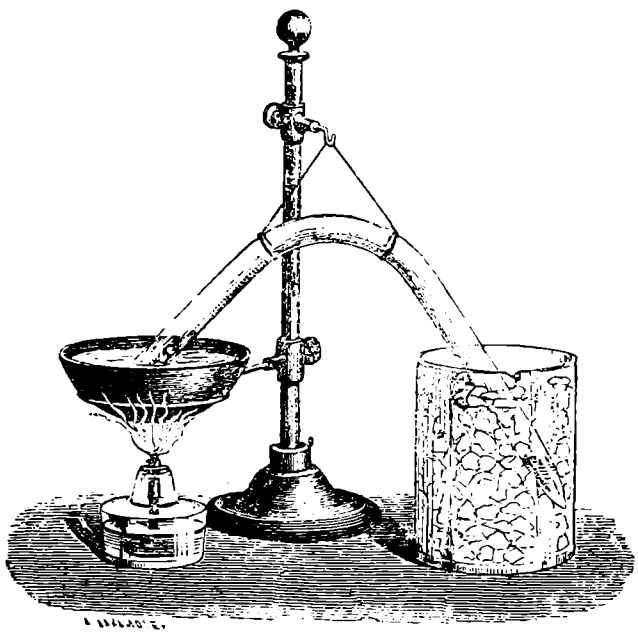


Fig. 374
Liquefacción por compresión

Se cierra enseguida el otro extremo del tubo y *se calienta* con agua caliente ó una lamparilla, la parte del tubo que contiene las substancias que hemos indicado.

El gas se produce y como el tubo está cerrado, este gas *se comprime* á sí mismo y aparece en el otro extremo del tubo completamente licuado

Puede apresurarse la licuación, introduciendo la rama que recibe el gas en una mezcla frigorífica.

611.—Método de Thilorier.—El aparato de *Thilorier* no es más que un tubo de *Faraday* de grandes dimensiones.

Se usa para licuar el *ácido carbónico*.

Consiste (*fig. 375*), en dos vasijas de cobre *A* y *B*, recubiertas interiormente de plomo y que están reforzadas por zunchos de fierro *c*, *d*, para darles mayor resistencia.

Estas dos vasijas están cerradas por tapones á tor-

nillo *f* los cuales permiten por medio del caño *gik* unir los dos recipientes, para lo cual basta abrir los robinetes á tornillo que se ven en la parte superior de las vasijas.

Estas dos vasijas están suspendidas en caballetes, de manera que se les puede imprimir un movimiento oscilatorio.

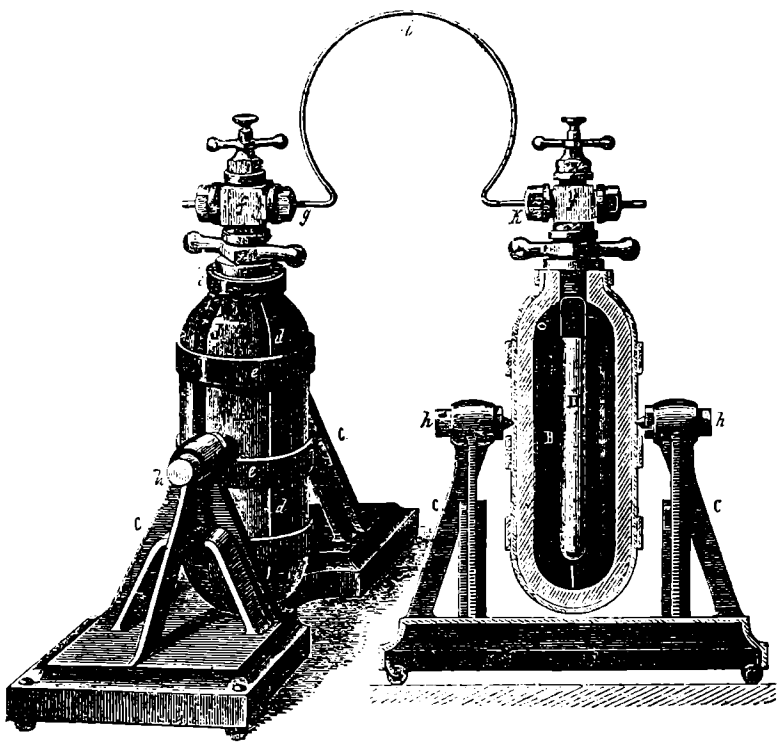


Fig. 375
Aparato de Thilorier

En el recipiente *B* se introduce una cantidad de *bicarbonato de soda* y en un tubo *D* abierto en la parte superior se pone *ácido sulfúrico.*

Se hace oscilar el recipiente *B* y con el movimiento oscilatorio el ácido sulfúrico cae sobre el bicarbonato de soda y entonces se verifica la reacción química, produciéndose *sulfato de soda y ácido carbónico.*

El ácido carbónico *se comprime* por sí mismo y se

licúa en el recipiente *B*. La *presión* llega hasta 50 atmósferas.

Si enseguida, se pone el recipiente *B* en comunicación con el *A*, como el recipiente *B se ha calentado* por la reacción química, la vasija *A* hace el papel de *pared fría* y entonces el líquido destila y pasa al recipiente *A* donde se vuelve á licuar.

Es cuestión de 7 minutos.

Hecho esto, se limpia el recipiente *B*, se vuelve á cargar y á repetir la operación, obteniéndose así una mayor cantidad de *ácido carbónico líquido.*

612.—Si se pone ese *líquido* en comunicación con la atmósfera, se evapora con enorme rapidez y como esa rápida evaporación tiene que verificarse *á costa de una cierta cantidad de calor,* ese calor lo toma del mismo líquido, y es tal el *enfriamiento* producido, que se produce la *solidificación* del ácido carbónico.

613.—Para obtenerlo en el estado sólido, podemos proceder de la siguiente manera:

En el recipiente *A* se introduce un caño que llegue casi hasta el fondo de la vasija.

Si se abre un robinete *ad-hoc*, la enorme presión desarrollada por el ácido carbónico que está sobre el líquido, proyecta hacia el exterior el ácido carbónico líquido, el cual en parte se gaseifica y la otra parte cae en copitos como de nieve.

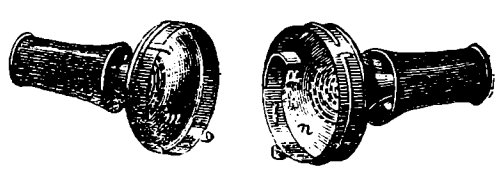


Fig. 376
Solidificación del anhidrido carbónico

—Para hacerlo más evidente, podemos hacer uso del aparato indicado en la *fig. 376,* que como vemos, consiste en dos cajas cilíndricas que pueden unirse ajustadamente y con dos mangos rodeados de paño para poder tenerlos en la mano.

Se hace llegar por un tubo lateral, el chorro de ácido carbónico líquido el cual, chocando contra una laminita *a* se subdivide y se evapora rápidamente.

Parte del líquido se gaseifica y este gas se escapa por los agujeros *m* y *n* que corresponden á los mangos, y la otra parte del líquido enfriado por la evaporación brusca se queda en la caja cilíndrica, la cual abierta nos permite ver el ácido carbónico *sólido* en forma de copos de algodón.

614.—El ácido carbónico sólido *se evapora lentamente* cuando está en contacto con la atmósfera, lo cual se comprende por el nuevo enfriamiento que se produce cuando parte del ácido carbónico sólido se evapora.

Puesto el ácido carbónico sólido en contacto con la piel no produce ningún efecto, debido á que el gas que se produce por el calor del cuerpo impide el contacto.

Pero, si se mezcla con *éter* para que se produzca el contacto, ó bien se aprieta contra la piel, entonces ésta se desorganiza como al contacto de una brasa.

La mezcla del ácido carbónico sólido con el éter produce uno de los mayores fríos artificiales observados hasta hoy, que es de —110° y un tubo lleno de ácido carbónico líquido sumergido en esta mezcla, se solidifica, tomando la apariencia de un trozo de hielo.

615.—Punto crítico de los gases.—Se ha comprobado que para cada gas, hay una *temperatura*, pasada la cual *ya no es posible* licuarlo, por grande que sea la presión á que se le sujete.

Esta temperatura es de 31° para el *ácido carbónico;* 140° para el *ácido sulfuroso;* 175° para el *éter sulfúrico;* 260° para el *alcohol* y 365° para el *agua.*

Es á estas *temperaturas* que *Andrews* dió el nombre de *punto crítico.*

La existencia de este *punto crítico* para cada gas,

es la causa por la cual antes se creía que había gases *permanentes*, es decir, que no era posible licuarlos.

Estos gases eran *seis*, el *oxígeno*, *hidrógeno*, *ázoe*, el *bióxido de ázoe*, el *óxido de carbono* y el *hidrógeno protocarburado*.

Efectivamente, se les comprimía indefinadamente, *pero sin llevarlos á una temperatura menor que su punto crítico*.

El punto crítico de esos gases, antes llamados permanentes, es:

Protocarburado de hidrógeno	— 82°
Bióxido de ázoe	— 93°5
Oxígeno	— 118°
Oxido de carbono	— 141°
Azoe	— 145°
Hidrógeno	— 215°

616.—El *punto crítico*, nos permite diferenciar perfectamente un *vapor* de un *gas*.

Así, *será vapor* cuando su temperatura es *inferior* á su punto crítico y *será gas*, cuando su temperatura es *superior*.

617.—**Aparato de Cailletet.**—Ya indicamos los procedimientos para obtener la liquefacción de los gases por *simple enfriamiento* ó por *simple compresión*.

El aparato de *Faraday* permite emplear el tercer procedimiento, es decir, por *enfriamiento* y *compresión* combinados, lo cual indicamos que se podía obtener, sumergiendo la rama gruesa del tubo de *Faraday (fig. 370)* en una mezcla frigorífica.

618.—*Cailletet* ideó otro aparato, por el cual se lleva la compresión hasta los últimos límites, al mismo tiempo que se efectúa el enfriamiento

Consiste en un tubo *T T'* de paredes resistentes

(*fig. 377*) terminado por la parte superior en un tubo *cerrado* T y casi capilar.

Inferiormente está *abierto* y es mucho más grueso, terminando por un tubito encorvado.

Este tubo *se llena* de gas y se introduce la parte más gruesa en un tubo B' de fundición y de paredes muy resistentes.

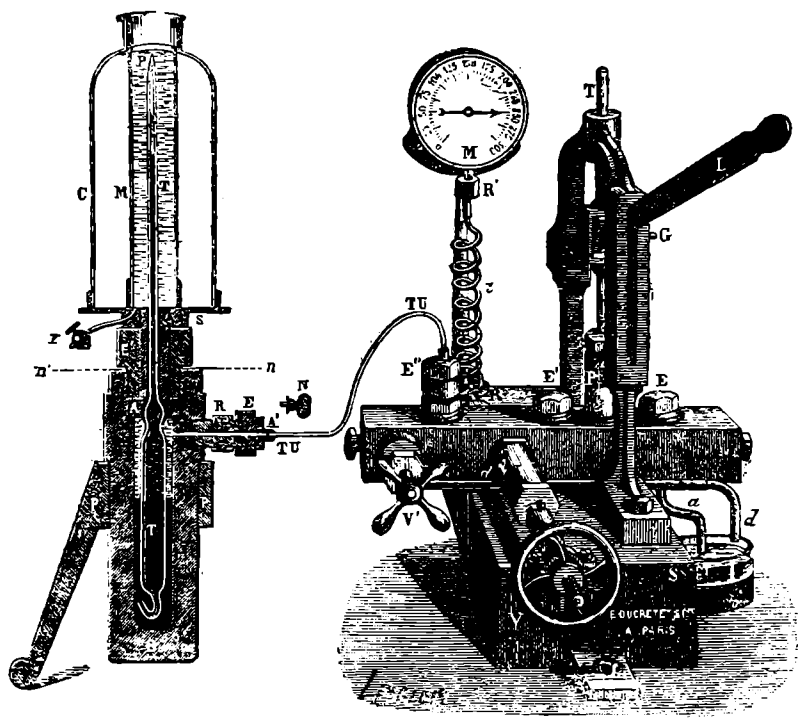


Fig. 377
Aparato de Cailletet

La parte superior del tubo $T\,T'$ está rodeada por una vasija M que contiene *agua fría* ó una *mezcla frigorífica* y esta vasija M está á su vez rodeada, por una campana de vidrio C, para impedir que algún fragmento de vidrio pueda herir al operador, en caso de que estallara el tubo $T\,T'$.

Detrás de la campana C se colocan substancias higroscópicas, con el objeto de que no se deposite sobre las

paredes de la vasija *M*, vapor de agua condensado por el enfriamiento.

Sobre el mercurio que está en el tubo *B*, se vierte agua, la cual puede ser *comprimida* por medio de una *prensa hidráulica* que está ligada al recipiente *B'* por medio de un tubito *TU*.

Un *manómetro M* mide la *presión* que se ejerce sobre el agua de la prensa, la que por el tubito *TU* transmite esa *presión* al agua de la vasija *B'* la cual por intermedio del *mercurio* lo transmite al *gas* que está en el tubo *TT'*, elevándose en él el mercurio, como se ve en la figura.

Como la compresión de ese gas, aumenta *su temperatura*, se rebaja esa temperatura por el agua fría ó mezcla frigorífica que está en la vasija *M*.

619.—Liquefacción por enfriamiento, compresión y brusca expansión.—Este aparato de *Cailletet*, sirve también para aplicar el cuarto procedimiento indicado para obtener la liquefacción de los gases.

La base de este procedimiento, es la *disminución grande de temperatura* que se obtiene produciendo la *brusca expansión* de un gas.

Se ha comprobado, que si un gas que está comprimido á *300* atmósferas y se deja que pase bruscamente á la presión de *1 atmósfera*, se obtiene una baja de temperatura de *más de 200° bajo cero*.

Esta propiedad se aplicó en el aparato de *Cailletet* para obtener la liquefacción de los *gases permanentes*.

Al efecto, después que con la prensa hidráulica, se ha llevado la compresión á más de 300 atmósferas, se abre el robinete *V'* y entonces el gas con el mercurio y el agua, pasan á la presión atmosférica, el mercurio que estaba en el tubo *TT'* baja y en ese tubo se ve una especie de *niebla*, que está formado por *gotitas de gas líquido*, que provienen de la liquefacción parcial del gas.

—Por este medio, no se consiguió licuar el *hidrógeno*, pero ha podido hacerse por el aparato que indicamos á continuación.

620.—Aparato de Raúl Pictet.—El aparato de *Raúl Pictet* está basado en la compresión y en una *suma de enfriamiento.*

El aparato consiste en un *obús L*, calentado por un mechero, y dentro del cual se introducen las materias destinadas á producir el gas.

Por ejemplo, si se trata del *Oxígeno*, se pondría en el obús *L* una mezcla de *clorato de potasa* y *cloruro de potasio;* si se tratara de licuar el *Hidrógeno*, se introduciría una mezcla de *formiato de potasa* y *potasa*, etc.

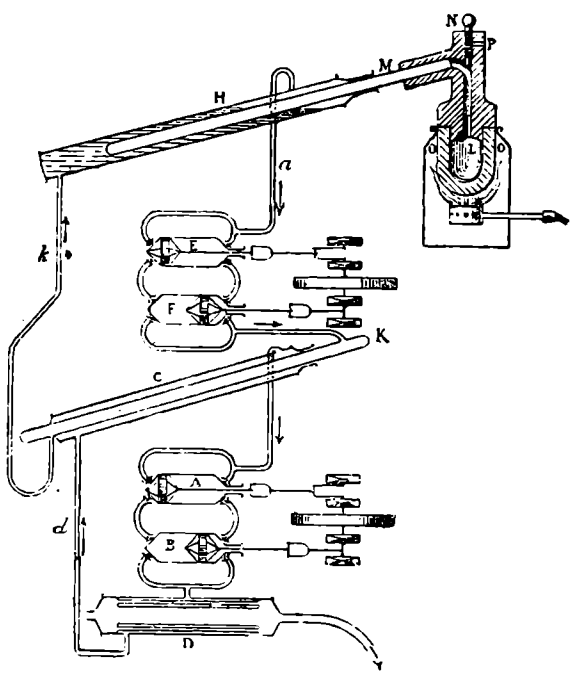


Fig. 378
Aparato de Raúl Pictet

El gas que se forma, pasa á un tubo *M*, que es donde se va á efectuar la licuación, por *propia compresión* y por un gran *enfriamiento* que indicaremos enseguida.

El tubo *M* está rodeado por una vasija *H* que contiene *protóxido de ázoe líquido.*

Para operar se calienta el obús *L*, el gas se desprende y se va comprimiendo, hasta que un manómetro que está en combinación con el obús *L* marca *250*

atmósferas para el *Oxígeno* y *650 atmósferas* para el *Hidrógeno*.

A esas presiones, el gas se licúa si se baja la temperatura á —140°.

Para obtener esta temperatura tan baja, hacemos funcionar una *bomba E* que hace el *vacío* sobre el *protóxido de ázoe*, el cual evaporándose rápidamente, produce una considerable baja de temperatura.

Este *protóxido de ázoe gaseoso*, se comprime por medio de la otra bomba *F*, licuándose nuevamente en el tubo *K* de donde vuelve á pasar al tubo *H* por medio del cañito *k*.

Como este gas *se habrá calentado* al comprimirse en *K*, se enfría, haciendo que una vasija *C*, que contiene *ácido sulfuroso* líquido, lo rodee.

Por medio de la bomba *A* se produce la brusca evaporación del *ácido sulfuroso* y entonces el *protóxido de ázoe* líquido que se forma en *K*, pasa á la vasija *H* ya á una temperatura muy baja que *Pictet* calcula en —70°.

El ácido sulfuroso aspirado por la bomba *A*, es *comprimido*, y licuado en *D*, por medio de la bomba *B*, de manera que de *D* vuelve por el caño *d* á la vasija *C*.

El ácido sulfuroso que se licúa en *D*, se enfría por medio de un caño dentro del cual corre una corriente de agua.

De esta manera se llega á obtener un enfriamiento correspondiente á —140°.

—Luego, el gas que se ha comprimido en el tubo *M*, está á una temperatura de —140°.

Si en esas condiciones se abre el robinete *N* y se trata del *Oxígeno*, se ve salir un *chorro* de *oxígeno líquido* de 10 á 12 centímetros de longitud y de un blanco vivo.

Si se presenta á ese chorro un carbón encendido, éste arde de una manera inusitada, lanzando chispas en todos sentidos.

—Si se trata del *Hidrógeno*, el chorro, iluminado por la luz eléctrica, tiene un color de acero y unos 15 centímetros de longitud.

En el suelo, se siente un ruído como de munición que cae, lo cual probaría que el hidrógeno se ha solidificado.

Además, se observa que la salida es *intermitente*, lo cual probaría que el hidrógeno se ha solidificado en el interior del tubo *M*.

621.— *Wroblewski* y *Olszewski*, usando el *etileno líquido* para obtener el enfriamiento, han conseguido todos los gases *menos el hidrógeno* en estado líquido *persistente* y en grandes cantidades, lo cual les ha permitido estudiar las propiedades de estos líquidos.

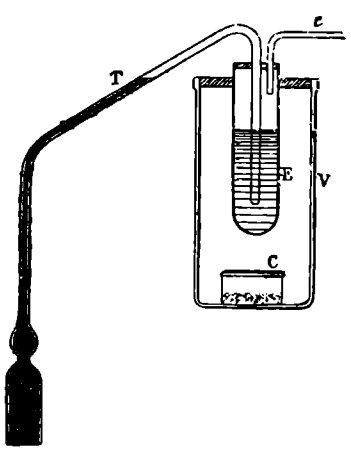


Fig. 379
Aparato de Olszewski

Olszewski llegó á solidificar el *ázoe*, *óxido de carbono*, *protocarburo de hidrógeno* y el *bióxido de ázoe*.

—Ultimamente, *Cailletet* ha modificado su aparato haciendo (*fig. 379*) que la extremidad superior del tubo que contiene el gas, se introduzca en una probeta *E* que contiene *etileno líquido* que se hace evaporar rápidamente.

Enseguida, haciendo la presión, se produce la licuación del gas.

622.—De todo lo dicho resulta que ya *no hay* gases *permanentes* y que por consiguiente, no tiene razón de ser la *diferencia* entre gases y vapores.

En el *punto crítico*, la superficie de separación entre el líquido y el gas ha desaparecido.

623.—Aire líquido.—Hoy se ha llegado á licuar el aire y se tienen máquinas industriales construidas por Dewar, Hampson, Linde, etc., que permiten obtener el aire líquido á bajo costo.

El aparato más común y económico, el de Linde, está basado en que cuando un gas se espande disminuye de temperatura, equivalente á 0°,28 por cada atmósfera de disminución en su presión.

Esta diferencia de temperatura es muy pequeña, pero esta disminución de temperatura sirve para que *previamente* se enfríe el aire que se va á licuar.

La figura esquemática al margen nos permitirá darnos cuenta del proceso de la operación.

Por una serie de tubos que no están representados, se hace pasar aire que se va comprimiendo poco á poco para que su temperatura no se eleve.

La bomba impelente *P* recibe por *F* ese aire y lo comprime á 200 atmósferas y lo manda por *B* al refrigerante *R* que contiene agua continuamente renovada.

De allí pasa á un tubo metido dentro de otro, formando una especie de serpentín muy largo—en la figura está representado por el tubo recto *I* y *E*.

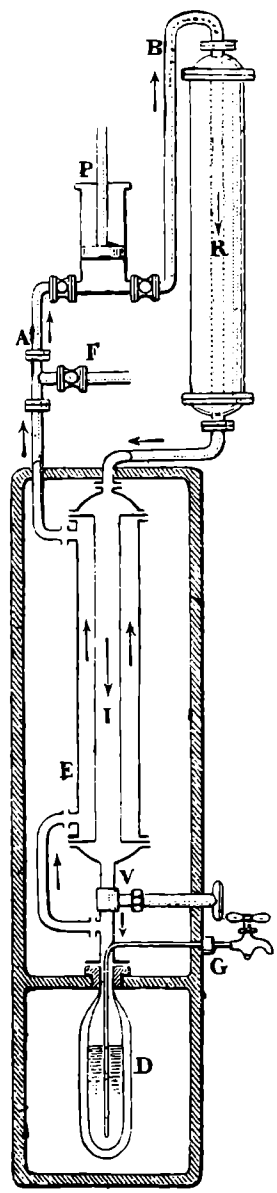


Fig. 380
Aparato de Linde

De *I* la masa gaseosa por la válvula *V* pasa al *tubo externo E*, de donde por *A* pasa nuevamente á la bomba *P*.

—Las flechas indican la marcha del aire comprimido.

Esta corriente inversa en *E* enfría el aire comprimido que viene por *R*, así que en las sucesivas expansiones el enfriamiento va aumentando y desciende hasta *más abajo de la temperatura crítica* del *aire* que es de —140°.

Basta abrir la llave *V* y el aire empieza á caer en forma líquida en la botella *D*.

—Esta botella ideada por *Dewar* es de dobles paredes y en el espacio intermedio se ha hecho el vacío para que no trasmita el calor exterior.

Como es natural esta botella debe estar destapada.

De la botella *D* por medio de la canilla *G* se puede transvasar el líquido.

Estas otras botellas son plateadas interiormente para disminuir la radiación. En ellas se puede conservar el aire líquido por horas á la presión atmosférica y á la temperatura de cerca de —191° que es su punto de ebullición.

—Con un motor de 7 caballos y abundante agua para el refrigerante *R* se puede recoger *4* ó *5 libras* de aire líquido por hora.

—Ese líquido es algo turbio por que contiene copos de anhidrido carbónico. Se filtra y se obtiene un líquido trasparente y algo azulado.

A medida que se va evaporando, se evapora con preferencia el ázoe de modo que llega un momento que se tiene *oxígeno líquido* en vez de aire líquido.

Es un nuevo procedimiento para extraer el oxígeno del aire.

624.—Los experimentos que se hacen con este líquido son curiosísimos, cosa que es fácil comprender, pues cualquier cuerpo es sumamente *caliente* comparado con su temperatura.

—En un agujero hecho en el hielo se vierte aire lí-

quido y éste se evapora rápidamente. Si allí se vierte mercurio éste se solidifica.

—Un trozo de cautchu introducido en el aire líquido se convierte en rígido y frágil.

—El alcohol y el éter se solidifican.

—El polvo de carbón mezclado con aire líquido se convierte en cuerpo fácilmente inflamable.

—Su densidad es 0,93. Su calor de vaporización 60 calorías.

CAPÍTULO XIII

HIGROMETRIA

625.—Estado higrométrico.—La atmósfera contiene siempre una cierta *cantidad de vapor de agua*, la que varía contínuamente, y como esta cantidad influye notablemente sobre un sinnúmero de fenómenos, conviene saber *determinarla*.

La *Higrometría*, es la parte de la física que trata de esta determinación y los aparatos destinados á esta medición se llaman *Higrómetros*.

El grado de *humedad* de la atmósfera, *no depende* tan sólo de la cantidad de vapor que ella contiene, sino también de la *tensión* de ese vapor, y por consiguiente, de su *temperatura*.

—Cuando el aire está *frío*, puede ser *muy húmedo* con *poco vapor* y cuando el aire está *caliente* puede estar *seco* con *gran cantidad* de vapor.

626.—Se llama *Estado Higrométrico* del aire, la relación que existe entre el *peso* del vapor de agua contenido en un *cierto volumen* de aire y el *peso* del vapor *que contendría ese mismo volumen*, si estuviera *saturado á la misma temperatura*.

Entonces, llamando e el *estado higrométrico*, p el peso del vapor contenido en un cierto volumen y P el peso del vapor que contendría ese mismo volumen si estuviera saturado, se tendría:

$$e = \frac{p}{P}$$

Ahora bien, se sabe que un peso p de vapor tiene una *tensión* f y que si estuviera saturado tendría una tensión F, dada por la *tabla* de la *tensión máxima* de los vapores, pero *los pesos* de un mismo volumen de vapor son *proporcionales á sus tensiones;* luego, el *estado higrométrico* de un ambiente estará expresado por:

$$e = \frac{p}{P} = \frac{f}{F}$$

luego, se puede definir el estado higrométrico, diciendo que *es la relación que existe entre la fuerza elástica del vapor de agua que contiene el aire á la temperatura considerada y la fuerza elástica que tendría á la misma temperatura si estuviera saturado.*

627.—Si se tuviera

$$e = 1$$

resultaría que f y F son iguales; luego se tendría el *máximo* de *humedad.*

—Si fuera

$$e = o$$

se tendría el *máximo de sequedad.*

628.—Substancias higroscópicas.—Para poner de manifiesto que el aire contiene siempre una cierta cantidad de vapor de agua, nos bastará hacer algunas observaciones.

Así, cuando tenemos una copa de agua helada, veremos depositarse en su pared exterior una cantidad de gotitas que es el vapor de agua de la atmósfera que se ha *condensado.*

Lo mismo sucede en los vidrios de las ventanas de las habitaciones, cuando el ambiente exterior es frío:

—Si *se pesa* una vasija que contiene *ácido sulfúrico*, *cloruro de calcio*, etc., y enseguida se expone durante algún tiempo al aire ambiente, veremos que si *se vuelve á pesar*, este peso será *mayor* que el primero, lo cual es debido al vapor de agua que estas substancias han absorbido ó condensado.

Lo mismo sucede con la *potasa*, *soda* y otras sales; y cuando estas sales condensan una cantidad de vapor suficiente como para parecer *mojadas*, entonces se dice que son substancias *delicuescentes*.

629. –La humedad tiene una grandísima influencia sobre los seres animados, vivos ó privados de vida.

Sin la humedad los seres vivientes y las plantas no podrían vivir.

Las substancias orgánicas como *la madera*, *marfil*, *seda*, *cuerno*, *el pelo*, etc., se *alargan* con la humedad.

Cuando los cuerpos están formados, como las *cuerdas* ó los *tejidos*, por filamentos *retorcidos*, en vez de alargarse, *se encojen*, porque la humedad aumenta su diámetro y trata de destorcerlos.

—Estas substancias que absorben la humedad del aire toman el nombre de *substancias higroscópicas*.

630.—**Higrómetro de Absorción**.—Ya dijimos que se llamaban higrómetros los aparatos destinados á medir la humedad de un ambiente, ó la cantidad de vapor de de agua que contiene.

Saussure, ha construido un *higrómetro*, llamado de *absorción*, fundándose en la propiedad que tienen los cuerpos orgánicos de *estirarse* cuando absorben el vapor del medio ambiente en que están sumergidos.

La substancia orgánica elegida es el *cabello*, el cual es muy sensible, pues llega á tener una diferencia de *dos* centímetros en un cabello de 25 á 30 centímetros.

—Se toma un cabello fino, cortado de una persona sana y se desgrasa perfectamente por medio de varios lavajes en *éter* ó una disolución de *carbonato de soda*.

Así preparado el cabello, se fija por un extremo en la parte superior *A* (*fig. 381*) de un marco de metal, haciendo que el otro extremo pase alrededor de una polea *C* que está en la parte inferior del marco y fijando en el extremo inferior del cabello, un peso *p* destinado á mantenerlo constantemente tendido.

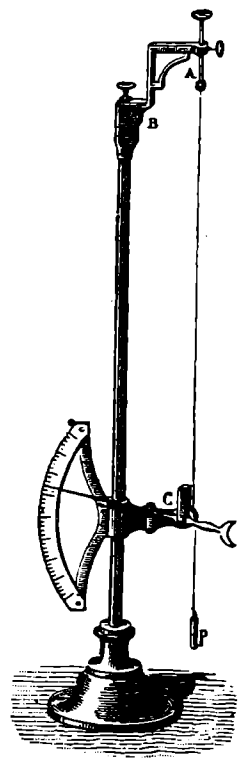


Fig. 381
Higrómetro de cabello

Aumentando la humedad, el cabello se estira y disminuyendo la humedad se contrae; luego esas dilataciones y contracciones producirán en uno y otro sentido el movimiento de la polea *C*, la que en su movimiento arrastrará á una aguja que recorre un cuadrante graduado que está dividido entre *0°* y *100°*.

El punto *0°* corresponderá al *máximo de sequedad* y el punto *100°* al *máximo de humedad*.

—Para marcar estos dos puntos, se procede *con cada higrómetro* de la siguiente manera:

Para marcar el punto *100*, se coloca este aparato dentro de un frasco de vidrio que en su fondo contiene agua y cuyas paredes están humedecidas.

El ambiente de ese frasco ó vasija *se satura* de vapor de agua, y al cabo de dos ó tres horas, el cabello cesa de estirarse y entonces, cuando queda estacionario, se marca el punto *100°*.

Para marcar el punto de *0°*, es decir, el punto de *máxima sequedad*, se introduce ese mismo aparato en otro frasco ó vasija análoga á la que antes hemos usado, pero dentro de esa vasija se coloca ácido sulfúrico concentrado, que tiene gran avidez por el agua, luego el ambiente de la vasija queda completamente *seco* y al

cabo de *dos ó tres días*, se nota que el cabello ya no se encoje; luego el punto que marca la aguja, corresponde al punto 0^o.

Se comprueba la exactitud de este punto, exponiendo el higrómetro al calor solar; con lo cual se pondrá de manifiesto si el cabello no está bien seco, pues en ese caso *se contraería* algo más.

Si la desecación ha sido perfecta, el cabello *se dilata;* luego, la aguja retrograda.

—Las divisiones de estos higrómetros, *no dan* inmediatamente el estado higrométrico del ambiente.

Cuando el higrómetro marca 50^o, esto no quiere decir que el ambiente esté *medio saturado*, es decir, no es *un medio.*

Además, los diferentes higrómetros *no son comparables* entre sí.

Para remediar este doble inconveniente, *Gay Lussac* y *Regnault* han dado el medio para construir *para cada instrumento, tablas* especiales, que nos dan el *estado higrométrico*, una vez hecha la lectura de los grados marcados por el higrómetro.

Luego, vemos que este aparato, más bien que *higrómetro* es un *higróscopo*, es decir, que nos revela ó hace ver que hay *más* ó *menos* humedad, pero no la mide.

Para que sea *higrómetro*, podemos valernos de las *tablas* que ya hemos indicado ó bien *graduarlo* sumergiéndolo en varios ambientes *cuya fuerza elástica* ó *tensión* del vapor de agua sea conocida.

631.—Higrómetro Químico.—Este higrómetro es también un higrómetro de *absorción*, pues consiste en *absorber* el vapor de agua del aire por medio de ciertas substancias químicas y enseguida determinar por la balanza *el peso p* del vapor de agua.

El aparato usado (*fig. 382*) consiste en una vasija V de latón de unos 50 litros de capacidad, que tiene en su

parte inferior un tubito con un robinete *r* destinado á dejar salir el agua contenida en el interior de esa vasija.

En la parte superior hay un termómetro *t* y un tubo *a* que está en comunicación con una serie de tubos en *U*, que contiene piedra pómez empapada de ácido sulfúrico.

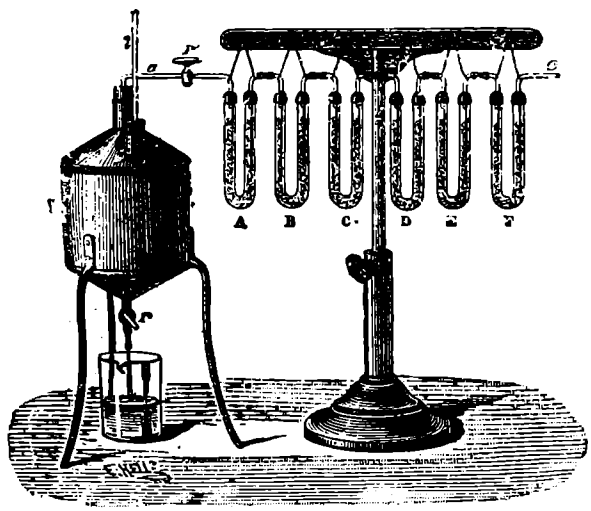


Fig. 382
Higrómetro Qnímico

Para operar, se llena de agua la vasija *V* y se pesan los tubos *B*, *C*, *D*, *E*, *F*.

Se permite salir el agua, abriendo el robinete *r* y *el vacío* dejado por el agua que sale, es ocupado por *aire*, que penetrando por el extremo *c* pasa por los tubos en *U* y llega á la vasija *V*, que toma el nombre de *aspirador*.

Al pasar el aire por los tubos *F*, *E*, *D*, *C*, deja en ellos el *vapor de agua* que contenía, y para comprobarlo se pesa el tubo *B* que lleva el nombre de *tubo testigo*, pues, si *todo* el vapor de agua del aire que ha pasado, ha quedado en los otros tubos, *B* no aumenta de peso.

El tubo *A* sirve para detener el poco *vapor* de agua que podría producirse en la vasija *V*.

Se pesan los tubos *C*, *D*, *E*, *F*, y el aumento de peso *p* en gramos, representa la masa del vapor de agua contenida en el volumen del aire que ha atravesado por los tubos.

—Llamemos *V* el *volumen* del aire ó sea el del aspirador; *t* la *temperatura* durante el experimento; *f* su

presión y P el peso del vapor de agua dado por la balanza; se tiene la fórmula:

$$P = V\frac{0.81 \times f}{(1 + \alpha t)\,760}$$

de donde se deduce:

$$f = \frac{P(1 + \alpha t)\,760}{0.81\ V}$$

Ahora bien, conociendo la temperatura t, se conoce por la tabla de la *tensión máxima*, la tensión F que corresponde á esa temperatura; luego, la expresión:

$$\frac{f}{F}$$

nos dará el *estado higrométrico buscado*.

—Este método es muy preciso, pero es sumamente *lento*, lo cual puede hacer que durante el experimento haya variado el estado higrométrico.

Generalmente, en vez de un aspirador de 50 litros de capacidad, se usa uno *doble* de 5 litros y entonces, la aspiración se efectúa haciendo que la vasija que contiene el agua pase á la parte superior y la vasija vacía á la inferior.

Teniendo presente el número de veces que se ha invertido el aparato, se tendrá el volumen de aire aspirado.

El volumen V de aire aspirado no es el verdadero. Este volumen es algo menor, pues al aspirador sólo ha llegado el aire seco, habiendo dejado en los tubos en U una cantidad de vapor de agua que ocupaba un cierto volumen, que es necesario tener en cuenta.

632.—Higrómetros á condensación.—Los higrómetros *á condensación* están *basados* en que, si en un ambiente

cuya temperatura es T se introduce un cuerpo pulido *más frío* que el aire y cuya temperatura sea t, se notará que las capas de aire que rodean á ese cuerpo se irán enfriando, *sin que el vapor de agua, que ese aire contiene, cambie su tensión*, pues si bien la tensión debía haber *disminuído*, por haber disminuído la temperatura, esta disminución queda *compensada* con el *aumento* de tensión que experimenta el vapor al disminuir de volumen.

Siguiendo bajando la temperatura del aire, llega un momento en que estará *saturado* y bastará una pequeña disminución de temperatura para que el vapor de agua se *condense*, depositándose en forma de *rocío* sobre el cuerpo pulido.

Se anota la temperatura t para la cual *empieza* el rocío y se busca la tensión máxima f que corresponde á esa temperatura

Como antes ya se habrá obtenido la tensión F correspondiente á la temperatura T del aire, el cociente de estas dos tensiones dará el *estado higrométrico* del aire.

Indicaremos los higrómetros á condensación de *Daniell*, *Regnault* y *d' Alluard*, los cuales no difieren entre sí más que en la mayor ó menor facilidad de *producir el rocío*, ó en la determinación exacta del *punto de rocío*.

633.—Higrómetro de Daniell.—Este aparato representado en la *figura 383*, consta de dos esferas de vidrio unidas por un tubo dos veces acodado y sostenidas por una columna.

La esfera A es de *vidrio negro* y contiene en su interior un *termómetro* cuya ampolleta está sumergida en una cantidad de *éter*, el cual se ha hecho hervir antes de cerrar el aparato, para expulsar el aire interior.

La esfera B está vacía y recubierta por una gasa ó

paño, sobre la cual se va vertiendo gota á gota éter que se tiene en un frasco.

El éter que se vierte, se evapora, la esfera *B se enfría* y entonces, el éter contenido en *A* se evapora también, enfriando dicha esfera y el vapor producido se vuelve á condensar en *B*.

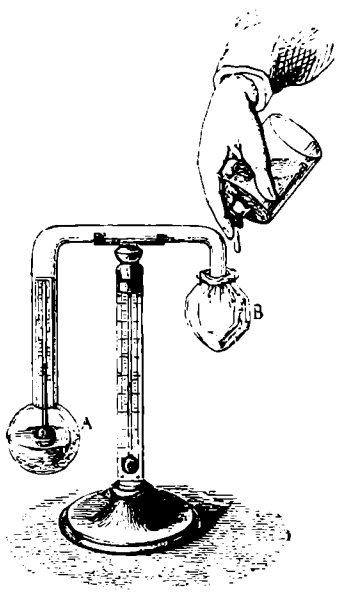


Fig. 383
Higrómetro de Daniell

Llega un momento en que el enfriamiento de la esfera *A* es tal, que el vapor del aire ambiente se condensa en su superficie y como esta esfera es *negra* y pulida, se notará inmediatamente que empieza el rocío.

En ese momento se lee la temperatura *t* que da el termómetro contenido en la esfera *A* y la temperatura *T* del aire, que nos será dada por el termómetro que está en el pie del aparato.

Conocidas estas temperaturas *t* y *T*, por las tablas, conoceremos las tensiones *f* y *F* máximas, correspondientes á esas temperaturas y haciendo el cociente, se tendrá el estado higrométrico.

La esfera *B* se coloca más alta que la *A*, para que el enfriamiento producido en *B* no se transmita por radiación á la esfera *A*.

Como la evaporación que se verifica en el éter contenido en *A*, hace que el enfriamiento se produzca en la superficie del líquido y se propague *del interior al exterior*, resulta que la temperatura que nos acusa el termómetro interior será *menor* que la temperatura del *vidrio*, lo cual es una causa de error.

Para *compensarlo*, se deja que el aparato se enfríe lentamente y se anota la nueva temperatura *t'* en el

instante que *desaparece el rocío* y entonces se toma como *punto* del rocío, *la media* de las dos temperaturas leídas, es decir, que el punto de rocío sería:

$$\frac{t+t'}{2}$$

—Tiene además el inconveniente, de que el operador debe acercarse al aparato para hacer la lectura de los termómetros, con lo cual se aumenta el vapor de agua en el aire que rodea el aparato, pues el cuerpo humano exhala vapor de agua.

Estos inconvenientes han sido subsanados por *Regnault*.

634.—Higrómetro de Regnault.—Este higrómetro está basado en los mismos principios que el de *Daniell*.

Consta de dos *dedales* B y B' iguales, de *plata*, bien pulidos, que están fijos al extremo de dos tubos de vidrio sostenidos por un mismo pie.

El dedal B' (*figura 384*) tiene en su interior *aire* y un termómetro T' destinado á dar la temperatura del aire ambiente.

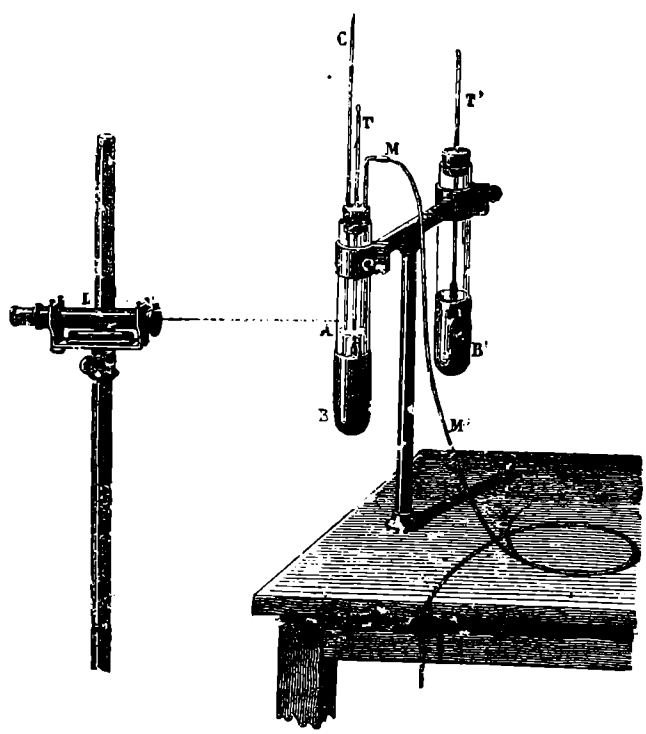


Fig. 384
Higrómetro de Regnault

En el otro tubo *B* que contiene *éter*, penetran un tubo *C* abierto y que llega hasta el fondo de la vasija, un termómetro *T* y un tubo *M* que sólo atraviesa el tapón.

Cuando se quiere operar se pone el tubo *M* en comunicación con un *aspirador*, por medio del caño *MM'*, se aspira el vapor de éter y disminuyendo la tensión, el aire penetra por el tubito *C*, y es aspirado por el caño *M* después de haber pasado á través del éter.

Este paso del aire agita el *éter*, lo que facilita la evaporación y haciendo que la temperatura del líquido sea homogénea.

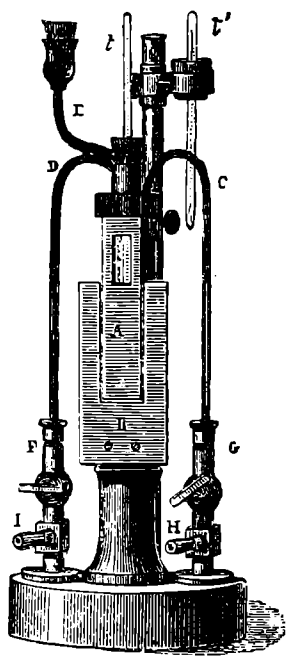


Fig. 385
Higrómetro de Alluard

Con el enfriamiento se produce el rocío y el momento en que empieza es fácil conocerlo por comparación con el brillo del *tubo testigo B'*.

Además, siendo el dedal *B* de metal, y por consiguiente *buen conductor* del calor, resulta que la temperatura del dedal será la misma que la temperatura del éter.

Finalmente, se hace la lectura de los termómetros *T* y *T'* por medio de un *catetómetro L*, con lo cual se evita el inconveniente del vapor de agua que se exhala por la traspiración y respiración del operador.

635.—Higrómetro de Alluard.—En este higrómetro, la vasija *A* que contiene el éter es prismática y la pared *A* sobre la cual se hace el depósito de rocío, es *plana*, de *plata* ó *latón dorado* y esa cara está encuadrada entre otra lámina *B* también del mismo metal.

Como esta lámina *B no está en contacto* con la vasija *A*, resulta que *nunca pierde el brillo*, luego será muy fácil saber por comparación cuándo empieza el rocío.

Las dos temperaturas se leen por medio del catetómetro en los termómetros *t* y *t'*; la *aspiración* se hace por el tubo *D* y la entrada del aire por el tubo *E*.

636.—Psicrómetro de August.—Este aparato (*fig. 386*), permite determinar el estado higrométrico del aire por medio de una simple fórmula.

Consiste en un pie que sostiene un termómetro *A*, destinado á acusar la temperatura ambiente.

Otro termómetro *B* está envuelto por una muselina constantemente empapada por el agua que viene de la vasija *C*.

Leyendo las temperaturas dadas por los dos termómetros, se notará que la del termómetro mojado será menor que la del *termómetro seco*.

Según que el aire esté más ó menos seco, también la evaporación del agua que contiene la muselina se hará más ó menos rápidamente, lo que producirá un enfriamiento mayor ó menor, que será acusado por el termómetro *B*.

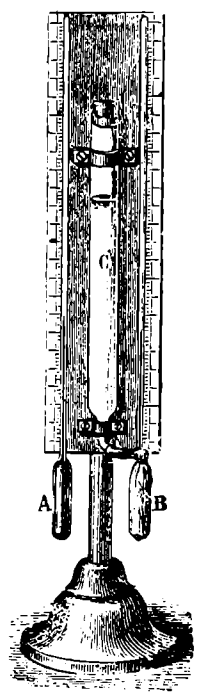


Fig. 386
Psicrómetro de August

Entonces se espera á que el termómetro *B* haya bajado hasta quedar estacionario.

Se lee esa temperatura *t'*, se lee también la temperatura *t*, dada por el termómetro seco y según *August*, la fórmula

$$f = F - 0{,}000635\,(t - t')\,H$$

nos dará la tensión del vapor de agua de la atmósfera, siendo *H* la presión atmosférica.

637.—Higróscopos.—Estos aparatos están destinados á revelar si hay *más* ó *menos* cantidad de vapor de agua en el aire, pero no pueden *medirlo*.

Se construyen generalmente dándole formas elegantes, como la de un fraile cuya capucha sube y baja según hay más ó menos humedad, una niña que sale con paraguas cuando hace tiempo húmedo ó sin él cuando el aire es seco, etc.

Se utiliza la propiedad que tienen las materias orgánicas, como una cuerda de tripa de destorcerse cuando hay humedad y de torcerse más, cuando el aire es seco.

CAPÍTULO XIV

METEOROS CALORIFICOS

638.—Preliminares.—Se llama *Meteorología* la parte de la física que estudia los fenómenos que se verifican en la atmósfera. Este estudio comprende las leyes de producción de dichos fenómenos, su sucesión, la periodicidad, etc.

Dividiremos el estudio de la meteorología en seis partes:

1º Fenómenos debidos al *Calor*.
2º Id íd á la *Presión atmosférica*.
3º Id íd al *Vapor de agua*.
4º Id íd al *Magnetismo*.
5º Id íd á la *Electricidad*.
6º Id íd á la *Luz*.

639.—Temperatura media.—Ya conocemos que es temperatura y también que los instrumentos destinados á determinarla, son los *termómetros*.

Para *determinar* la temperatura del aire, es necesario colocar el termómetro *á la sombra* y rodearlo de pantallas para que no reciba los rayos del *calor radiante* que emite el suelo y las paredes que reciben los rayos solares.

—La temperatura de un lugar varía de un momento á otro, por cuyo motivo, cuando se quiere obtener la *temperatura media diurna*, bastará observar la temperatura marcada por el termómetro *de hora en hora*,

sumar todas las operaciones y *dividir* por *24*, que es el número de observaciones hechas.

Si se quisiera la *temperatura media mensual,* se tomaría la media diurna, se sumarían estas temperaturas y se dividiría por 30 ó 31, según sea el mes.

—Finalmente, si se quisiera tener la *temperatura media annal*, se tomarían las doce temperaturas medias mensuales, se sumarían y se dividirían por *12*.

640.—Variación diurna de la temperatura de un lugar.—En un determinado lugar, la temperatura varía de un momento á otro, se va elevando desde por la mañana hasta el medio día, donde llega á un *máximo*, y desde ese instante empieza á decrecer hasta llegar á un *mínimun* después de la salida del sol.

Esta variación es debida al movimiento de rotación de la tierra alrededor de su eje.

Parece que el máximun de la temperatura debía corresponder á las 12 del día, es decir, cuando el sol pasa por el meridiano, pues en ese instante los rayos solares son perpendiculares á la superficie del lugar, y el mínimum debía corresponder al instante de aparecer el sol en el horizonte.

Sin embargo, no sucede así, pues se ha observado que el *máximum* corresponde en media á las 2 p. m. y el *mínimum* á las 6 a. m.

Esto es debido á que hasta las 2 p. m. el calor solar que recibe el lugar, es *mayor que el que emite*, y por la mañana, que el calor que emite la tierra es *mayor que el que recibe* del sol, por ser muy oblícuos los rayos solares.

641.—Variación anual de la temperatura.—Si se comparan las temperaturas *medias mensuales* de todo un año, veremos que esas temperaturas mensuales sufren una variación regular.

Este hecho es debido al *movimiento de traslación de la tierra* alrededor del sol.

Efectivamente, sabemos que por ese movimiento de traslación, los días se van alargando hasta el día 21 de diciembre, y de allí empiezan á acortarse los días hasta el día 21 de junio.

Esos días más largos y más cortos debían marcarnos el *máximum* y el *mínimum* de temperatura media, y, sin embargo, eso no sucede, pues aunque después del 21 de diciembre los días se acorten y los rayos solares caigan más oblícuos, sin embargo, la tierra recibe aún más calor que el que emite, é inversamente sucede en los días posteriores al 21 de junio.

Por esta razón, el *máximum* de temperatura anual se obtiene á mediados de enero y el *mínimum* á mediados de julio.

642.—Estaciones.—Estas variaciones anuales de temperatura, dan lugar á las cuatro estaciones.

Invierno, que empieza el 21 de junio.
Primavera, íd íd el 21 de septiembre.
Verano, íd íd el 21 de diciembre.
Otoño, íd íd el 21 de marzo.

Estas son las estaciones civiles; pero en meteorología se hace otra división más justa cuando se relaciona con la tierra, y es la siguiente:

Invierno, que empieza el 1º de septiembre.
Primavera, íd íd el 1º de diciembre.
Verano, íd íd el 1º de marzo.
Otoño, íd íd el 1º de junio.

643 —Temperatura media de un lugar.—La temperatura *media de un lugar* es *la media* de las temperaturas medias anuales durante un cierto número de años.

La temperatura media de un lugar varía con:
La latitud.
La altura.
La dirección de los vientos.
La proximidad de las costas.

644.—Influencia de la latitud.—La temperatura media de un lugar será tanto mayor, cuanto más cerca del ecuador esté, y tanto menor, cuanto más cerca esté de los polos.

Esto es debido á que en el ecuador, á medio día, los rayos solares son casi verticales y en los polos los rayos solares son muy oblícuos.

Por eso se ha dividido la tierra en *cinco zonas.*

La *zona tórrida*, comprendida entre dos *paralelos* (los dos *trópicos)* colocados de uno y otro lado del ecuador á una latitud de 23°28'.

Las *zonas templadas*, comprendidas entre los dos paralelos anteriores y otros dos *paralelos* (círculos *polares*) colocados á 66°32' de latitud.

Las *zonas glaciales*, comprendidas entre los círculos polares y los dos polos.

La temperatura más elevada que se haya observado fué de 54° en el oasis de Mour-Zouk, por *Lion* y *Ritchie*, y la más baja fué de —56°7', observada por *Black* en la América Septentrional.

645.—Influencia de la altura.—A medida que nos elevamos en una montaña, la temperatura es menor.

Esto se ha constatado por observaciones directas, y además, la teoría dinámica del calor lo comprueba.

Efectivamente, el aire, que se calienta en contacto con el suelo, se eleva. Pero al elevarse disminuye su fuerza elástica, se expande, y esta expansión lo hace á costa de su propio calor; luego se enfría.

Se ha calculado y constatado después, que se disminuye en 1° la temperatura media por cada 180 metros que se eleva el observador.

En las montañas elevadas se llega á un punto en que se tienen las *nieves perpétuas.*

Esta altura varía con múltiples circunstancias, como ser los vientos reinantes, la latitud del lugar, etc.

Así, en los *Alpes* la altura de las nieves perpétuas es

de 2700 metros; en el *Himalaya* es de 5967, en los *Andes* (Quito) es de 4800 metros, en *Islandia* es de 936 metros, etc.

Análogamente, la vegetación varía según la altura, como se ha constatado en el *Chimborazo*, que en su base tiene la vegetación propia de la zona tórrida, más arriba, la de las zonas templadas y más arriba aún, la vegetación de las zonas glaciales.

646.—Lo mismo que disminuye la temperatura á medida que nos elevamos, también se ha constatado que *aumenta* la temperatura á medida que nos introducimos en las profundidades de la tierra.

647.—Influencia de la dirección de los vientos.—La dirección de los vientos influye en la temperatura media de un lugar.

Así, vemos que en Buenos Aires y Montevideo, cuando sopla el viento norte, aumenta la temperatura media diurna, y disminuye cuando reina viento sur.

En las provincias andinas, disminuye la temperatura media cuando sopla viento de las cordilleras y aumenta cuando sopla el viento *Zonda*.

648.—Influencia de la proximidad de las costas.—Debido á que el agua posee un poder absorbente y emisivo menor que la tierra, es decir, que absorbe y emite menos calor que la tierra, y además, teniendo un *calor específico* mayor, lo cual hace que para una cierta *cantidad de calor* absorbido ó emitido corresponde una *variación de temperatura* menor, resulta que la temperatura de las costas es *más constante* que en los lugares mediterráneos.

Además, en la misma latitud, la temperatura es más elevada en las costas que en el continente.

649.—Líneas isotérmicas.—Si se une por medio de una

línea contínua todos los puntos de la tierra que tienen la misma *temperatura media anual*, se tendrá trazada sobre un mapa ó una esfera una serie de líneas curvas, siguiendo las cuales, puede verse cuáles son los puntos de la tierra que tienen un clima semejante.

Las líneas que unen los puntos de temperatura media *igual* se llaman *isotérmicas;* las que dan la temperatura media del *verano* se llaman *isotéricas* y las del invierno *isoquiménicas.*

650.—Temperatura del mar.—La temperatura del mar varía según el lugar, pero en un mismo lugar es muy constante, no pasando de 3° la variación máxima.

En las proximidades del ecuador, la temperatura es más elevada y disminuye alejándose del ecuador.

En las regiones polares la temperatura del mar es superior á la del aire.

A medida que aumenta la profundidad, disminuye la temperatura hasta llegar á una temperatura de 2°,5.

Esta baja temperatura es debida á las corrientes submarinas que llevan el agua fría de los polos al ecuador, mientras que por la superficie, se establecen corrientes que van del ecuador á los polos.

La corriente marina más notable es la de *Gulf-stream*, que tiene una temperatura de 15° más que la temperatura del océano, y que recorre una extensión de 28.000 kilometros, partiendo del *golfo de México* y volviendo á él después de haber tocado las costas de Europa, Africa y Brasil.

651.—Climas.—El *padre Secchi* define el *clima* diciendo que, es el conjunto de condiciones permanentes ó variables, de presión, temperatura, humedad, vientos y lluvias, que constituyen el estado de la atmósfera en que vivimos y que influyen sobre la vida vegetal y animal sobre el globo terrestre.

—Los climas se dividen en *constantes*, *templados y excesivos.*

Se llaman climas *constantes*, cuando la temperatura media del verano y la del invierno, no presenta una diferencia mayor de 7°, como por ejemplo, en las *Islas Canarias*, cuya media de verano es de 23°,8 y la del invierno es de 18°; luego la diferencia es solo de 5°,8.

—El clima *templado* es aquel en que la diferencia entre la temperatura media del verano y la del invierno alcanza á 15°, como por ejemplo, *París*, *Buenos Aires* y *Montevideo*.

El clima *excesivo*, es aquel en que la diferencia entre las dos temperaturas medias, es mayor de 15°, como en *Moscou* y *New York*.

652. - Finalmente, los meteorologistas, tomando como base la temperatura *media anual*, dividen los climas así:

Ardiente, cuando la temperatura media anual varía entre.....	27,5° y 25°
Caliente, cuando varía entre.....	25° » 20°
Dulce » » »	20° » 15°
Templado » » »	15° » 10°
Frío » » »	10° » 5°
Muy frío » » »	5° » 0°

Glacial, cuando es menor que cero.

653.—Influencia de la temperatura sobre la vegetación.—Es fácil comprender que la temperatura tiene una gran influencia sobre la vegetación.

Si se trata de sementeras como el maíz, trigo, lino, etc., para cultivarlas, no es necesario tener en cuenta la temperatura *media anual*, sino la temperatura media del *verano*, pues se siembran al finalizar el invierno y se cosechan en el verano.

Lo único que necesitan, es que mientras dura su desarrollo, se forma la flor y se produce el fruto, haya recibido una cierta suma de grados de temperatura.

En cambio, si se trata de *árboles*, es necesario tener en cuenta la temperatura del *invierno*, pues llegando á una cierta temperatura, los árboles se hielan y mueren; por eso es tan difícil aclimatar los árboles de una zona en otra zona distinta.

CAPÍTULO XV

VIENTOS

654.—Causa de los vientos.—La causa de los vientos, es la *diferencia de temperatura* entre dos puntos de la superficie terrestre.

El aire que se calienta en contacto con el suelo, se hace menos denso, se eleva y entonces el aire que lo rodea se precipita hacia esa especie de vacío para restablecer el equilibrio. Es un fenómeno análogo al de la *convección*.

Otras veces, es producido por la *condensación* del vapor de agua en un cierto lugar, condensación que produce un enrarecimiento del aire.

En este caso, la condensación del vapor de agua se hace por una baja de la temperatura; luego, siempre los vientos son producidos por la diferencia de temperatura entre dos puntos dados.

655.—Anemóscopos y Anemómetros.—Los *anemóscopos* son unos aparatos destinados á marcar la *dirección del viento*. Tales son las veletas.

—Los *anemómetros* sirven para determinar la *velocidad* del viento.

Se compone este aparato de un eje vertical en cuyo extremo puede girar suavemente un círculo metálico, que en los extremos de dos diámetros perpendiculares, lleva cuatro hemisferios huecos.

Cuando sopla viento, este encuentra dos hemisferios *convexos* y dos *cóncavos*.

Sobre la superficie de los primeros el viento resbala y en los segundos, el viento ejerce presión y por consiguiente los obliga á girar.

Ahora bien, el número de vueltas que da el aro superior es proporcional á la velocidad del viento; luego, no hay más que contar el número de vueltas que ha dado el molino en un tiempo dado y por un cálculo sencillo se tiene la velocidad del viento.

Según su velocidad, el viento se clasifica en:

Moderado,	cuando su velocidad es de	. . . . .			2^m	
Fresco	»	»	»	»	»	10^m	
Fuerte	»	»	»	»	»	20^m	
Tempestad	»	»	»	»	»	25^m	á 30^m
Huracán	»	»	»	»	»	30^m	á 40^m

Un viento de 45^m por segundo, arranca árboles y derrumba edificios sólidamente construidos.

656.—División de los vientos.— Los vientos se pueden dividir en *regulares* é *irregulares*.

Los vientos regulares tienen su asiento en las cercanías del ecuador. Alejándose del ecuador se tienen los vientos irregulares.

—Los vientos regulares se dividen en *periódicos* y *constantes*.

Los vientos *periódicos* son las *brisas* y los *monzones*.

Los vientos *constantes* son los vientos *alisios*.

657. – Vientos periódicos.—Se llaman vientos *periódicos*, aquellos que soplan en una misma dirección en ciertas horas del día ó en ciertas épocas del año.

Tales son las *brisas* y los *monzones*.

658.—Las *brisas* son vientos que soplan *en las costas* de los mares.

Durante el *día* se tiene la *brisa del mar*, es decir, que el viento sopla del mar hacia la tierra, y durante la noche se tiene la *brisa de tierra*, que sopla de la tierra hacia el mar.

Para darse cuenta de esto, bastará recordar que durante el día, la tierra se calienta más que el mar y entonces calentándose el aire, se eleva y aspira el aire del mar que es más denso.

Durante la noche la tierra *se enfría más que el mar* y entonces se verifica la corriente contraria.

659.—Los *monzones* son vientos que soplan seis meses en una dirección y seis meses en otra.

Reinan en los pequeños mares ó en los golfos, tales como en el mar de la *China*, en el *golfo de Bengala*, en el *golfo de Arabia*, etc.

En la primavera, cuando el continente empieza á estar más caliente que el mar, se produce un viento de mar y en el otoño cuando la tierra está más fría que el mar, se tiene el viento de tierra

660.—Vientos constantes.—Alisios.—Los únicos vientos constantes son los vientos *alisios*.

Estos reinan en una zona comprendida á 30 grados de uno y otro lado del ecuador.

Son debidos á que esta zona tórrida es más caliente que los demás puntos de la tierra, y á que, habiendo en dicha zona una evaporación muy activa, por ocupar los mares una extensión considerable, se produce una elevación del aire, el cual es reemplazado por el aire frío que viene de los polos.

Si la tierra estuviera inmóvil, la dirección de este viento sería exactamente de norte y sud hacia el ecuador, es decir, que seguiría la dirección de los meridianos.

Pero, produciéndose la composición de los dos movimientos, que varía de punto á punto porque la velocidad

de rotación en el ecuador es máxima, y nula en los polos, el movimiento resultante produce un viento constante que va de este á oeste en el ecuador.

En las capas superiores de la atmósfera se produce un *alisio-superior* ó un *contra-alisio*, como lo comprueban la marcha de las nubes elevadas ó la dirección de las cenizas de los volcanes.

661.—Vientos irregulares — Estos vientos son aquellos que ya soplan en una dirección, ya soplan en otra, sin que haya ninguna ley que los rija.

Los vientos más notables pertenecientes á esta categoría son los *ciclones* y las *trombas*.

—Los *ciclones*, son masas considerables de aire que están animadas de dos movimientos. Uno, de rotación alrededor de un eje vertical y otro de traslación.

El movimiento de rotación llega á la velocidad de 250 kilómetros por hora y el de traslación, hasta 45 kilómetros por hora.

La región de estos vientos es en la cercanías del ecuador, y es debido á la diferente velocidad de los vientos alisios.

En nuestro hemisferio el movimiento de rotación del ciclón es el del movimiento de las agujas de un reloj. El movimiento de traslación es, al principio, del Este al Oeste y al fin dobla para el Este.

Como vemos, en los *ciclones* el viento está animado de dos movimientos, uno de traslación y otro de rotación, por consiguiente, en uno de los bordes deben *sumarse* los dos movimientos, y por consiguiente, allí la velocidad será mayor, mientras que el otro borde del ciclón tendrá una velocidad pequeña.

El primer borde, se llama *borde peligroso* del ciclón y el segundo se llama *borde manejable*.

En el centro hay una relativa calma.

El ancho de los ciclones puede llegar á 2000 kilometros.

Los ciclones revelan su presencia por una baja considerable del barómetro, debido á la fuerza centrífuga desarrollada.

—Los ciclones, cuando abarcan poca extensión toman el nombre de *tornados*.

662.—Trombas.—Otro de los meteoros aéreos más notables, es la *tromba* que toma el nombre de *marina* ó *terrestre*, según tenga lugar en el mar ó en la tierra.

Este es un fenómeno *local*, pues no recorre más de 15 ó 20 kilometros.

—Consiste en una masa de vapores, suspendida en la parte inferior de la atmósfera y dotada de un movimiento rápido de rotación, que tiene la fuerza de despojar y desarraigar árboles, voltear casas y todo cuanto encuentra en su camino.

Su ancho no pasa de 200 metros.

—Cuando se produce en el mar, puede ser *ascendente* ó *descendente*.

En el primer caso, se ve que desde el mar se eleva como un cono de agua, que poco después se junta con otro cono que se forma en una nube.

Una vez que se unen los vértices de los dos conos, entonces se produce el movimiento de traslación de esa *masa de vapores*, la que se pone luminosa y dentro de ella se ve estallar el rayo, produciéndose un ruido considerable.

Si en su marcha encuentra un buque lo eleva á una gran altura hasta que rompiéndose la tromba lo deja caer y lo precipita en las profundidades del mar.

—Las trombas terrestres se forman de una manera análoga.

—*Daguin* describe una tromba que se produjo en las cercanías de *Rouen* el 19 de agosto de 1845.

«Reinaba un fuerte viento del sud. Después de medio día, un viento del sud-oeste arrastrando nubes muy negras, encontró el viento del sud, y formó un violento

torbellino, animado de un movimiento de traslación, que arrancó 180 árboles, torciéndolos casi todos y derrumbando un secadero de una fábrica de tejidos.

En el mismo momento, cayó una fuerte lluvia acompañada de granizo y de rayos. No había aún tromba propiamente dicha.

Después de haberse alejado y recorrido unos 4 kilometros, este torbellino se volvió de repente al valle, cerca de Malaunay y Monville, atravesando un bosque, cuyos árboles fueron talados cerca de su base.

Fué entonces, que se formó un enorme cono á contornos netamente delineados y negro como el humo del carbón de piedra. El vértice era de un color amarillo-rojizo; relámpagos partían del cono, y se oía un fuerte rumor. En pocos segundos, la tromba se trasportó sucesivamente, con una rapidez espantosa y en zig-zag, sobre tres fábricas de tejidos considerables las que aplastó con todos sus obreros. Los techos fueron levantados, y no quedó piedra sobre piedra. Las herramientas estaban rotas, torcidas; las piezas gruesas estaban quebradas, sobre todo en los puntos en que había grandes masas de metal.

Los árboles de las cercanías estaban volcados en todos sentidos y secos sobre una longitud de 2 á 7 metros.

Al remover los escombros para tratar de salvar á los desgraciados cubiertos por las ruínas, se notó que los ladrillos estaban ardientes. Se encontraron planchas quemadas, algodón tostado y quemado; muchas piezas de acero se encontraron imantadas.

Ciertos cadáveres presentaban quemaduras, otros no presentaban lesiones aparentes, como si hubieran sido heridos por el rayo. Obreros que fueron lanzados á las praderas vecinas, recordaron que habían visto fulgores y habían sentido un fuerte olor de azufre. Personas situadas sobre alturas, vieron las usinas envueltas por la tromba, cubiertas de llamas y humo y creyeron que se hubiera producido un incendio.

El ancho de la zona arrasada fué de 220 m. sobre la meseta de *Malaunay* á 2 kilómetros de donde los perjuicios habían empezado; de 307 m. en el medio y de 60 m. cerca de *Cléres* donde la tromba desapareció.

La longitud de la zona fué, poco más ó menos, de 15 kilometros.

Un hecho notable fué que los escombros de toda naturaleza, como tejas, vidrios, planchas, etc., cayeron cerca de *Dieppe* á una distancia de 25 á 38 kilómetros del lugar de la catástrofe. Estos objetos fueron apercibidos en el aire por varias personas y estaban tan elevados que los tomaron por hojas de árboles.

Entre estos escombros se cita una plancha de 1m40 de largo, 0,m12 de ancho y 0,m01 de espesor.

663.—Teoria de las Trombas.—Por la descripción de esta tromba parece que debieran tener razón los que explicaban las trombas diciendo, que era el resultado de dos vientos encontrados. Pero se ha visto que se han producido trombas y han desaparecido en medio de la más perfecta calma.

—La teoría más satisfactoria es la de *Peltier*, que atribuye las trombas á la electricidad de las nubes.

Supone *Peltier*, haberse formado una nube muy densa y cargada de electricidad, la cual obrará por influencia sobre el suelo el cual á su vez, reaccionará sobre la nube atrayéndola. Esta atracción hará que se forme una protuberancia en la nube, protuberancia que se irá alargando cada vez más, por la mayor acumulación de la electricidad, hasta que terminará en punta y se formará un cono.

Si el fenómeno sucede en el mar, el agua electrizada por influencia será á su vez atraída por la nube, luego también se formará una protuberancia que al fin terminará en punta, hasta que se une con el cono de la nube. Pero, el cono de agua estará formado por pequeñas gotitas de agua por la repulsión que se verifica entre moléculas cargadas de electricidad del mismo nombre.

Si la tromba se forma sobre la tierra, entonces el cono inferior se formará de tierra y cuerpos livianos.

Una vez obtenido el contacto de los dos conos, la nube se descargará por ese conductor imperfecto y ese escape de electricidad se verificará arrastrando el aire interior del cono, el cual se mueve elicoidalmente, es decir, animado de un movimiento rotatorio, como cuando se vierte un líquido por un embudo. Esa es la causa del movimiento rotatorio de la tromba, movimiento que se pone de manifiesto porque los árboles volteados están inclinados en todas direcciones.

Los relámpagos y rayos producidos, la fusión de los metales, la carbonización de la madera, los cadáveres sin lesión exterior alguna, etc., ponen de manifiesto la presencia de la energía eléctrica y parecen comprobar esta teoría.

664.—Las trombas, nos permiten explicar la lluvia de arena, de tinta, de sangre, de sapos, de peces, etc.

Garnier cita el curioso caso siguiente:

«El 8 de julio de 1833, se formó una tromba en el mar, cerca de Nápoles. La tromba se dirigió á la costa donde había una cierta cantidad de cestas con naranjas las que fueron arrebatadas por la tromba.

Algunos instantes después, unos habitantes de una casa bastante lejana, fueron agradablemente sorprendidos por una lluvia de naranjas».

CAPÍTULO XVI

METEOROS ACUOSOS

665.—Humedad.—Los meteoros acuosos, son debidos á la presencia del vapor de agua en la atmósfera.

En todas las zonas y en todas las estaciones, el aire contiene ciertas cantidades de vapor de agua, que se pueden medir por medio de los aparatos que ya hemos descripto llamados *Higrómetros.*

Dijimos también, que se llamaban *estado higrométrico* del aire la relación que existía entre la cantidad de vapor que hay en el ambiente y la que debía existir si estuviera saturado, *á la misma temperatura.*

De manera que el estado higrométrico, no depende solamente de la cantidad de vapor de agua, como se comprueba en el *invierno*, en que el aire parece *más húmedo* y sin embargo, contiene menos vapor de agua que en el verano, sino también de la temperatura.

666.—Nieblas, nubes.—Cuando se enfría la atmósfera, el vapor de agua se condensa, en forma de gotitas pequeñísimas que se sostienen en suspensión, por la resistencia que á la caída opone el aire, como cuando queda polvo en suspensión y además, por las corrientes *ascendentes* del aire caliente que está en contacto con la tierra.

Cuando esta condensación *se hace cerca de la superficie* de la tierra, ese vapor de agua condensado se llama *niebla.*

Esas nieblas se producen más fácilmente en los terrenos bañados ó cerca de los mares, ríos y lagunas.

667.—Cuando la condensación *se hace á una cierta altura*, ese vapor de agua condensado se llama *nube*.

Al elevarse el vapor de agua con el aire caliente y al llegar á una capa atmosférica más fría, el vapor de agua disminuye de tensión y se condensa en forma de gotitas pequeñísimas.

Para explicar la suspensión de las nubes, hay la teoría de *Halley* y la de *Monge*.

—*Halley* supone que el vapor condensado toma la forma de un globo, como los globos de jabón, y por consiguiente, que las nubes están formadas por *vejiguillas* pequeñísimas, huecas y llenas de un aire más caliente que el ambiente.

De modo, pues, que esas vejiguillas flotarían en el aire como los globos.

—*Monge* acepta que las nubes están formadas de *gotitas* pequeñísimas que se sostienen en el aire como el polvo, y que están además sostenidas por las corrientes ascendentes de aire caliente.

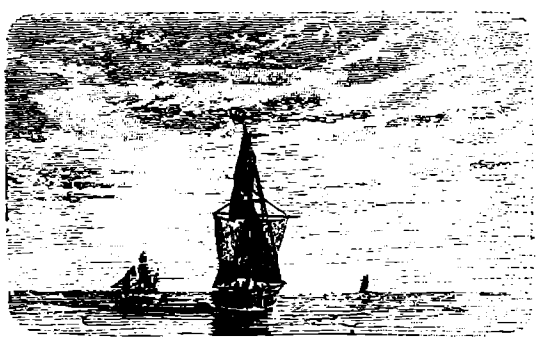


Fig. 387
Cirrus

La inmovilidad de las nubes no es más que aparente, pues las nubes están *continuamente cayendo*, pero al bajar, la parte inferior de la nube se desvanece ó vaporiza al encontrar las capas de aire caliente y ese vapor se eleva yendo á condensarse otra vez más arriba. De manera, pues, que las nubes se van regenerando continuamente.

—La altura media de las nubes es de 500 á 2000 metros, pero *Gay-Lussac,* en una ascensión aerostática en que llegó á 7000 metros de altura, vió sobre sí, nubes que parecían estar á gran distancia.

D'Abbadie, dice que ha observado en *Etiopía* nubes á solo 212 metros del suelo.

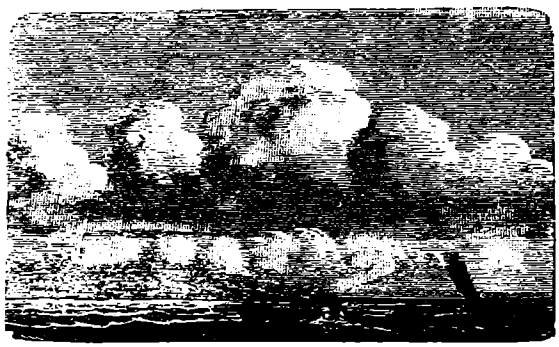


Fig 388
Cúmulus

668.—Las nubes, por sus apariencias, pueden dividirse en *Cirrus*, *Cúmulus*, *Stratus* y *Nimbus*.

Los *Cirrus* son unas nubes pequeñas, blancas, generalmente aisladas *(fig. 387)*, ofreciendo el aspecto de filamentos como si fuese lana cardada.

Dada la gran altura á que están se les considera como formadas por copos de nieve.

Fig. 389
Stratus

—Los *Cúmulus* *(fig. 388)*, son nubes blancas redondeadas, presentando el aspecto de montañas superpuestas, y que se forman generalmente en el verano.

—Los *Stratus (fig. 389)*, son nubes en forma de capas horizontales y que ocupan el horizonte, sobre todo á la hora de la entrada del sol.

—Finalmente, los *Nimbus (fig. 390)*, son nubes que

no afectan ninguna forma definida, que ocupan una gran extensión de cielo y que generalmente se resuelven en lluvias.

Fig. 390
Nimbus

669.—Lluvia, pluviómetro.—La lluvia es la caída del vapor de agua de la atmósfera que se había condensado formando nubes.

Las gotitas se reunen y forman gotas, las que al caer, si encuentran capas de aire seco, disminuyen de volumen y si encuentran capas húmedas, aumentan de volumen.

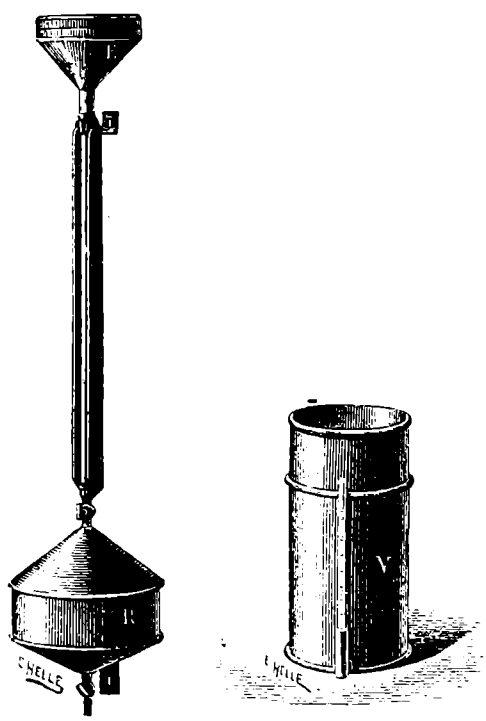


Fig. 391
Pluviómetros

Son los vientos los que determinan la lluvia en la tierra, pues, si el aire no tuviera esas corrientes, las nubes se formarían sobre los mares y lagos y allí mismo llovería en cada enfriamiento, mientras que sobre los continentes no llovería nunca.

670.—La cantidad de lluvia caída, se mide por medio del *Pluviómetro* ó *Udómetro* (*figura 391*), que consiste en un embudo *E* donde cae el agua

y que pasa á un recipiente *R* para que no se evapore. Cuando se quiere medir, se pasa el agua del recipiente *R* al *V*, el cual es cilíndrico y de una sección igual á la del embudo.

Un tubo de vidrio lateral comunicando con el recipiente *V* y graduado, permite medir la altura del agua caída.

En París el agua caída en un año alcanza á una capa de agua de 60 centímetros de altura, y á 3 metros en el Ecuador.

671.—Sereno.—El sereno es una especie de lluvia ó precipitación de agua, muy fina, sin que haya apariencias de nubes.

Este fenómeno se produce sobre todo en verano en los parajes húmedos, después que se pone el sol y cuando las capas inferiores del aire bajan su temperatura á un punto menor que el punto de saturación.

672.—Rocío, helada.—El rocío es un *depósito* de pequeñas gotitas de agua, que se hace durante la noche sobre los cuerpos *que están en la superficie* de la tierra.

Wells, explica este fenómeno de la siguiente manera:

Después que entra el sol, la tierra y la atmósfera empiezan á irradiar calor hacia los espacios celestes. Luego, tanto la tierra como la atmósfera se enfrían, pero, como el poder emisivo de la tierra es mayor que el del aire, resulta que la tierra se enfría antes que la atmósfera y lo mismo sucede con los cuerpos que están sobre la tierra; luego también estarán más frías las capas más bajas de la atmósfera que están en contacto con esos cuerpos, y por consiguiente, el vapor de agua que contiene el aire se condensará, como se condensa en los higrómetros á condensación.

—Muchas observaciones, confirman la verdad de esa teoría.

Así, por ejemplo, si ponemos al aire libre dos chapas metálicas iguales, pero una pulimentada y la otra con asperosidades, al fin de un cierto tiempo, se habrá depositado *más rocío sobre la chapa no pulimentada* porque ella tiene un poder emisivo mayor.

Un viento fuerte, impide el rocío, pues no deja al aire el tiempo necesario para enfriarse.

Un viento débil, aumenta el rocío porque va renovando lentamente el aire, el cual deposita su vapor de agua.

La presencia de nubes impide su formación, porque en este caso, el intercambio de calor se hace entre la tierra y la nube que es más caliente que los espacios celestes.

673.—Si el enfriamiento de la tierra es á la temperatura menor que 0°, entonces el vapor de agua se condensa en forma de cristales sólidos de hielo, que se llama *Helada blanca.*

Junto con las heladas, suele producirse la congelación de algunas plantas que mueren, debido á que congelándose la savia que está en los tejidos, la savia aumenta de volumen rompe los tubos capilares y la planta se desorganiza.

Se combate el efecto de las heladas extemporáneas, quemando en las huertas substancias alquitranadas para que dé mucho *humo*, el cual le sirve de pantalla protectora.

674.—Nieve.—Gresil.—Verglas.—Cuando la condensación del vapor de las nubes, se hace á una temperatura *menor que cero*, en vez de gotas de agua caen agujas de hielo cristalizadas bajo formas regulares (*fig. 392*), que se pueden examinar fácilmente recogiendo la nieve en un género negro de lana que se ha enfriado previamente.

Al caer, suele licuarse, debido á que encuentra en su camino capas de aire caliente.

—El *Gresil*, es también agua solidificada en las altas regiones, pero en vez de caer en cristales aislados, cae como *una masa* de cristales aprensados unos con otros de una manera irregular.

Esta formación se atribuye á que la congelación ha sido hecha en medio de un aire agitado.

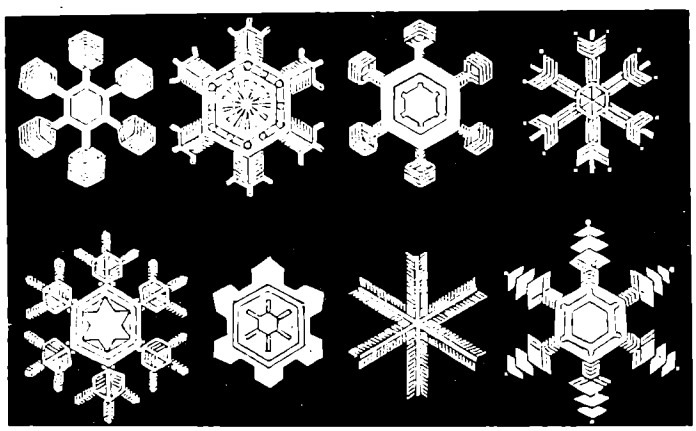


Fig. 392
Cristales de nieve

—El *Verglas* es una capa de hielo unido y transparente que se forma en el suelo después de una pequeña lluvia, aunque el suelo no esté á cero grados.

Se atribuye esa formación á que las gotas llegan al suelo en estado de *sobrefusión* y en virtud del choque, se solidifican instantáneamente.

675.—Granizo.—El *granizo* son granos de hielo compacto, que caen en primavera y verano, al principio de las tormentas.

Para explicar su formación, se supone que las agujas de hielo de los cirrus, caen sobre un cúmulus, el cual se encuentra *muy elevado* á causa de una fuerte corriente ascensional de aire caliente, pudiendo llegar estos cúmulus hasta las regiones que tienen una temperatura menor que 0°; luego las gotitas están en *sobrefusión*

hasta que las agujas de hielo del cirrus cayendo provocan su congelación, y esos núcleos aumentan de volumen por la adhesión de capas sucesivas.

Para explicar el volumen considerable del granizo, que puede llegar á pesar hasta 300 gramos, *Volta* supone, que estos se forman en una nube electrizada y que, si bajo ella hay otra nube cargada de electricidad contraria, entonces, estos granos son alternativamente atraídos y rechazados, como se comprueba con el experimento del granizo eléctrico, y chocando unos con otros, se van fundiendo y aumentando de volumen, hasta que *descargándose* de golpe esa nube, por la producción de un rayo, todos estos granos son abandonados á la acción de la gravedad y caen.

Parece ser cierta la teoría, pues se observa que llegan al suelo, primeramente los granos más grandes.

Además, esta teoría explica perfectamente por el choque de uno contra otro grano, ese ruído especial semejante á un saco de nueces que se vuelca, que es precursor de la caída del granizo.

CAPÍTULO XVII

CALORIMETRIA

676.—Cantidad de Calor.—*La calorimetría,* tiene por *objeto medir* la *cantidad* de calor *desarrollada* ó *absorbida* en la producción de un fenómeno cualquiera.

Aunque no hayamos hablado todavía de la *naturaleza* del calor, sin embargo podemos hablar de *Cantidades de Calor*, pues nos bastará observar que para calentar *dos* kilogramos de agua, necesitaremos *dos* veces más calor que para calentar *un* kilogramo solamente. Luego, la *cantidad* de calor consumida en la primera operación es *doble* que la gastada en calentar *un* solo kilogramo.

Por consiguiente, podemos *comparar* esas cantidades aunque en absoluto, no sepamos lo que son.

677.—Caloria.—La *Unidad* que se ha elegido para medir las cantidades de calor, es una *unidad secundaria*, que se le ha dado el nombre de *Caloría* y es:

La cantidad de calor necesaria para elevar de 0° á 1° centígrado la temperatura de un kilogramo de agua pura.

Esta, suele también llamarse *Gran Caloría*, en contraposición de la *pequeña caloría*, que es la unidad del sistema *C. G. S.*, en la cual la definición no varía sino poniendo *gramo* en vez de *kílogramo*.

—De la definición resulta, que *10 calorías* significaría la cantidad de calor necesaria para elevar de *0°* á *1°* la temperatura de *diez kilogramos* de agua pura.

678.—Calores específicos.—Si se mezclan *1 kilogramo* de agua á *0°* con *1 kilogramo* de agua á *100°*, se obtienen *dos* kilogramos de agua á *50°*. Lo mismo sucedería si mezcláramos *1 kilogramo* de una substancia cualquiera con *1 kilogramo* de la *misma substancia* á distinta temperatura. Los *dos kilogramos* así formados, tendrían una *temperatura media.*

—Pero, *esto no es cierto* si se mezcla un kilogramo de una substancia con un kilogramo de *otra* substancia.

—Así, si se mezcla *1 kilogramo de hierro* á *50°* con *1 kilogramo de agua* á *0°*, se tienen *dos kilogramos* de mezcla cuya temperatura *es de 5°*, próximamente.

Por consiguiente, el agua *ha ganado 5°*, y el hierro *ha perdido 45°.*

Luego, vemos que *la misma cantidad* de calor produce sobre *pesos iguales*, de diferentes substancias, *variaciones desiguales de temperatura* y por consiguiente, para elevar de *un grado* la temperatura de pesos iguales de substancias diferentes, es necesario darle cantidades de calor desiguales.

En el caso del *hierro* y el *agua* vemos que el agua necesita *9 veces* más calor que el hierro, para elevarse á la misma temperatura.

—*La cantidad de calor expresada en* CALORÍAS *para elevar de 0° á 1 la temperatura de un kilogramo de un cuerpo cualquiera, se llama su* CALOR ESPECÍFICO.

Por este enunciado vemos, que la *unidad* de medida de los calores específicos es la *caloría*, es decir, el calor específico del agua.

Si el cuerpo no tiene una *unidad de masa* sino una masa *p* y llamamos *c* su *calor específico*, el producto:

$$p\,c$$

se llama *capacidad calorífica* de dicho cuerpo.

679.—Experimento de Tyndall.—Este experimento per-

mite poner de manifiesto de una manera evidente, que cada cuerpo absorbe una cantidad distinta de calor al elevarse á una *misma temperatura*, ó que estando á la misma temperatura, *contiene cantidades distintas* de calor.

Se toma una torta de cera de *15* á *20 centímetros* de diámetro y un centímetro de espesor, que se coloca sobre un soporte anular *(fig. 393)*.

En un baño de agua ó aceite, se calientan unas esferi-

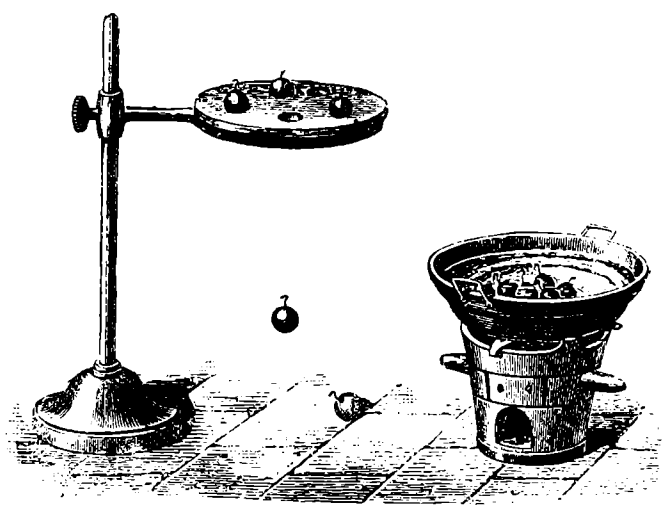


Fig. 393
Experimento de Tindall

tas de *hierro*, *cobre*, *estaño*, *plomo* y *bismuto*, todas ellas del *mismo diámetro* y *mismo peso*, á cuyo efecto algunas esferas son más ó menos huecas.

Después que estas esferas han tomado la temperatura del baño, se toman y se colocan sobre la torta, observándose que la de *hierro* la hiende inmediatamente, la de *cobre* la atraviesa también, pero después de un cierto tiempo, la de *estaño* no alcanza á atravesarla y las de *plomo* y *bismuto* solo penetran unos pocos milímetros en la torta.

De donde se deduce, que á pesar de tener la *misma*

temperatura, *volumen y peso*, cada esferita tiene una *cantidad* diferente de calor.

680.—Enunciación de los diferentes métodos para la determinación de los calores específicos.—Tres son los métodos adoptados para la determinación del calor específico de los cuerpos y son: el del *enfriamiento*, el de la *fusión del hielo* y el de las *mezclas*.

—El *método del enfriamiento* se basa en un principio según el cual dos cuerpos que tienen igual superficie é idéntico poder emisivo, emplean para enfriarse un número dado de grados, *tiempos proporcionales* á los productos de sus pesos por sus calores específicos.

—El método de la *fusión de hielo* está basado en el siguiente hecho:

Si se mezcla *un kilogramo de hielo* con un kilogramo de *agua* que está á la temperatura de *79°,25*, se obtienen *dos* kilogramos de *agua á la temperatura de 0°*.

Vemos, pues, que la temperatura de la mezcla ha quedado á *0°* de temperatura, luego *un kilogramo de hielo necesita 79,25 calorías, para pasar del estado sólido al líquido, sin variar de su temperatura.*

—Finalmente, *el método de las mezclas es el único verdaderamente exacto y directo*, pero es necesario rodearse de ciertas precauciones que indicaremos á continuación.

681.—Calorímetro de agua.—Este método debido á *Black* y adoptado por *Dulong* y *Petit* y perfeccionado por *Regnault*, se aplica á los cuerpos en los tres estados.

El método está basado en lo siguiente:

Se calienta el cuerpo á una temperatura cualquiera, *después de haberlo pesado*, y enseguida se le introduce en una masa de *agua* cuyo *peso* y *temperatura* son conocidas.

Ahora bien, el cuerpo se *enfriará* en el agua, pero esta se *calentará* hasta que el *cuerpo* y el *agua* se pondrán á la misma temperatura, la que *se mide*.

De esta cantidad de calor que el cuerpo *ha cedido* al agua se determina el *calor específico*.

682.—El *calorímetro á agua* consiste en una vasija cilíndrica *(fig. 394)* de *plata* ó *latón* de paredes delgadas y muy pulidas, que se llenan de agua.

Un *termómetro* da la temperatura del agua y un agitador *a* sirve para remover el líquido con el objeto de que la temperatura sea uniforme en toda la masa líquida.

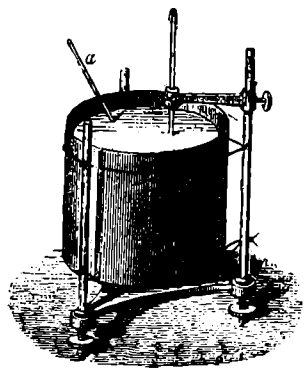


Fig. 394
Calorímetro de agua

—Para operar, se calienta el cuerpo y se determina su temperatura T, se determina también la temperatura t del agua y enseguida se introduce el cuerpo en el calorímetro.

Se agita el agua y al cabo de un cierto tiempo se ve que el termómetro *cesa de subir*, en cuyo caso el *cuerpo* y *el agua* tendrán la misma temperatura θ.

Llamemos P el peso del cuerpo y p el peso del agua.

—En esta operación el cuerpo *ha perdido calor* y el agua *ha ganado calor* y estas cantidades *son iguales*.

El cuerpo, al pasar á la temperatura θ se ha *enfriado* de:

$$T - \theta \text{ grados}$$

y el agua, se ha *calentado* de:

$$\theta - t \text{ grados}$$

y si llamamos x el calor específico del cuerpo y c el calor específico del agua, tendríamos que:

$$x\,(T - \theta)$$

representaría la *cantidad* de calor que *ha perdido* el cuerpo al bajar á la temperatura θ, pero esto *en el caso de que el cuerpo pesara un kilogramo*, y como el cuerpo pesa P *kilogramos*, resulta que:

$$(1) \qquad P\,x\,(T - \theta)$$

representa la *cantidad de calor* que *ha perdido* el cuerpo.

—Análogamente:

$$p\,c\,(\theta - t)$$

representa la *cantidad de calor* que ha *ganado* el agua, pero como el ca-

lor específico c *es igual á* **1**, resulta que el calor ganado por el agua, está expresado por:

$$(2) \qquad p\,(\theta - t)$$

Ahora bien, ya dijimos que las expresiones (**1**) y (**2**) *deben ser iguales* luego se tiene:

$$Px\,(T - \theta) = p\,(\theta - t)$$

y despejando x, sale:

$$x = \frac{p\,(\theta - t)}{P(T - \theta)}$$

683.—En realidad, la fórmula no es tan sencilla, pues el calor del cuerpo no se ha empleado solamente en calentar el agua, sino que se ha empleado también en calentar la *vasija*, el *agitador*, el *tubo* y el *mercurio* del termómetro.

Entonces llamando p', p'', p''', p^{IV}, los *pesos* de estos cuerpos y c', c'', c''', c^{IV}, sus *calores específicos* la fórmula sería:

$$Px\,(T - \theta) = p\,(\theta - t) + p'\,c'\,(\theta - t) + p''\,c''\,(\theta - t)$$
$$+ p'''\,c'''\,(\theta - t) + p^{IV}\,c^{IV}\,(\theta - t)$$

de donde:

$$x = \frac{(p + p'\,c' + p''\,c'' + p'''\,c''' + p^{IV}\,c^{IV})\,(\theta - t)}{P\,(T - \theta)}$$

Además, hay otras *causas de error*, como por ejemplo el calor que se pierde por *conducción* del soporte del calorímetro y el que se pierde por *radiación*.

El primer inconveniente se disminuye, sosteniendo el calorimetro como lo muestra la figura, sobre hilos de seda, ó sobre tres conitos de marfil.

—La segunda causa de error se disminuye haciendo que el calorimetro sea *bien pulido* y además, suspendiéndolo dentro de otra vasija cilindrica bien pulida *interiormente* con lo cual, el calor que se pierde por radiación *es reflejado* en la pared interior de la segunda vasija y restituido al aparato; en su mayor parte.

684.—Si se tratara de determinar el *calor específico de un líquido*. se reemplaza el agua del calorímetro *por el líquido* en cuestión y el cuerpo caliente, por una esfera de metal cuyo calor especifico *es conocido*.

Puede también introducirse el *líquido* en un tubo de vidrio bien cerrado y proceder como para los cuerpos sólidos.

685.—Calorímetro de Regnault.—*Regnault* ha perfeccionado el calorímetro á agua, y con él se disminuyen las causas de error.

Una estufa *A A* (*fig. 395*), recibe el vapor de agua que se produce en *B* y pasa por *e* al espacio anular *p p* que rodea á un caño central, dentro del cual se coloca el cuerpo, en fragmentos, en una cestita *c* sostenida por hilos de seda.

El espacio anular *i i* que contiene aire, impide que el vapor se enfríe.

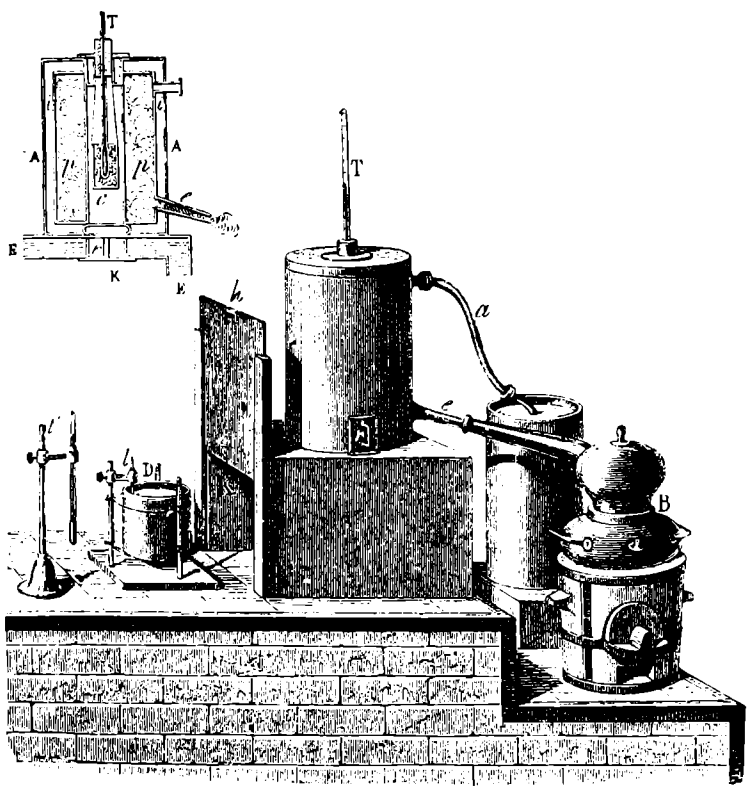


Fig. 395
Calorímetro de Regnault

Por el tubo *a* el vapor pasa á un *serpentín* donde se condensa.

El termómetro *T* da la temperatura del cuerpo.

Esta estufa está sostenida por un cajón *K* de dobles paredes, entre las cuales hay agua fría.

La cara movible ó pantalla *h* impide que por radiación se caliente el calorimetro *D*.

Cuando el termómetro *T* queda estacionario, se levanta la pantalla *h*,

se introduce el calorímetro dentro de la caja, se corta el hilo que sostiene la cestita, ésta cae en el calorímetro, el cual se retira rápidamente, y finalmente se procede como hemos indicado antes.

686.—Resultados.—Damos á continuación una tabla de *calores específicos* de varios cuerpos:

SUBSTANCIAS	TEMPERATURA	SUBSTANCIAS	TEMPERATURA
Aluminio	0.214	Latón	0.094
Hierro	0.114	Diamante	0 147
Cobre	0.095	Vidrio	0 198
Zinc	0 095	Agua	**1.000**
Plata	0.057	Hielo	0.500
Oro	0.324	Alcohol	0.615
Estaño	0.056	Aire	0 237
Mercurio	0.033	Oxígeno	0.218
Platino	0.032	Azoe	0 244
Plomo	0.031	Hidrógeno	3.409
Azufre	0.203	Acido carbónico	0.216
Yodo	0 054	Cloro	0.121

—Los calores específicos de los gases son dados *bajo presión* constante.

—Estos *calores específicos* son para temperaturas comprendidas entre *0°* y *100°*.

Para otras temperaturas, serían distintos, serían *mayores*, pues *Dulong* y *Petit*, dicen que los calores específicos *aumentan* con la temperatura.

—Observamos en esa tabla, que el calor específico del *hielo* es la mitad de la del agua y que, excepto el *hidrógeno*, el *agua* es el cuerpo que tiene *mayor* calor específico.

Es por eso que las *variaciones* extremas de la temperatura en los litorales, es menor que en los puntos mediterráneos.

El agua hace el papel de moderador de la temperatura.

Cuando la temperatura se eleva, *el agua absorbe* gran cantidad de calor, y cuando la temperatura *baja*, parte del calor absorbido es *emitido* y se opone á un enfriamiento demasiado grande.

CAPÍTULO XVIII

PROPAGACIÓN DEL CALOR

687.—Conductibilidad y Radiación.—Cuando se calienta *una parte* de un cuerpo, las *otras partes* también se calientan poco á poco.

—Si *un cuerpo* caliente se pone en *contacto* con otro más frío, este cuerpo también se calienta.

—Lo mismo sucede si los dos cuerpos están á una cierta *distancia.*

—Finalmente, si se calienta una capa de *un fluído*, el calor se transmite rápidamente á las capas superiores.

De esto se deduce que hay tres medios para la propogación del calor:

1º Por *Conductibilidad*, es decir, por una sucesiva propación *de molécula á molécula.*

2º Por *Radiación*, que se hace rápidamente y á distancia, *sin que se caliente el medio intermedio* ó el vacío que hay entre el cuerpo frío y el caliente.

Así, por ejemplo, la estufa nos calienta sin aumentar sensiblemente la temperatura del aire, pues *si colocamos una pantalla* entre nosotros y la estufa, cesará completamente la sensación del calor.

3º Por *Convección* ó por el *transporte de moléculas* calientes, cuya densidad disminuye, á la parte superior de una masa fluída, siendo éstas reemplazadas por otras más frías.

Este fenómeno ya lo hemos estudiado, por cuyo motivo no insistiremos en él.

Sólo diremos, que lo que se ha dicho para el agua, se aplica á todos los *fluídos*.

688.—Buenos y malos conductores del calor.—Si se calienta el extremo de una barra *de metal*, se nota que al poco rato el otro extremo también está caliente.

En cambio, si en vez de ser una barra de metal es de *madera*, veremos que aunque uno de los extremos esté enrojecido el otro no eleva sensiblemente su temperatura.

El metal es un *buen conductor* y la madera es *mal* conductor.

En general, los *metales* y *piedras* densas son buenos conductores y las *maderas, substancias orgánicas tejidos*, etc,, son malos conductores.

Es por eso, que si se tocan simultáneamente un *metal* y un *tejido* que están en una misma habitación y por consiguiente, que están á una *misma temperatura*, se notará que el metal parece más *frío* que el tejido.

El tejido que es *mal conductor*, hace que el calor cedido por la mano *quede* en el punto de contacto y lo calienta. Mientras que el metal que es *buen conductor*, lo *transmite* inmediatamente á las demás partes del cuerpo; luego la mano sigue cediéndole calor, y de allí la sensación del frío.

689.—El gran poder conductor de los metales puede ponerse de manifiesto con el siguiente experimento:

Se toma una esfera ú objeto redondo de metal y se envuelve en un pañuelo haciendo que éste esté en perfecto contacto con la superficie.

Enseguida, se toma un carbón encendido y se aplica sobre el pañuelo, notándose el extraño fenómeno de que el pañuelo *no se quema*, lo cual es debido á que el calor que recibe el pañuelo es transmitido por el cuerpo metálico al resto del cuerpo, no dejando al pañuelo que eleve su temperatura hasta carbonizarse.

690.—Experimento de Ingenhousse.—Este experimento permite *comparar* los poderes conductores de los sólidos.

Se toman varias varillas de la misma longitud y sección, formadas de las substancias cuyo poder conductor se quiere comparar y se sumergen en un baño de cera, retirándolas en seguida y dejándolas enfriar, de manera que las varillas queden recubiertas de una débil capa de cera.

A continuación, se encastran estas varillas en una caja de latón (*fig. 396*) que contiene agua.

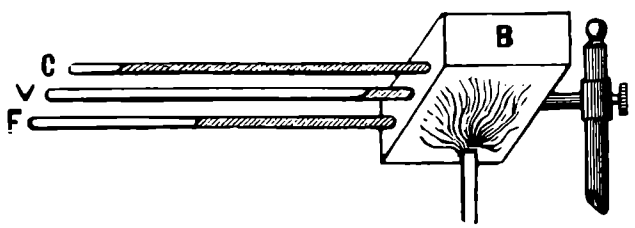


Fig. 396
Experimento de Ingenhousse

Se calienta el agua y se verá que la cera de las varillas se fundirá hasta una cierta longitud.

Si suponemos que las varillas son de *cobre*, *hierro* y *vidrio*, se verá como en la figura, que en el *cobre* se funde una mayor longitud que el *hierro* y en éste más longitud que en el *vidrio*, lo cual nos prueba que el *cobre* es mejor conductor que el *hierro* y éste mejor que el *vidrio*.

691.—Ley de Fourier.—Estos experimentos nos permiten determinar el *coeficiente de conductibilidad*, que es el número que caracteriza el poder conductor de cada cuerpo, *ó sea, el número de calorías que pasan en un segundo de una cara á la cara opuesta de un cubo de un centímetro de lado, estando estas dos caras á 1º de diferencia de temperatura y siendo las otras caras, impermeables al calor.*

Fourier, por medio del *problema de la barra* y aplicando el cálculo dedujo la siguiente Ley:

Si las distancias de las secciones de la barra, á la extremidad caliente, crecen en progresión aritmética los excesos de temperatura sobre la del aire ambiente decrecen en progresión geométrica.

692.— Experimento de Despretz.—El experimento de *Despretz*, viene á comprobar la verdad de esta ley.

Se toma una barra metálica y á una cierta distancia del extremo que se va á calentar (*fig. 397*) se hacen de *decímetro en decímetro*, unas pequeñas cavidades que se llenan de mercurio y en el cual se sumerge la ampolleta de una serie de termómetros.

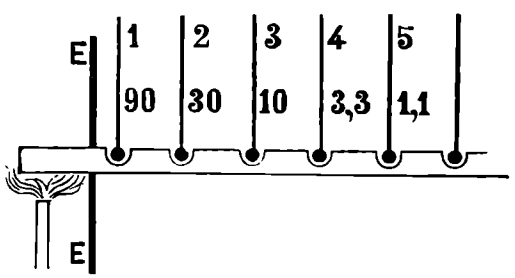


Fig. 397
Experimento de Despretz

Se calienta el extremo de la barra y si suponemos que el *primer termómetro* marque 90° y el *segundo* marque 30°, se observará que los otros termómetros *marcarán* sucesivamente:

$$10^{o};\ 3^{o},3;\ 1^{o},1$$

pero estas cantidades:

$$\mathbf{90^{o};\ 30^{o};\ 10^{o};\ 3^{o},3;\ 1^{o},1}$$

son los términos de una progresión decreciente *geométrica*, cuya *razón* es:

$$\frac{30}{90} = \frac{1}{3}$$

luego, queda comprobada la ley de *Fourier*.

693.—Experimento de Wiedemann y Franz.—El experimento de *Despretz* tiene el inconveniente de destruir la conti-

nuidad de la barra por la serie de cavidades, y *Wiedemann* y *Frantz* salvaron ese inconveniente, *marcando* las distancias sobre la barra y *determinando la temperatura* por medio de la pila *termo-eléctrica.*

Si la barra es suficientemente larga, á partir de una cierta sección, la temperatura queda constantemente igual á la temperatura ambiente.

Esta ley es sólo aplicable á los cuerpos homogéneos.

694.—Propiedades de las telas metálicas.—Si se coloca una tela metálica *sobre una llama* se verá que la llama se corta (*fig. 398*).

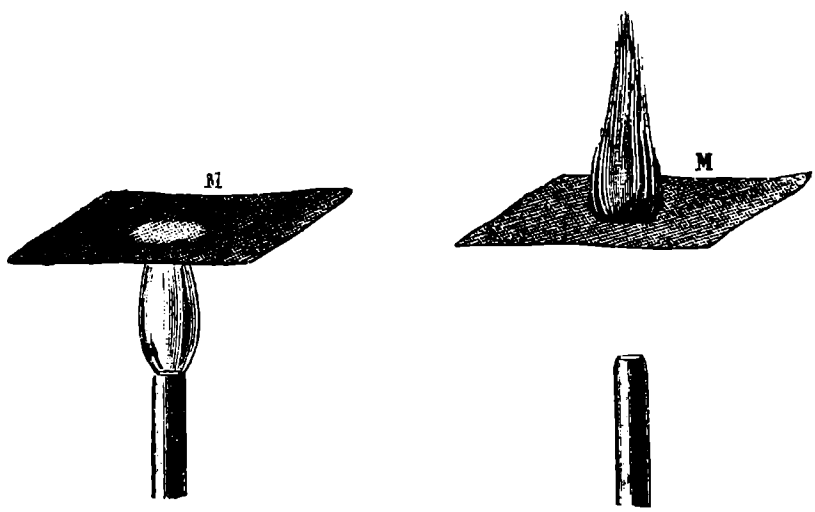


Fig. 398 Fig. 399

Propiedades de las telas metálicas

También, si se deja escapar un chorro de gas, se le interpone una tela metálica (*fig. 399*) y se prende el gas *sobre la tela,* se tendrá una llama sobre la tela pero la llama no se transmitirá á la parte inferior.

Esto es debido á que la tela metálica en el primer experimento, se calienta, y propaga rápidamente el calor de la llama, con lo cual, el gas que pasa á la parte superior ya no encuentra la temperatura suficiente para inflamarse.

Por otra parte, la *convección* del aire hace que la

lámina se enfríe más rápidamente. Cuando la tela se calienta demasiado puede producirse la combustión.

695.—Lámpara de Davy.—Esta propiedad de las telas metálicas ha sido aplicada á la construcción de la *lámpara de los mineros*, pues es sabido que en las minas de carbón, se produce el desprendimiento de *protocarburo de hidrógeno* que los mineros llaman *grisou*, el cual al mezclarse con 8 ó 10 volúmenes de aire, se convierte en la *mezcla detonante;* luego, explota cuando se pone en contacto con una llama.

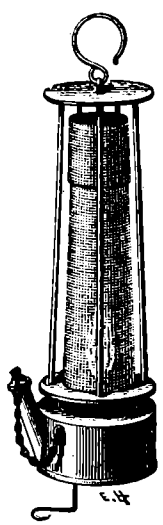


Fig. 400
Lámpara de Davy

Esta lámpara (*fig. 400*) está constituída por una lámpara á aceite ordinaria, en la cual, el *tubo* de vidrio está reemplazado por un tubo de tela metálica cerrado por arriba.

De esa manera si el *grisou* penetra dentro del tubo, allí arde, pero la llama no puede transmitirse al exterior.

Puede comprobarse, en los gabinetes, lanzando un chorro de gas del alumbrado contra la tela de una lámpara de *Davy* prendida.

El gas penetra al interior y arde, pero la llama no se transmite al exterior.

696.—Conductibilidad de los liquidos.—Los líquidos, son muy *malos conductores*, excepto el *mercurio*, cuya conductibilidad es *0.41* de la del *plomo*.

Sin embargo, vemos que los líquidos *se calientan* fácilmente cuando se les coloca sobre un foco calorífico pero esto se explicará más adelante por la *convección*.

697.—Experimento de Despretz.—Para probar que la propagación del calor por los líquidos se hace muy lentamente, nos valdremos del experimento de *Despretz*.

Al efecto, tomemos una vasija cilíndrica de 1^m de altura y 0^m20 de diámetro, con una serie de agujeros laterales colocados á la misma distancia y en los cuales se introduce una série de termómetros (*fig. 401*).

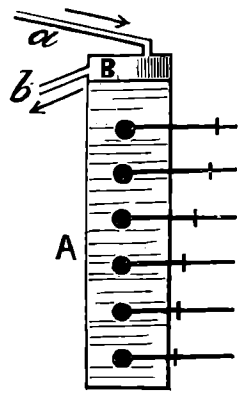


Fig. 401
Experimento de Despretz

Se llena de agua y sobre su superficie se apoya un recipiente *B* por el cual pasa constantemente una corriente de agua caliente, que penetra por el caño *a* y sale por el *b*.

Se necesitan de 30 á 36 *horas* para que los termómetros queden estacionarios, lo cual prueba cuan lentamente se produce la propagación del calor.

Por otra parte, la temperatura acusada por los termómetros, nos demuestra que aquí también es exacta la ley de *Fourier*.

698.—Convección. — Ya dijimos, que parecía que los líquidos fueran buenos conductores del calor por la rapidez con que elevan su temperatura.

Ya vimos, por el experimento anterior, que eso no es cierto, cuando se pretende calentar el agua aplicando el calor por la parte superior.

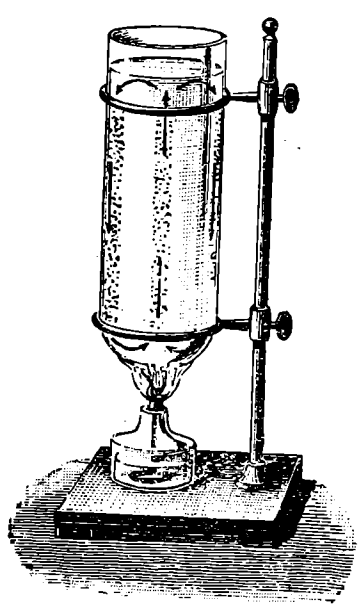


Fig. 402
Convección

—Cuando se calientan por la parte inferior, la transmisión del *calor se hace por corrientes* ó por *convección*.

Las capas líquidas inferiores que están en contacto con la pared caliente, se dilatan, disminuyen de densidad y por consiguiente tratan

de elevarse, siendo reemplazadas por otras más frías, las que á su vez se dilatan y se elevan, llevando el calor á las capas frías por las cuales cruzan y produciendo así un *movimiento* ascendente de líquido, por el centro (*fig. 402*) y descendente por las paredes.

La mezcla de las partes líquidas calientes con las frías, reparte el calor en toda la masa.

Se hace visible el fenómeno, arrojando en el agua *aserrín* ó pedazos muy chicos de *aluminio*, y entonces *se verán* perfectamente las corrientes.

699.—Conductibilidad de los gases.—Los gases son más malos conductores aún que los líquidos. Se calientan también por convección.

Según *Stefan*, el *aire* tiene una conductibilidad 17.000 veces menor que la del cobre.

El *hidrógeno* tiene una conductibilidad 7 veces *mayor* que la del *aire*, y como lo mismo sucede con su poder conductor eléctrico, se ha pretendido afirmar que el *hidrógeno es un metal.*

700.—Aplicaciones.—Continuamente se hacen aplicaciones de la buena ó mala conductibilidad de los cuerpos.

—Las estufas destinadas á expandir el calor, es necesario que sean de metal.

—Cuando se quiere transportar un cuerpo caliente, se le toma rodeando la mano con substancias malas conductoras, como tejidos, paja, etc.

—Análogamente se hacen de cuero, madera, etc., los mangos y manijas de utensilios en los cuales se eleva la temperatura de un líquido.

—En Estados Unidos se exporta el hielo en buques que van á la India, China, etc., y conservan ese hielo poniendo entre él y el buque, aserrín, así como entre los espacios libres.

—Las ventanas *dobles*, son muy convenientes, porque el aire interpuesto entre las dos ventanas, como es muy

mal conductor, impide que el calor de la habitación se pierda.

—Los vestidos esponjosos son muy convenientes para el invierno, porque la capa de aire que hay entre el cuerpo y la atmósfera, impide la pérdida del calor animal.

—Para conservar el te caliente, se cubre la tetera con un bonete de algodón.

—Para conservar el hielo se la envuelve en un trozo de franela.

—Finalmente, citaremos un caso curioso de que da cuenta *Garnier:*

En 1828, se había concluido en *Sicilia* el hielo, y un geólogo, *Gemellaro*, reveló la existencia de un banco de hielo en el monte *Etna*, el cual se encontraba recubierto de cenizas y escorias desde un tiempo inmemorial, cubierta, que por ser mala conductora, lo preservaba del calor del verano.

En un invierno, las cenizas de una erupción lo habían cubierto, se habían enfriado, fundiendo parte del hielo y habiendo preservado el resto, del calor de las lavas vomitadas por el volcán posteriormente y también del calor solar.

CAPÍTULO XIX

RADIACIÓN

701.—Calor radiante.—Ya dijimos que calor radiante es el calor que se comunica *á distancia.*

De esa manera, el calor del *Sol*, calienta á la *Tierra* después de atravesar un espacio vacío de *150 millones de kilometros.*

Si en una habitación se introduce una bala enrojecida, su presencia nos es manifestada por la sensación de calor que experimenta nuestro cuerpo.

Al estudiar el calor radiante, debemos considerar la *radiación luminosa* y la *radiación obscura.* El primer caso, es cuando el calor es emitido por un cuerpo incandescente, como la *llama*, el *sol,* un *metal incandescente*, etc., y la radiación obscura, es cuando el calor es emitido por un cuerpo no luminoso, como un recipiente con *agua caliente*, etc.

702.—Caractéres físicos de la radiación.—Podemos indicar los siguientes:

1º La radiación *se hace en todos sentidos*, para comprobar lo cual, nos basta colocar un termómetro en distintos puntos alrededor de un cuerpo caliente y en todos los puntos el termómetro nos marcará una elevación de la temperatura.

2º La radiación *se hace en línea recta*, en un medio homogéneo.

Para comprobarlo, tomemos un *foco calorífico*, un *termómetro* y una *pantalla* con un agujero.

Si colocamos este agujero, de manera que esté en la *línea recta* que une el foco calorífico con la ampolleta del termómetro, veremos que el termómetro acusa aumento de temperatura.

Si al contrario, el agujero no está en la línea recta, el termómetro no da manifestación alguna.

—3º El calor *se propaga en el vacío.*

Para comprobarlo nos valdremos del método de *Rumford,* que es el siguiente:

Se toma una esfera *V* (*fig. 403*), en cuyo centro tiene la ampolleta de un termómetro que atraviesa las paredes de la esfera.

Se le adapta un tubo *A* de 80 centímetros de longitud y se llena de mercurio el tubo y la esfera.

Enseguida se invierte sobre una cubeta *B* que contiene mercurio, como cuando se fabrica un *barómetro*, con lo cual se tendrá el *vacío barométrico* en la esfera *V*.

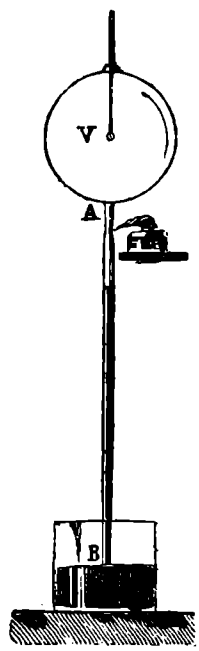


Fig. 403
Propagación del calor en el vacío

Por medio del soplete se funde el tubo en *A* y se cierra. Luego, tendremos una esfera *V* con un termómetro interior y también con el *vacío* en su interior.

—Esta es la primera parte del experimento.

Enseguida, introduzcamos esa esfera *V* (*fig. 404*) en una vasija que contiene agua caliente y se verá que inmediatamente el termómetro acusa aumento de temperatura.

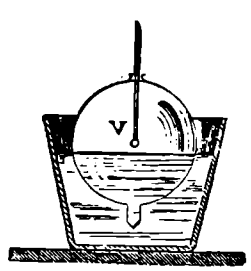


Fig. 404
Propagación del calor en el vacío

Podría objetarse que el calor se propagó por el vidrio de la esfera y el vidrio del termómetro hasta el

mercurio, pero esto se puede destruir diciendo, que si en el punto de unión del termómetro y la esfera se coloca hielo, el fenómeno es el mismo.

—Por otra parte, tenemos el calor solar, el cual antes de llegar á la atmósfera terrestre debe atravesar el *vacío* interplanetario, que solo suponemos está ocupado por el éter.

703.—Leyes de la intensidad del calor radiante—Debemos previamente decir que se llama *Intensidad* del calor radiante, la cantidad de calor que recibe la *unidad* de superficie durante la *unidad* de tiempo.

Las leyes son las siguientes:

1º La intensidad del calor irradiado, normalmente, está en razón inversa del cuadrado de la distancia de la superficie al foco calorífico.

2º La intensidad de los rayos caloríficos emitidos oblícuamente por una superficie radiante, es proporcional al coseno del ángulo que forman estos rayos con la normal á dicha superficie.

3º La intensidad de los rayos caloríficos que caen oblícuamente sobre una superficie, es proporcional al coseno del ángulo que forman los rayos incidentes con la normal á esa superficie.

704.—Velocidad del calor.—No ha sido posible aún determinar la velocidad del calor, pero como las leyes de la radiación *caloríficas son las mismas* que las de la radiación luminosa, debe suponerse que la velocidad de propagación del calor sea la misma que la de la luz, es decir, *300.000 kilometros* por segundo.

Por otra parte, se observará que si tenemos un termómetro ó termóscopo muy sensible y tenemos una pantalla entre el termómetro y el foco calorífico, si se saca la pantalla, el instrumento *instantáneamente* acusará aumento de temperatura.

705.—Equilibrio móvil de temperatura.—Si dos cuerpos *A* y *B* de *diferente temperatura* están en presencia, se observa que al cabo de un cierto tiempo los dos cuerpos están á la *misma temperatura.*

Se creía antes, que sólo el cuerpo más caliente irradiaba calor y que por eso el cuerpo más caliente se enfriaba y el cuerpo más frío se calentaba.

No es eso lo que sucede.

—*Los dos cuerpos irradian calor.*

El cuerpo más caliente *A* se enfría porque el calor que él irradia es *mayor* que la cantidad de calor que recibe del cuerpo *B* y recíprocamente, el cuerpo *B* recibe más calor que el que él envía, hasta que llega un momento en que enfriándose el cuerpo *A* y calentándose el cuerpo *B*, los dos llegan á la misma temperatura.

Desde ese instante, los dos cuerpos irradian tanto calor cuanto reciben; luego su temperatura queda constante.

Esto es, no tomando en cuenta el calor que se pierde en la irradiación en otros sentidos.

En este último caso, una vez que los cuerpos han llegado á la misma temperatura seguirá decreciendo la temperatura, pero siempre conservándose igual en ambos cuerpos.

Esta hipótesis es de *Prevost*.

706.—Ley del enfriamiento.—Cuando un cuerpo está en un ambiente de temperatura menor á la suya, la temperatura del cuerpo disminuye, es decir, *se enfría.*

La velocidad del enfriamiento, depende de la *superficie* del cuerpo, de su *poder emisivo*, de su *temperatura*, de la temperatura del *ambiente* y de la *naturaleza del medio* en que está colocado el cuerpo.

Newton, dió una Ley que es la ley del enfriamiento y dice:

La velocidad del enfriamiento de un cuerpo es proporcional al exceso de su temperatura sobre la temperatura del ambiente.

En el vacío, un cuerpo no se enfría, sino por irradiación, pero en un ambiente cualquiera se enfría por irradiación y por el contacto con las moléculas del ambiente.

Variando este ambiente, varía la velocidad del enfria-

miento. Así, en el hidrógeno se enfría más rápidamente que en el aire, más rápido en el aire que en el vacío, etcétera.

—Para disminuir la velocidad de enfriamiento, es necesario disminuir la *superficie* del cuerpo; luego, si queremos conservar el mayor tiempo posible caliente un cuerpo, debemos darle la forma de una esfera.

La ley de *Newton* es cierta cuando el exceso de temperatura entre la del cuerpo y la del ambiente, no pasa de *20°* ó *30°*. Para un exceso mayor, la velocidad es mayor que lo que indica la ley.

CAPÍTULO XX

EMISIÓN Y ABSORCIÓN

707.—Banco de Melloni.—Todo el estudio de este capítulo se hace por medio de un aparato precioso, ideado por *Melloni*.

Consiste (*fig. 405*) en una barra metálica dividida en la que se puede ajustar ó quitar á distintas distancias, las siguientes piezas:

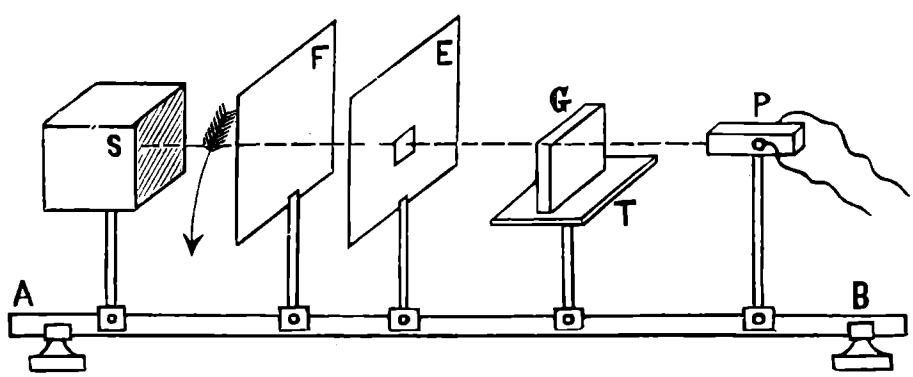


Fig. 405
Banco de Melloni

Un *termómetro eléctrico P*, sumamente sensible, que se llama *termo multiplicador de Melloni* y que más adelante estudiaremos.

Una *mesita T*, sobre la cual pueden colocarse diferentes cuerpos.

Una *pantalla E*, con una ó varias aberturas de distinto tamaño, destinadas á dejar pasar los rayos caloríficos.

Una *pantalla F*, metálica, destinada á interceptar los rayos caloríficos.

Un *foco calorífico S*.

—Los focos caloríficos que se adaptan al *Banco de Melloni* consisten *(fig. 406)* en un *cubo* que se llama *cubo de Leslie,* lleno de agua caliente y cuyas caras verticales pueden ser de diferentes substancias; una

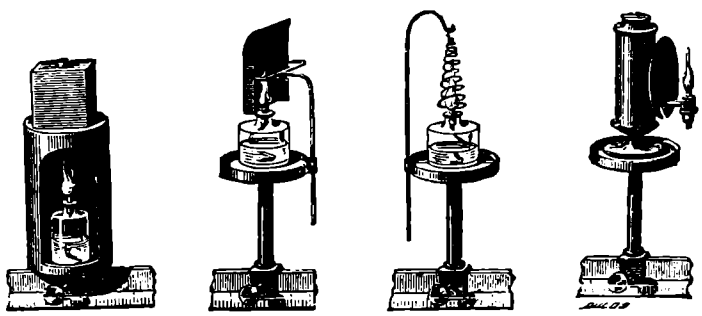


Fig. 406
Focos caloríficos del Banco de Melloni

lámina de cobre que se lleva á la temperatura de 400°, por medio de una lamparilla de alcohol; una *espiral de platino,* que se hace poner *incandescente* y una *lámpara* á aceite llamada *lámpara de Locatelli.*

Los dos primeros son fuentes de *calor obscuro* y los dos segundos fuentes de *calor luminoso.*

708.—Poder emisivo.—El poder emisivo de los cuerpos es la propiedad que tienen de poder, *á superficies iguales,* emitir *más ó menos cantidad de calor.*

Como es natural, *un mismo cuerpo* emitirá más calor cuanto *mayor superficie* tenga.

Análogamente, se comprende fácilmente que lo cantidad de calor *variará con la temperatura* del cuerpo.

709.—Además de la *superficie* y la *temperatura*, hay otra causa que hace variar la cantidad de calor emitido por un cuerpo, y es la *naturaleza de la superficie.*

Para probarlo, se hace el siguiente experimento:

Se coloca como fuente de calor, en el *Banco de Melloni*, un cubo *C* (*fig. 407*) que contiene agua caliente y cuyas caras son de distinta substancia, por ejemplo, de *negro de humo*, *papel*, *cobre pulido y cobre rayado*.

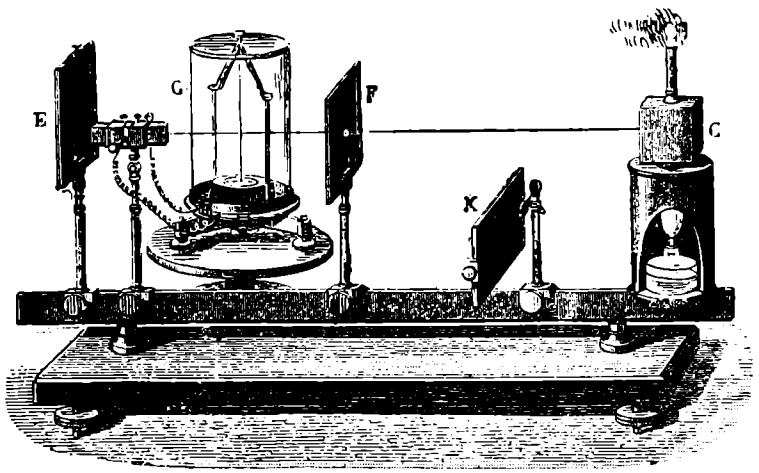


Fig. 407
Poder emisivo

Se coloca frente al termómetro la cara recubierta de *negro de humo*, se deja caer la pantalla *K* y los rayos caloríficos pasando por la abertura de la pantalla *F* caen sobre la pila termo-eléctrica, la que acusa una cierta temperatura.

Se vuelve á levantar la pantalla *K*, con la cual el termómetro vuelve al cero y se presenta *otra cara* del cubo frente al termómetro, la cual á pesar de estar á la *misma temperatura* que la del negro de humo, hará que el termómetro acuse una temperatura *menor*.

Como se comprende, variando la naturaleza de las caras del cubo, se podrá estudiar y comparar *el poder emisivo* de todos los cuerpos.

Este poder emisivo es relativo y *se compara* con el poder emisivo del *negro de humo*, que es el *mayor* que se conoce y se toma como *unidad*.

Los resultados obtenidos para algunos substancias son las siguientes:

CUERPOS	PODER EMISIVO	CUERPOS	PODER EMISIVO
Negro de humo	**1.00**	Hierro	0.23
Blanco de Ceruza	1.00	Mercurio	0.20
Cola de pescado	0 91	Zinc	0.19
Vidrio	0.90	Platino	0.11
Tinta de China	0.85	Platino bruñido	0.09
Goma laca	0.72	Latón pulido	0.05
Plata mate	0 54	Oro en hojas	0.04
Platino laminado	0.41	Plata laminada	0.03
Cobre en hojas	0.35	Plata bruñida	0.02

La tabla, nos demuestra que todos los cuerpos tienen un poder emisivo *menor* que el del *negro de humo.*

Que los *metales* tienen un poder emisivo muy *débil.*

Que el poder emisivo aumenta con el rayado y disminuye con el pulimento.

Que, *solamente la superficie* tiene influencia sobre el poder emisivo, lo cual nos explica por qué los cuerpos rayados tienen mayor poder emisivo que los *mismos cuerpos* pulidos.

710.—Poder absorbente.—El calor que recibe un cuerpo, puede *atravesarlo* en parte; ser *reflejado* otra parte y *absorbido* el resto.

Se llama *poder absorbente* de un cuerpo, la relación entre la cantidad de calor que cae sobre su superficie y la cantidad que penetra en su masa.

El poder absorbente que se mide es el *relativo*, tomando como unidad el poder absorbente del *negro de humo*, que es el cuerpo que lo tiene *mayor.*

711. — *Melloni*, por medio de su aparato, estudió el poder absorbente de diferentes cuerpos, á cuyo efecto, colocaba delante del termo-multiplicador, placas delgadas de cobre, con la cara que está frente á ella re-

cubierta de *negro de humo* y la cara opuesta, que estaba frente al foco calorífico, recubierta de la substancia que se quiere estudiar.

El calor que incidía era *desigualmente absorbido*, pero la radiación hacia el termómetro era siempre igual, porque era siempre el negro de humo, luego el termo-multiplicador acusaba mayor ó menor temperatura, según fuera mayor ó menor el poder absorbente de la substancia que estaba frente al foco calorífico.

712.—Igualdad del poder emisivo y absorbente.—Este estudio de los poderes absorbentes y emisivos condujo al resultado, que ellos eran *iguales*.

Es decir, que las substancias que *se calientan* más pronto, son las que *se enfrían* también más pronto.

Esta es la ley de *Leslie*, pero es necesario tener presente que es exacta siempre que se trate de una *misma temperatura* y siempre que se trate de la misma especie de calor.

Ritchie demuestra esta ley de *Leslie* por medio del siguiente ingenioso aparato:

Un termómetro diferencial (*fig. 408*) en el cual en vez de esferas tiene dos cilindros huecos *B* y *C* de latón, llenos de aire.

Entre ellos se coloca otro cilindro *A* de la misma base y mismo metal, que se llena de agua caliente.

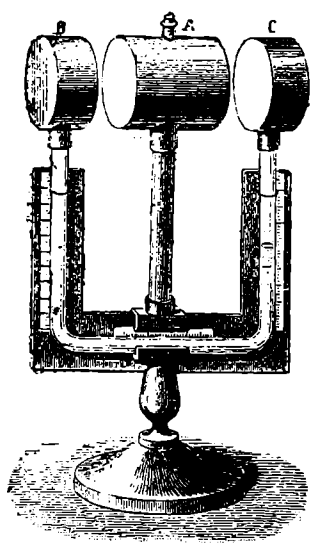


Fig. 408
Igualdad del poder emisivo y absorbente

Las cuatro bases que están *vis á vis*, son alternativamente plateadas y recubiertas de negro de humo.

Así, la cara del cilindro *B* es de *negro de humo*, la cara del cilindro *A* que está frente á *B* es plateada, la cara

de la derecha del cilindro *A* es de *negro humo* y finalmente, la cara del cilindro *C* es *plateada.*

Si se colocara el cilindro *A equidistante* de los dos cilindros *B* y *C*, se observará que la columna líquida del termómetro diferencial *queda estacionario*, es decir, está al mismo nivel. Esto nos prueba la *igualdad* entre el poder emisivo y absorbente, pues si bien la cara de la izquierda del cilindro *A* que es plateada emite *menos* calor que la de la derecha que es de negro de humo, también es cierto que la cara del cilindro *B* que es de *negro de humo*, absorbe *más* que la cara del cilindro *C* que es plateada, y por consiguiente, para que haya compensación, es necesario que el poder emisivo y el poder absorbente de esas superficies sea *igual.*

713.—Experimentos de Leslie.—*Leslie* se valió de su termómetro diferencial, para estudiar el poder *emisivo absorbente* de los cuerpos.

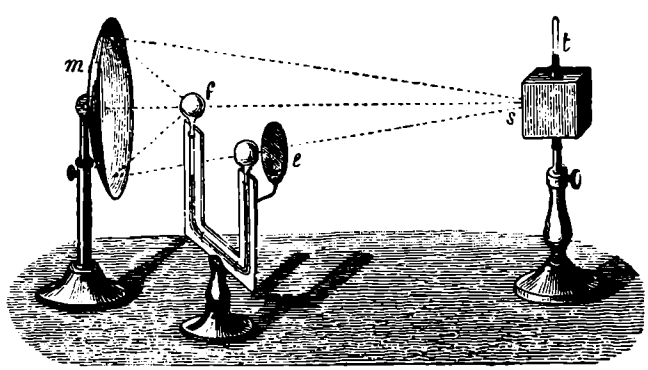


Fig. 409
Experimentos de Leslie

La disposición adoptada era la siguiente:

Un cubo de latón *S* que lleva el nombre de *cubo de Leslie* (*fig. 409*), lleno de agua hirviendo y cuyas caras podían recubrirse de diferentes substancias.

El calor emitido por una de las caras era recibido por un espejo cóncavo *m*, que reconcentraba los rayos

caloríficos en su foco *f* donde se colocaba una de las esferas del termómetro diferencial, estando la otra esfera *e* defendida por una pantalla.

Según fuera la cara del cubo que se exponía ante el espejo, así también se obtenía en el termómetro una temperatura distinta.

—Para estudiar el poder absorbente dejaba siempre la misma cara del cubo, pero recubría la esfera *f* de las distintas substancias que quería estudiar.

714.—Reflexión del calor.—Como ya dijimos, parte del calor que recibe un cuerpo es absorbido, y otra parte es reflejada más ó menos regularmente.

Cuando las superficies de los cuerpos son pulimentadas, la reflexión se hace *regularmente* y cuando las superficies *no son* pulimentadas, se produce la reflexión irregular, es decir, la *difusión del calor.*

715. Leyes de la reflexión del calor.—Estas leyes, son las mismas que las de la reflexión de la luz, lo cual nos prueba una vez más, la analogía que existe entre la luz y el calor.

Ya sabemos que son dos:

1ª—El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales.

2ª—El rayo incidente y el reflejado están en un mismo plano que la normal al punto de incidencia.

Para comprobarlo, nos valdremos del *Banco de Melloni (fig. 410).* El rayo de calor que parte del cubo *A* pasa por un pequeño agujero que tiene la pantalla *D* y cae sobre el espejo ó superficie *B* cuyo poder reflector se quiere estudiar.

El espejo *B* está colocado sobre un círculo graduado y la pila *C* está sostenida por una regla suplementaria que puede girar alrededor del soporte del espejo.

Se notará que el termómetro acusará su mayor temperatura cuando el ángulo que forma la regla de la

pila con la normal al espejo, *es igual* al ángulo for-

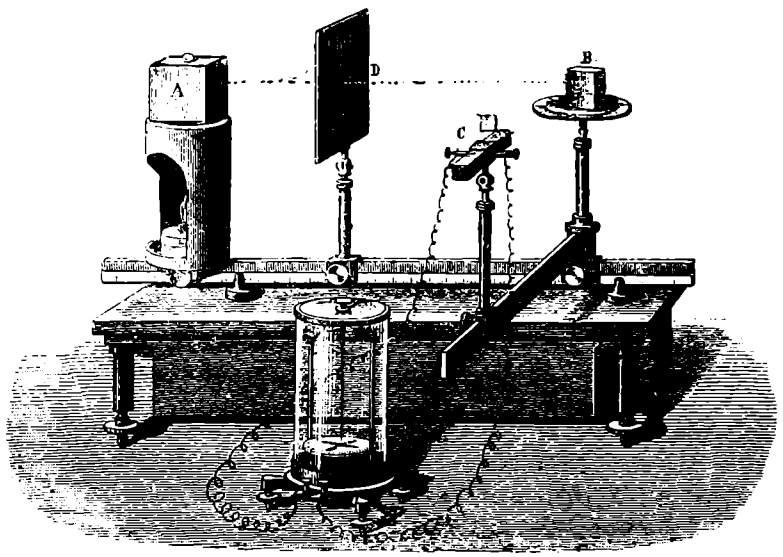


Fig. 410
Reflexión del calor

mado por la normal con la regla dividida del *Banco de Melloni*.

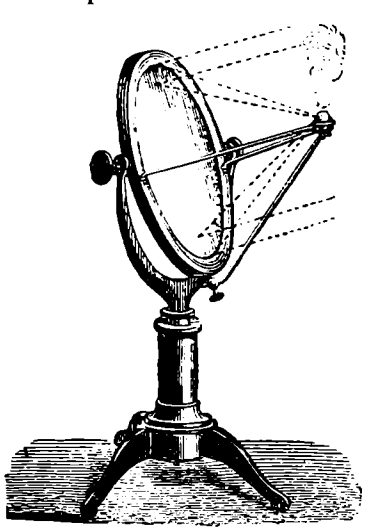


Fig. 411
Espejo ardiente

Si se mueve la pila á uno y otro lado de esa posición la pila acusará una temperatura menor.

Este experimento, nos prueba la exactitud de las leyes de la reflexión.

716. — Espejos ardientes. — Los espejos ardientes no son más que espejos esféricos cóncavos, cuyo eje principal está dirigido al centro del sol. El calor solar se *concentra* en el *foco* al mismo tiempo que la luz y allí puede inflamar substancias combustibles, fundir metales, etc.

717.—Espejos conjugados.—Este experimento confirma las leyes de la reflexión del calor y prueba que ella se hace de un modo análogo al de la luz.

Sabemos que si en el foco de un espejo cóncavo colocamos un *foco luminoso*, la luz se refleja dando rayos paralelos y si estos rayos paralelos se reciben en otro espejo cóncavo, se vuelven á reflejar yendo á concurrir todos á su foco principal.

Esto mismo sucede con el *calor*.

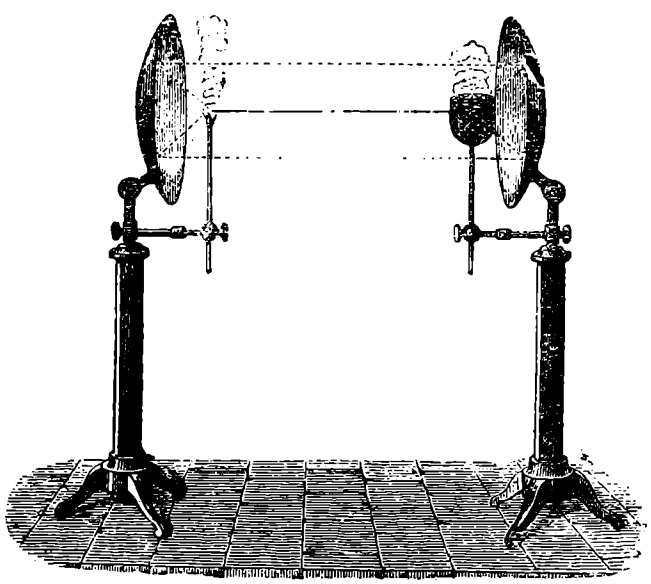


Fig. 412
Espejos conjugados

Para comprobarlo, coloquemos en el foco principal de un espejo cóncavo una cestita de alambre (*fig. 412*) conteniendo carbones encendidos.

Frente al primer espejo colóquese otro en cuyo foco se haya colocado una cerilla ó una cantidad de pólvora y se verá que estos cuerpos se inflaman.

—Si en vez de colocar una fuente calorífica en un foco y una cerilla en el otro, colocamos respectivamente, un trozo de hielo y un termómetro, veremos la *reflexión aparente del frío*, pues se notará que el termómetro bajará.

Parece, pues, que el hielo ha enviado rayos frigoríficos al termómetro, pero como ya hemos hablado del equilibrio móvil de temperatura, sabemos que el hielo y el termómetro emiten calor, pero como el termómetro emite más calor que el que recibe, resulta que bajará su temperatura.

718.—Puede probarse también, que la reflexión puede hacerse *en el vacío*, á cuyo efecto nos valdremos del aparato ideado por *Davy (fig. 413)* que consiste en una campana de la máquina neumática en la que se colocan dos pequeños espejos cóncavos. En el foco del espejo inferior se pone la ampolleta de un termómetro y en el foco del espejo superior, se coloca una fuente de calor que consiste en un hilo de platino que se puede poner incandescente por una corriente eléctrica.

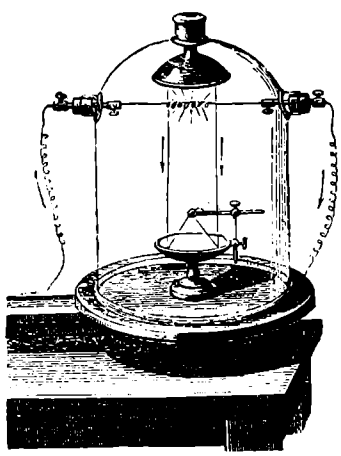


Fig. 433
Reflexión del calor

Cuando esto sucede, se verá que el termómetro sube.

719.—Se cuenta que *Arquímedes*, incendió varios buques romanos que estaban frente á *Siracusa*, por medio de espejos ardientes.

Buffon probó la posibilidad de ello, usando un sistema de 128 espejos de $0^m,22 \times 0^m,16$ y los rayos solares de un día de verano.

Hizo caer estos rayos reflejados sobre una plancha de madera alquitranada que estaba á 68 metros de distancia y consiguió incendiarla. Fundió *plomo* á 50^m y *plata* á 35^m.

—Con un espejo de un metro de abertura y dos metros de radio, se puede fundir con el calor solar, *silice*, *pla-*

ta, cobre, etc., que se coloca en su foco y eso en muy pocos minutos.

—*Mariotte* inflamó una cantidad de pólvora, por medio de un espejo *de hielo*.

—Se cuenta también que *Proclus* en 514, incendió los navíos de *Vitaliano* que sitiaban á *Bizancio*.

720.—Refracción del calor.—El calor se refracta como la luz y sus leyes son las mismas que hemos estudiado antes.

Como en la luz, si recibimos en un lente una cantidad de rayos caloríficos, ellos irán á reconcentrarse en su foco, lo que podemos poner de manifiesto exponiendo al sol un lente y colocando un cigarro en el foco veremos que éste se enciende debido á la *concentración de los rayos caloríficos del Sol*.

721.—Opacidad y transparencia de los cuerpos para el calor.—Hay cuerpos que dejan pasar el calor y cuerpos que impiden su paso.

Los primeros se llaman *diatérmanos* y los segundos *atérmanos*, equivalente á *diáfanos* y *opacos* cuando hablábamos de la luz.

Se llama *poder diatérmano* de un cuerpo *la relación* existente entre la cantidad de calor que lo atraviesa y la cantidad de calor incidente.

Para determinar el poder diatérmano de un cuerpo, podemos valernos del *Banco de Melloni*, á cuyo efecto, recibiríamos sobre la pila termo-eléctrica, el calor emitido por una fuente calorífica y se mediría la desviación d de la aguja.

En seguida interpondríamos el cuerpo, cuyo poder diatérmano queremos medir, entre la fuente y la pila y y mediríamos la nueva desviación d' que sufre la aguja en este segundo caso, y entonces:

$$\frac{d'}{d}$$

mediría el poder diatérmano de dicho cuerpo.

722.—Los cuerpos que se ensayan se cortan en forma de *placas* y si se opera sobre *líquidos*, se encierran estos en unas cajitas de cristal de caras paralelas y se tiene en cuenta, la absorción de las paredes de vidrio.

Operando así, se obtuvo el siguiente resultado:

SUBSTANCIAS	LÁMPARA DE LOCATELLI	PLATINO INCANDESCENTE	COBRE ENROJECIDO Á 100°	NEGRO DE HUMO Á 100°
Sal gema	0.92	0.92	0.92	0.92
Vidrio	0.39	0.24	0.06	0.00
Espatto de Islandia	0.39	0.28	0.06	0.00
Cristal de Roca	0.37	0.28	0.06	0.00
Alumbre	0.09	0.02	0.00	0.00
Hielo puro	0.06	0.00	0.00	0.00

Como vemos, el poder diatérmano de los cuerpos varía con la fuente del calor.

Se observa también que el poder diatérmano disminuye con el espesor.

Se creía antes que los *gases* eran *perfectamente diatérmanos*, pero los trabajos de *Tyndall* probaron que ese poder varía con la substancia.

723.—Casos particulares.—La tabla anterior, nos da ya un caso muy particular que es el de la *Sal Gema*, cuyo poder diatérmano es constantemente igual á *0,92* cualquiera que sea la fuente calorífica y ya sea calor *luminoso* ú *obscuro*.

Se considera á la *sal gema* como un cuerpo perfectamente diatérmano y esa pérdida que se nota de *0,08* se atribuye á la *reflexión del calor* que se verifica en las dos caras de la placa del cuerpo.

—Por eso cuando se quieren *estudiar los rayos caloríficos de una fuente luminosa*, sin que intervengan los rayos de *luz*, se usa un *lente de sal* gema recubierto de *negro de humo*. Este negro de humo impide el paso de la luz, pero los rayos caloríficos pasan el *92* por *100*.

Magnus ha comprobado que el *cloruro de potasio* ó

silvina, posee un poder diatérmano por lo menos igual al de la sal gema y también para cualquier fuente calorífica.

—Si se tratara de *estudiar los rayos luminosos* sin que intervengan los caloríficos, se usarían láminas ó disoluciones de *alumbre* que *deja pasar la luz* y absorbe casi todos los rayos caloríficos.

—El mismo efecto que la *sal gema* puede obtenerse con el *yodo disuelto en el bisulfuro de carbono*, el cual es opaco para la luz y *transparente para el calor*.

—Como vemos no hay relación alguna entre la transparencia de un cuerpo para el calor y para la luz.

724.—Termocrosis.—El calor, lo mismo que la luz, no es simple y *Delaroche* desde el 1811 había dicho que debían existir *rayos de calor de diferente especie.*

Esto fué confirmado por los notables estudios de *Melloni.*

De esos estudios se dedujo que había rayos caloríficos que estaban dotados de la propiedad de atravesar mejor ciertos cuerpos que otros, á la manera que por un vidrio *azul* pasan sólo los rayos *azules*, siendo absorbidos los demás.

De manera que venimos á tener los *colores* del calor.

Melloni, basándose en la teoría de las ondulaciones, admite que las diferentes propiedades de los rayos caloríficos depende del número de vibraciones y de la longitud de onda.

Adoptó las siguientes denominaciones:

LUZ	CALOR
Transparente	*Diatérmano*
Opaco	*Adiatérmano*
Coloreado	*Termocroico*
Incoloro	*Atermocroico*
Blanco	*Lemotérmico*
Negro	*Malemotérmico*
Coloración	*Termocrosis*

Prevostaye y *Desains*, han llegado á la conclusión de que dos fuentes distintas á la *misma temperatura* emiten rayos desigualmente absorbidos.

Luego, un haz de calor debe considerarse como formado por una *mezcla de rayos* de diferente especie y su composición depende de la fuente calorífica.

La sal gema es *atermocroica*.

725.—Aplicaciones.—Podemos indicar algunas aplicaciones del estudio hecho en este capítulo y explicar algunos fenómenos.

—La nieve se funde poco con la acción del calor solar, debido á que refleja irregularmente (difusión) los rayos caloríficos que recibe.

En cambio, si echamos sobre la nieve una piedra, carbón, etc., la nieve se fundirá fácilmente alrededor de estos cuerpos, debido á que estos cuerpos absorbiendo el calor solar, lo comunican por contacto á la nieve.

—Los trajes blancos son preferibles á los negros, en el verano, cuando se ha de estar expuesto al sol, por que reflejan más fácilmente el calor.

—Las estufas no deben ser pulimentadas porque emitirían poco calor.

—Debido á la diatermacidad del aire, las capas atmosféricas superiores, están siempre á una baja temperatura á pesar del enorme calor que reciben del Sol.

—Debido á la *atermacidad* del agua, las capas superiores de los mares, varían de temperatura con las variaciones de las estaciones; pero á una cierta profundidad, la temperatura del mar es constante.

—Se hacen de *vidrio* los invernáculos, porque el vidrio es medianamente diatérmano para el *calor luminoso*, pero muy atérmano para el calor *oscuro;* luego durante el día permite la entrada del calor solar que es luminoso y de noche impide la salida del calor del suelo, que es obscuro.

CAPÍTULO XXI

NOCIONES DE TERMODINÁMICA

726.—Nociones preliminares.—Antes se creía que el calor era un *fluído* imponderable, que los cuerpos se cedían unos á otros

Hoy, aceptada la *teoría dinámica*, se considera al calor como un *movimiento* de las moléculas de los cuerpos.

Las moléculas de los cuerpos están dotadas de un movimiento de rotación sobre sí mismas y de movimiento de traslación ú oscilación.

Si la temperatura del cuerpo aumenta, quiere decir que también el movimiento aumenta y si la temperatura disminuye, las velocidades también disminuyen.

Estos movimientos se transmiten de uno á otro cuerpo por contacto ó por intermedio del éter.

—Imaginemos que una esfera de marfil de peso p, cae de una altura h sobre un plano rígido.

En ese caso, siendo p la fuerza y h el espacio recorrido, resultará que $p\,h$ representarán el *trabajo* efectuado por esa esfera.

En el movimiento de caída el cuerpo ha adquirido una *energía actual* igual á $\frac{m\,v2}{2}$, luego se tendrá:

$$p\,h = \frac{m\,v^2}{2}$$

Por consiguiente, vemos que *el trabajo se ha convertido en una* energía *actual.*

Recíprocamente, al chocar la bola de marfil contra el plano rígido, será rechazado por éste y si la bola fuera perfectamente elástica, volvería recorriendo el mismo espacio h y como su peso queda siempre igual á p, resultará que ha efectuado un trabajo $p\,h$, pero á costa de la energía $\frac{1}{2}\,m\,v^2$ que se ha convertido en *cero*.

—Por consiguiente, en este caso especial vemos que el trabajo se convirtió en energía actual y enseguida la energía actual se convirtió en trabajo.

Este es un caso especial, pero si consideramos el caso de una bola de plomo que choca sobre un plano rígido, veremos que la bola pierde su energía, ó casi toda ella, al chocar con el plano, pero entonces se ve, no sólo que el trabajo se ha empleado en producir una deformación de la bola, sino también que la *temperatura* de la bola aumenta hasta el punto de llegar á fundir el plomo, y se nota que esta temperatura es tanto mayor, cuanto mayor es la pérdida de la energía, es decir, cuanto menos rebota la bola.

Luego, una disminución de la energía, corresponde á un aumento de la temperatura; entonces la energía ó el trabajo se ha convertido en calor.

Esto es lo que se pone de manifiesto en los experimentos que haremos á continuación.

727.—Calor debido al frotamiento.— *Tindall* ha ideado el siguiente experimento para comprobar el calor desarrollado en el frotamiento.

Se toma un tubo de metal (*fig. 414*) lleno de agua y se tapa con un corcho.

Se aprieta entre una pieza de madera y por medio de dos ruedas y una correa se le imprime un rápido movimiento de rotación.

El calor desarrollado en el frotamiento del tubo con las pinzas es tal, que el agua entra en ebullición y se patentiza porque el corcho es proyectado lejos por la tensión del vapor de agua.

—*Davy* ha conseguido fundir dos trozos de hielo frotándolo uno contra otro, y estando en una atmósfera cuya temperatura era algunos grados bajo cero.

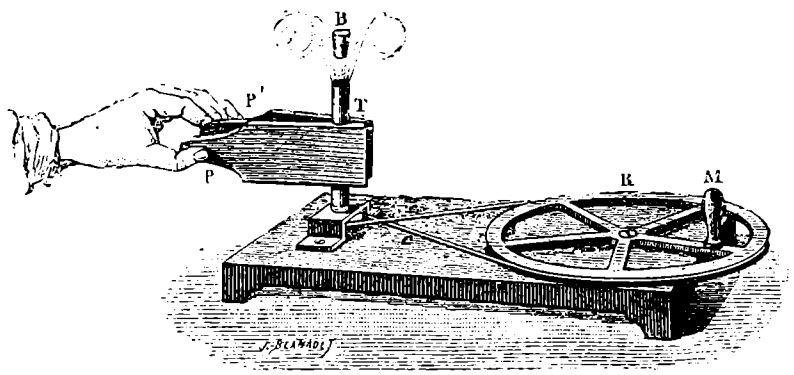


Fig. 414
Desarrollo de calor por el frotamiento

—Se nota también el calor desarrollado por el frotamiento en las piezas de las máquinas que están animadas de un movimiento de rotación.

Así, por ejemplo, vemos que el calor desarrollado por el frotamiento de los ejes de los vagones en sus muñones puede producir un desarrollo de calor tal, que el aceite entra en combustión y puede incendiar un tren en marcha.

728.— Calor debido al choque.—El choque es otra fuente de calor.

Así, cuando se golpea un martillo sobre el yunque, se nota que el yunque y el martillo se calientan.

Ya dijimos que una bola de plomo disparada contra una coraza, puede elevar su temperatura hasta el punto de fusión, y ahora diremos que si se lanza una bola de *acero* contra una coraza cercana, se aumenta tanto su temperatura que se pone incandescente.

729. - Calor debido á la compresión.—El calor desarrollado por la compresión es casi nulo en los líquidos, sensible en los sólidos y notable en los gases.

—Para demostrarlo en los líquidos, nos basta indicar lo que pasa con la compresión del agua en el *piezómetro.*

—Para ponerlo de manifiesto en los *sólidos*, nos bastaría comprimir un trozo de plomo entre dos pedazos de madera dura.

—Finalmente, para evidenciar el calor desarrollado en la compresión de los *gases* nos bastará recordar el *yesquero neumático.*

730.—Calor debido á las combinaciones químicas.— No hay combinación química sin desarrollo de calor.

Esta fuente de calor es la que más aplicamos, como en la combustión.

También tenemos que cuando se vierte agua sobre la cal, es tal el calor desarrollado que el agua se convierte en vapor.

Un kilogramo de *carbón* que se combina con el *oxígeno*, para formar ácido carbónico, desarrolla 7,830 calorías, lo que equivale á una cantidad de trabajo igual á:

$$7.830 \times 425 = 3.327.750 \text{ } \textit{kilográmetros}$$

—Recíprocamente, para *descomponer* un cuerpo, necesitamos restituirle ó emplear una cantidad de calor igual al calor desarrollado en su combinación.

731.—El calor es una manifestación de la energía.—En las fuentes de calor que hemos estudiado anteriormente, hemos visto que toda aparición de calor estaba acompañada por la pérdida ó desaparición de una cierta cantidad de *energía cinética* ó *fuerza viva.*

Así, en el caso de un cuerpo que choca con otro, hemos observado que el cuerpo toma un *movimiento* de traslación en una dirección distinta á la que traía,

pues el cuerpo es rechazado ó reflejado; se produce un *sonido*, es decir, un *movimiento* vibratorio y un desarrollo de *luz* y de *calor*.

Luego, la energía cinética se convierte en movimiento de traslación, movimiento vibratorio que produjo un *sonido;* movimiento vibratorio que en algunos casos produce *luz* y en otros *calor*.

Por consiguiente, el calor es un modo de movimiento es decir, una manifestación de la energía.

Luego, *la energía calorífica* es una *energía cinética*, ó de movimiento.

—Para darnos cuenta de esto, nos bastará recordar que todos los cuerpos están formados de moléculas, las que, se acepta, están animadas de un movimiento de rotación continuo y un *movimiento vibratorio*. Entonces, al producirse el choque, al *movimiento* de traslación del cuerpo se sustituiría *otro movimiento vibratorio* de las moléculas.

Según esta teoría, la sensación de calor que se experimenta al tocar un cuerpo caliente es debido á la conmoción producida en los nervios, por la vibración molecular.

732.—Producción de un trabajo por el calor.—Lo mismo que un *trabajo produce calor*, también *el calor produce trabajo*.

Para constatarlo, nos basta recordar que en una máquina á vapor, el vapor se enfría al empujar el émbolo. Es decir, que hay un *consumo de calor*, pero hay la *producción de un trabajo*.

Cuando se tiene un gas comprimido y se le deja escapar, el gas *se enfría*, es decir, hay *pérdida* de calor, pero este calor se emplea en el trabajo de rechazar el aire exterior.

En el tiro de las armas de fuego, hay trabajo mecánico producido por el calor desarrollado en la combustión de la pólvora ó materia explosiva.

733.—Equivalencia entre calor y el trabajo.—Siempre que á costa de un trabajo mecánico cualquiera *se produce calor,* ó cuando consumiendo una cantidad de calor se *efectúa un trabajo*, hay siempre proporcionalidad entre las unidades de *trabajo producido* ó *perdido* y las unidades de calor *gastado* ó *producido.*

Es decir, que el mismo número de *calorías Q, consumidas* ó *ganadas*, corresponde á un mismo número *T* de kilográmetros *producidos* ó *perdidos.*

Este es el principio de la *equivalencia entre el trabajo y el calor.*

734.—Determinación del equivalente mecánico del calor por el método de Joule.—Hemos visto en el párrafo anterior que «siempre que el calor produce un trabajo mecánico, desaparece una cantidad de calor rigurosamente proporcional al trabajo producido y recíprocamente, todas las veces que se gasta un trabajo mecánico destinado á modificar el estado de equilibrio molecular de un cuerpo, se desarrolla una cantidad de calor, rigurosamente proporcional al trabajo consumido.»

Si llamamos *T* el trabajo consumido, *C* el calor correspondiente y *E* el *equivalente* mecánico se tendrá:

$$\frac{T}{C} = E$$

Hay dos medios para determinar este equivalente.

1º Determinando cuántas *calorías* se producen con un trabajo conocido.

2º Determinar cuántos *kilográmetros* se obtienen con una cierta cantidad de calor.

Sólo indicaremos el primer método, que es el que aplica *Joule.*

735.—El aparato usado consiste (*fig. 415*) en un cilindro vertical atravesado por un eje *I*, que está munido

de unas paletas *H* que giran dentro del agua contenida en dicho cilindro.

El eje *I* está continuado fuera del cilindro *C* (*fig. 416*) por un vástago *c a*, que puede fijarse á un torno *T* por medio de la clavija *a*.

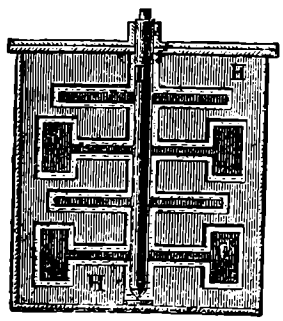


Fig. 415
Aparato de Joule

Sobre el torno *T* están enrollados en sentido contrario dos hilos que pasan por dos poleas que llevan dos pesos de plomo iguales *P*, los que en su caída, recorren una regla vertical graduada.

Para operar, por medio del manubrio *M*, *se levantan* los pesos *P;* con el termómetro *t*, se determina la *temperatura* del agua y *se dejan caer* los pesos, los cuales en su movimiento hacen girar el eje vertical *T* y junto

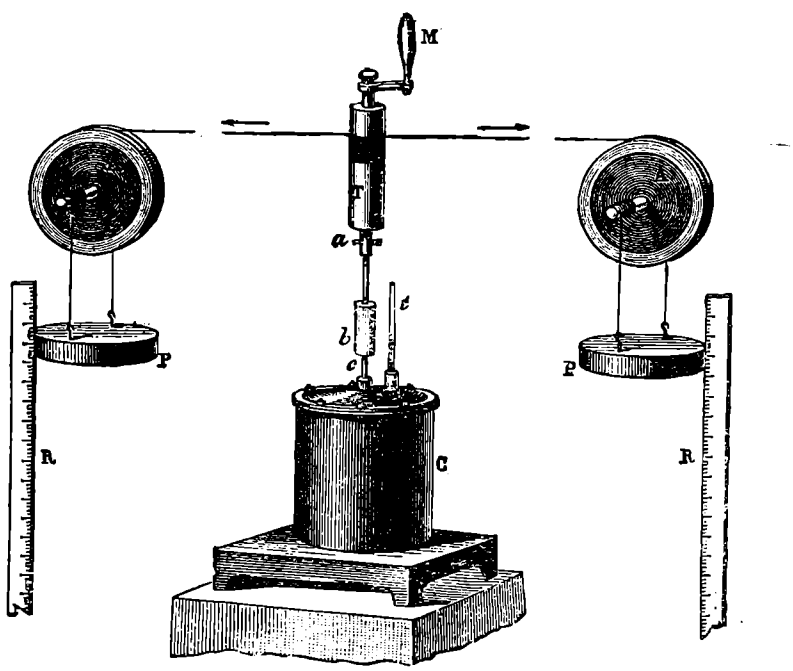


Fig. 416
Aparato de Joule

con él, las paletas que están dentro del agua, las que por el frotamiento desarrollarán una cierta cantidad de calor, elevando la temperatura del agua.

Se determina esta nueva temperatura y por su diferencia con la primera observada, *se tendrá el calor* obtenido, conociendo como se conoce el peso del líquido.

En cuanto *al trabajo consumido*, si llamamos P el peso de cada cuerpo que cae y h la altura de que cae, Ph será el *trabajo* producido por uno de los pesos y $2\,Ph$ el *trabajo total.*

Generalmente se repite varias veces la caída de los pesos, para lo cual se quita la clavija *a* cada vez que se elevan los pesos.

El resultado obtenido fué que:

$$E = \frac{T}{C} = \mathbf{425}\ ^{\text{Kgm}}$$

Esto quiere decir que el *trabajo equivaleute á una caloría es equivalente á 425 kilográmetros* y recíprocamente el *calor producido por un kilográmetro es igual á* $\frac{1}{425}$ calorías.

$425\ ^{\text{Kgm}}$ *es el equivalente mecánico de la caloría* y $\frac{1}{425}$ *es el equivalente calorífico del kilográmetro.*

736.—Si nos valiéramos de la notación del sistema *C. G. S.* tendríamos, recordando que:

$$1\ ^{\text{Kgm}} = 9{,}81.10\ ergs$$

y el *equivalente mecánico* de la caloría sería:

$$4{,}17.10^{7}$$

y el *equivalente calorífico* sería:

$$\frac{1}{4{,}17.10^{7}}$$

—Como es natural, hay que hacer una cantidad de correcciones, que no debemos indicar.

737.—Explicación de los fenómenos producidos por el calor por medio de la teoría dinámica.—La teoría dinámica nos permite explicar la *causa* de los fenómenos producidos por el calor.

Daremos solamente una idea general de los principales fenómenos que hemos estudiado.

738.—Dilatación.—En este fenómeno, la acción del calor varía según el estado del cuerpo que se estudia.

—En los *gases*, el calor se convierte en aumento de *temperatura* y en aumento de *fuerza viva*.

Si tomamos, por ejemplo, una vejiga que contiene una cierta cantidad de gas y la sometemos á la acción de una fuente calorífica, observaremos que si dentro de la vejiga hay un *termómetro*, éste nos acusará un aumento de temperatura y que la vejiga se inflará.

Luego, el *calor suministrado* se ha convertido en calor *sensible* y en aumento de *fuerza viva* ó *tensión*, que ha producido el *trabajo* de vencer la presión atmosférica que se ejerció sobre las paredes de la vejiga.

Por consiguiente, el calor aplicado á los *gases* se convierte en un *calor sensible* acusado por el termómetro y un *trabajo exterior* para vencer la presión *atmosférica*.

739.—Si se tratara de un *líquido* ó un *sólido*, el efecto sería distinto.

El calor se convertiría: 1º en una cantidad de *calor sensible* que se manifiesta por el termómetro; 2º en un *trabajo exterior* destinado á vencer la presión atmosférica, el cual es sumamente pequeño porque los líquidos y sólidos son poco dilatables, y 3º en un *trabajo interior* que es sumamente considerable, como nos lo han manifestado experimentos anteriores.

Bástenos observar que si á una barra de hierro la hacemos dilatar por el calor, de un centímetro de su longitud, necesitaríamos una *fuerza de tracción* de *varios miles* de kilogramos para producir el mismo efecto mecánico.

Luego, en los sólidos y líquidos, la mayor parte del calor suministrado al cuerpo se ha empleado en aumentar la fuerza repulsiva ó movimiento vibratorio de las moléculas que tratan de aumentar la distancia.

740.—Fusión.—Mientras el cuerpo sólido se ha ido dilatando más y más, se ha notado siempre un aumento de temperatura, pero llega un momento en que una cantidad de calor determinada, para cada cuerpo, hace que el cuerpo *cambie de estado*, es decir, que del estado sólido pase al líquido.

El calor ha aumentado el movimiento vibratorio de las moléculas del cuerpo, hasta que ha hecho que estas moléculas tomen otras posiciones relativas, produciéndose entonces el *estado líquido*, y se observa que mientras se completa la fusión, *no hay aumento de temperatura*, lo cual nos prueba que todo el calor suministrado al cuerpo, se ha empleado en el *trabajo interior*, es decir, en vencer la fuerza de cohesión que hacía caracterizar el estado *sólido* del cuerpo.

Este calor, que se emplea en el trabajo interno y que no se hace *sensible* por el termómetro, es lo que se llama el *calor de fusión*.

741.—Disolución.—Ya vimos que había este otro medio para que ciertos sólidos pasaran del estado sólido al líquido y vimos también, que ese paso se hacía á costa de una cierta cantidad de calor.

Esto se explica por la teoría mecánica del calor, teniendo presente que para que el cuerpo pase del estado sólido al líquido, es necesario *vencer* la fuerza de la cohesión molecular, para que estas moléculas se sepa-

ren y por consiguiente es necesario efectuar un cierto trabajo, el cual no se puede efectuar sino á costa de una relativa cantidad de fuerza viva ó calor.

742.—Vaporización.—Si á un cuerpo que ha pasado del estado sólido al líquido por la acción del calor, seguimos comunicándole calor, este cuerpo líquido, á su vez, volverá á cambiar de estado, pasando al estado gaseoso.

Hemos visto que el paso del estado líquido al gaseoso podía hacerse por ebullición ó por evaporación.

Si es por ebullición ya sabemos que una vez que ésta ha empezado, la temperatura se mantiene constante, lo cual nos prueba que todo el calor suministrado está empleado en el *trabajo* de la vaporización, trabajo que es *interior* y *exterior*.

El trabajo *exterior* es el destinado á vencer la presión atmosférica y el *interior* está destinado á vencer la cohesión de las moléculas.

—En la *evaporación* también hay que efectuar estos *dos trabajos*, y entonces el calor es suministrado por el mismo líquido ó por los cuerpos que lo rodean.

De allí el enfriamiento producido por la volatilización.

El calor consumido en este caso y no sensible en el caso de la ebullición, es lo que se llama calor de vaporización.

743.—De una manera análoga pueden explicarse los demás fenómenos producidos por el calor, cosa que no haremos en la presente obrita, por no hacer demasiado extenso este capítulo.

744.—Energía solar.—La fuente de todo *calor* y *movimiento* en la superficie de la tierra es el Sol.

Un animal que produce un *trabajo*, lo hace á costa de cierta cantidad de *calor*, el cual es producido por

la *combustión* de los elementos orgánicos por medio del *oxígeno* introducido en la sangre por la respiración.

De ahí, pues, la necesidad de reparar nuestras fuerzas, ó las pérdidas experimentadas por el cuerpo, por medio de la nutrición.

Esta se hace ingeriendo alimentos animales. Pero los animales se alimentan á sí mismo por otros animales herbívoros ó por vegetales. Luego la fuente de nuestra nutrición y por consiguiente de nuestra energía son los vegetales.

Ahora bien, los vegetales se desarrollan por la acción de la luz y el calor solar, es decir, por la *energía solar*.

Luego la causa de los movimientos que los animales podemos producir, es el Sol.

—Es debido al calor solar que se producen los *vientos*, cuya *energía* aprovechamos para producir trabajo en la marcha de los buques, en los molinos, etc.

—Al sol se debe, que aprovechemos la energía sensible que aparece cuando los vapores de agua caen en forma de lluvia formando los *ríos* que cayendo desde las montañas, van á las mares, energía de las *corrientes de agua* que utilizamos por medio de las máquinas hidráulicas.

Todos los motores á combustión ó máquinas térmicas no son más que transformadores de la *energía solar*, pues la leña, el carbón, los gases, etc., son produotos vegetales que son debido á la energía solar.

Finalmente, las máquinas alimentadas por la hulla, no hacen más que pedir á esta substancia, la energía que el *Sol* acumuló en los vegetales de los siglos pasados.

Luego, el *Sol* es la fuente de toda la energía que utilizamos en forma de calor ó en la producción de los movimientos en la superficie de la tierra.

Se justifica, pues, que hubiera *adoradores* del *Sol*.

745.—Calor solar.—Es tan enorme la cantidad de calor emitido por el Sol, que asombra no notar un decrecimiento sensible.

Varias teorías se han expuesto sobre el origen de esta enorme cantidad de calor y nosotros indicaremos algunas de una manera muy somera.

—La teoría primitiva de que el Sol *emitía* calor sin recibirlo de otro cuerpo es inadmisible, pues se ha calculado que ya se habría enfriado por completo.

—Si el globo solar fuera de *carbón* en combustión, hubieran bastado *5 siglos* para consumirlo por completo.

—Tampoco puede aceptarse la teoría de que el calor del Sol sea desarrollado por el frotamiento de dicho cuerpo contra una atmósfera exterior que lo envuelve, pues se ha calculado que si se transformara toda su fuerza viva en calor, no alcanzaría á dar una emisión de calor como la que produce el Sol, sino por *116 años*.

—La teoría de *Mayer* es más aceptable.

Este físico supone que sobre el Sol caen cuerpos como los *aerolitos ó bólidos* que caen sobre la tierra y que el calor solar es el producido por los *choques* de estos cuerpos sobre el Sol.

Se ha calculado que si sobre el Sol cayeran cuerpos que dieran un expesor de 20^m sobre toda su superficie en cada año, el calor desarrollado por estos choques alcanzaría para compensar las pérdidas que él sufre.

Si cayera la tierra sobre el Sol, alimentaría el calor, por *95 años* y si cayera *Júpiter*, lo alimentaría por 32.240 años.

El aumento de volumen que experimentaría el Sol, sería insensible.

746.—Finalmente, *Jhomson* y *Helmholtz*, fundándose en la teoría Cosmogónica de *Laplace*, que supone que el Sol en su orígen era una nebulosa que se ha ido *con-*

trayendo, atribuyen el calor solar *á la contracción progresiva del Sol.*

Entonces, la fuerza viva que *pierden* las partes que se contraen se *convierte* en el calor necesario para la radiación.

Para que se produjera la cantidad de calor emitida por el Sol, bastaría que este se contrajera de *39*^{m} por año, lo que haría disminuir su diámetro de *1 minuto* en *180 siglos*, lo que es insensible para nuestros mejores aparatos de medida.

CAPÍTULO XXII

MAQUINAS TÉRMICAS

747.—Reseña histórica de las máquinas á vapor.—Una breve reseña histórica puede darnos á conocer cuáles son los principios de la actual máquina á vapor, que parece no es posible modificar más, debido al alto grado de perfección á que ha llegado ya.

Parece que desde los tiempos más remotos, ya se tenía idea de la enorme energía que encerraba el vapor de agua, pues *Séneca* explica los terremotos por la expansión de vapor de agua producido por el calor central.

—En el siglo VI cuenta *Aghatias* que un tal *Anthémius* para vengarse de un vecino *Zenon*, hizo derrumbar el cielo raso de la habitación de éste, por medio de vapor que hizo llegar bajo los tirantes por medio de una cañería.

—El primer aparato, capaz de *producir un movimiento* por medio del vapor, lo cita *Heron de Alejandría.*

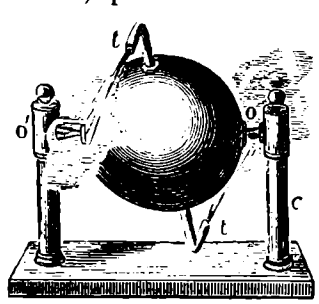


Fig. 417
Heolipila

El aparato llamado *Heolipila*, consiste (*fig. 417*) en una esfera sostenida por los extremos *O O'* de uno de sus diámetros, sobre dos columnitas.

Los extremos de otro diámetro perpendicular al primero, están formados por dos tubos acodados *t t'* y abiertos en sus extremidades.

Se llena la esfera de agua, se calienta y cuando entra en ebullición se ve que la esfera gira, dejando salir el vapor por los extremos de los tubos.

Es un aparato análogo al *torniquete hidráulico.*

—Cita *Feliú* que el capitán de navio *Blasco de Garay*, en 1543, pidió al emperador *Carlos V* que lo ayudase en la realización de un aparato capaz de hacer marchar los buques sin velas.

Parece que en *Barcelona* se verificó el experimento con un buque que tenía una rueda de paletas, «la cual girando merced al vapor de agua producido en una caldera, impulsaba velozmente á la embarcación».

—A principios del siglo XVII, *Porta* descubre un aparato por medio del cual se podía elevar el agua por medio de la presión ejercida sobre su superficie por el vapor de agua.

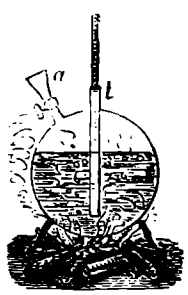


Fig. 418
Fuente de Salomón de Caus

—*Salomón de Caus*, en el año 1615, indica el siguiente medio para elevar el agua.

Se toma un recipiente (*fig. 418*) y después de haberle introducido una cierta cantidad de agua por medio del embudo *a*, se pone sobre un hogar.

Se introduce hasta el fondo de la vasija un tubo *t* abierto por sus dos extremos y cuando empieza la formación del vapor, se verá que el agua se eleva por el extremo superior, debido á la presión que el vapor reunido en la parte superior de la vasija, ejerce sobre la superficie del agua.

748.—Papin.—Con *Papin*, empieza la era de las máquinas á vapor.

Este célebre físico, como todos los de su tiempo, estupefactos, ante los hechos revelados por *Otto de Guericke* y *Toricelli* sobre la enorme fuerza de que disponíamos con la *presión atmosférica*, trató de obtener el vacío

de una manera económica para aplicarla al movimiento de las bombas destinadas á desagotar las minas.

En 1690 ideó un cilindro (*fig. 419*) munido de un pistón *P*, terminado por un vástago y una soga que pasando por dos poleas movía la bomba.

Para producir el vacío, en la parte inferior del cilindro y debajo del pistón, colocaba una cierta cantidad de pólvora que hacía arder.

La explosión hacía elevar el pistón, el cual después que los gases se enfriaban y se contraían, eran obligados á bajar por la acción de la presión atmosférica.

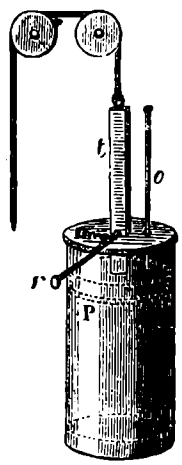


Fig. 419
Máquina de Papin

No dió resultado, pues era necesario introducir la pólvora después de cada movimiento y además quedaba siempre una cantidad de gas debajo del pistón que disminuía su efecto.

749.—Entonces, se le ocurrió á *Papin* usar la producción del vapor de agua debajo del pistón y *condensarlo enseguida por enfriamiento.*

Esta fué la *base* de las máquinas á vapor.

El aparato usado por *Papin*, consiste (*fig. 419*) en el mismo cilindro que hemos indicado antes, en cuya base inferior se colocaba agua, bajándose enseguida el pistón *P*, hasta ponerse en contacto con el agua á cuyo efecto el aire que se comprimía al bajar el pistón, escapaba por un agujero que tiene el pistón y que en adelante quedará cerrado por medio de la varilla *O*.

Preparado así el aparato, se ponía fuego debajo del cilindro; el agua se calentaba, producía vapor y éste elevaba al pistón.

Cuando había llegado el pistón á la parte superior se impedía que bajara, por medio de una clavija *r*, que se introducía en un agujero del vástago.

Hecho esto, *se retiraba el fuego*, el agua se enfriaba, *se condensaba* y debajo del pistón se producía el vacío.

En ese instante, se desprendía la clavija *r* y el pistón bajaba desarrollando un gran esfuerzo.

Para cada golpe de pistón, se repetía esta operación.

Este aparato de *Papin* no tuvo aplicación.

750.—En 1698, *Savery*, construyó la primera máquina que tuvo una aplicación práctica, aunque por poco tiempo, destinando su máquina para el movimiento de las bombas de las minas.

Aplicó el principio de la *condensación* del vapor, pero éste, *ya no era producido* en el mismo cilindro, sino en una *caldera* especial.

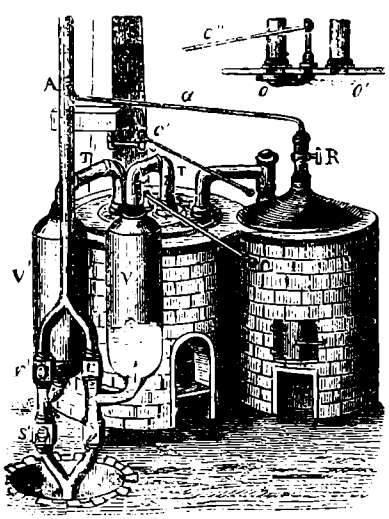


Fig. 420
Máquina de Savery

La máquina *elevatoria de Savery*, consistía (*figura 420*), en una caldera *B* donde se producía el vapor de agua, el que llegaba hasta llenar las vasijas *V* y *V'*.

Hecho esto, se cerraba la válvula *c'* y se dejaba condensar el vapor contenido en los recipientes *V* y *V'*.

Esta condensación producía el vacío dentro de las vasijas *V* y *V'* y entonces el agua se elevaba abriendo las válvulas *S* y *S'* y llenando parcialmente los recipientes *V* y *V'*.

Hecho esto se volvía á permitir la entrada del vapor con lo cual cerrándose las válvulas *S* y *S'* y abriéndose las *L* y *L'* el agua se veía obligada á elevarse por el caño *A*.

Repitiéndose varias veces esta operación se obtiene el objeto deseado.

Como se ve, en esta máquina el vapor obra directamente sobre el agua empujándola, y por consiguiente, para elevarla á gran altura como en las minas profundas, se necesitaba dar al vapor una gran tensión, que los aparatos de aquellos tiempos no permitían.

Sin embargo, se usó para las fuentes de los jardines, distribución de agua, etc.

751.—A *Newcomen* simple artesano de *Dartmonth* se le ocurrió servirse de las *bombas* comunes y ponerlas en movimiento por medio del sistema á pistón de *Papin*.

Se asoció con el vidriero *Cawley* y con *Savery* que había sacado patente de invención para formar el vacío por la condensación del vapor, y fabricaron la *máquina atmosférica* ó máquina de *Newcomen* que resolvió el problema del desagote de las minas.

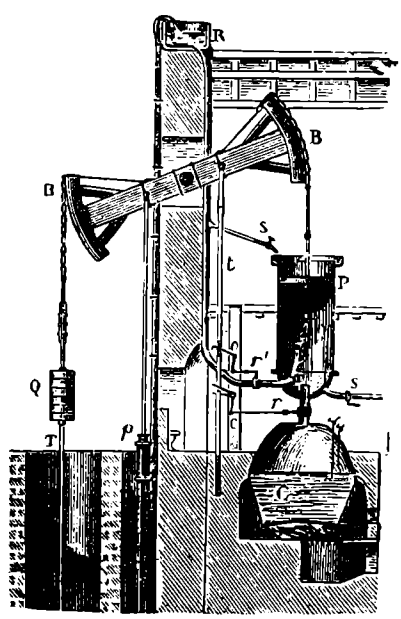


Fig. 421
Máquina de Newcomen

Es una máquina tan sencilla, y es tan barata su instalación, que aún hoy en día se usa, donde el carbón es barato.

—Como veremos (*figura 421*), consta de un cilindro en el cual enchufa un pistón *P*, en cuyo centro hay un vástago que está unido á una cadena, que pasa por un *balancin* en cuyo otro extremo hay un contrapeso *Q*.

El vapor se produce en una *caldera* separada *C* y de allí pasa á la parte inferior del cilindro.

En este caso, el pistón *P* sufre por arriba la presión atmosférica y por abajo, *también* la presión atmosférica; luego el pistón se ve obligado á elevarse por la acción del contrapeso *Q*.

Conseguido esto, se abre el robinete *r'* y se introduce debajo del pistón un chorro de agua fría el cual condensando el vapor, produce el vacío; luego el pistón bajará por la presión atmosférica.

Vuelve á abrirse la llave *r* del vapor, sube el pistón, se abre la llave *r* y se produce la condensación y así sucesivamente.

Suele echarse una cierta cantidad de agua sobre el pistón para evitar que el vapor pase entre el cilindro y el pistón.

Al principio el agua fría no se introducía dentro del cilindro, sino que se hacía recorrer entre un doble cilindro que envolvía al principal, pero habiendo notado un día *Newcomen* que el pistón subía y bajaba con más rapidez que la usual, buscó la causa y halló que era debido á que algunas gotas del agua que estaban sobre el pistón caían al interior del cilindro por un pequeño agujero que tenía el pistón, de donde sacaron la consecuencia, de que la condensación se hacía más rápidamente por medio de un chorro de agua fría.

Fué, pues, obra de la casualidad, pero bien aprovechada.

—Otra casualidad introdujo el último perfeccionamiento que tuvo la máquina de *Newcomen*.

Cuenta *Arago*, que un niño *Enrique Pother*, estaba encargado de abrir y cerrar alternativamente las llaves de introducción del vapor y de entrada del agua fría, y que un día que estaba ejerciendo sus funciones, oyó gritos de alegría de unos camaradas que jugaban en las cercanías.

Deseoso de hacer lo mismo, ató un hilo á cada robinete y los otros extremos al balancín, y entonces, el balancín se encargó por sí sólo de hacer las funciones que ejercía *Pother*.

Luego las llaves, se abrían y cerraban automáticamente.

—Vemos que estas máquinas tienen sobre la de *Papin* las siguientes ventajas:

1º Introducción del *balancín* en vez de las poleas.

2º Producción del vapor fuera del cilindro.

3º Condensación rápida del vapor por la introducción del chorro de agua fría.

4º Movimiento automático de los robinetes.

Esta máquina lleva con razón el nombre de *atmosférica*, porque sólo la presión atmosférica es la que produce acción.

Se aplicó, no sólo al desagote de las minas sino á la distribución de agua en *Londres*.

Durante 64 años, hasta 1769, esta fué la mejor máquina á vapor, hasta que vino *Watt* y nos produjo la maravilla que hoy contemplamos.

752.--Watt.—Este célebre físico, nacido en *Greenock* (Escocia) en 1736, era un simple obrero y desempeñaba el puesto de conservador del gabinete de física de la Universidad de *Glasgow*.

Habiéndole llevado un pequeño modelo de la máquina de *Newcomen*, estudió sus inconvenientes é hizo tales modificaciones, que lo llevaron á ser uno de los hombres más célebres del universo.

—Empezó por suprimir el agua que se ponía sobre el pistón con el objeto de no permitir el escape del vapor é introdujo para obtener el perfecto ajuste, la *prensa estopa*.

—Enseguida, notó que al condensar el vapor en el mismo cilindro, se tenían dos inconvenientes. El primero era *enfriar las paredes* del cilindro; luego, cuando entraba el chorro de vapor lo primero que hacía era calentar dichas paredes, con lo cual había una pérdida de energía. El segundo era, que el agua fría inyectada producía cierta cantidad de vapor que se oponía al movimiento del pistón.

Estos inconvenientes los salvó poniendo un *condensador* separado del cilindro, el cual consiste en un recipiente de agua fría donde se hace constantemente el vacío por medio de una bomba especial llamada *bomba á aire*, que está puesta en movimiento por la misma máquina.

—A continuación, ideó *cerrar la parte superior* del cilindro y hacer que simultáneamente entrase el vapor por uno y otro lado del pistón; luego, el movimiento se obtiene sólo por el contrapeso.

En seguida se hace comunicar la parte inferior del cilindro con el condensador y entonces ya aquí, no entra para nada la acción de la presión atmosférica.

Esta máquina constituye la *máquina á simple efecto*.

Esta modificación produjo una economía de las tres cuartas partes del combustible que antes se empleaba

—Vemos que con la máquina á simple efecto, los movimientos alternativos tienen *distintas velocidades*, lo cual si bien no es un inconveniente para el trabajo de las bombas, lo es, y muy serio, para utilizar la máquina para aplicaciones industriales.

Watt resolvió el problema por medio de su *máquina á doble efecto*, por lo cual el vapor entra *alternativamente* en uno ú otro lado del pistón, haciéndose la condensación alternativamente en el mismo condensador.

Para obtener esto, inventó una *caja de distribución del vapor*, por la cual, mientras un lado del cilindro está en comunicación con la *cámara del vapor*, el otro lado se comunica con el condensador.

753.—No interviniendo ya para nada la atmósfera en el movimiento del pistón, se pensó calentar más el vapor dándole mayor fuerza expansiva, con lo cual puede economizarse el condensador y enviar el vapor á la atmósfera sin necesidad de condensador.

Con este método, *se pierde una atmósfera de presión*, pero en cambio la máquina es mucho más sencilla, pues no existe el condensador, bomba á aire, etc.

—De aquí ha venido la subdivisión de las máquinas en máquinas de *baja, mediana y alta presión.*

De *baja* presión se llaman cuando la tensión del va por es poco mayor que la presión atmosférica.

De *mediana* presión, cuando la tensión del vapor llega á *3 ó 4 atmósferas.*

De *alta* presión, cuando pasa de *4 atmósferas.*

754.—Finalmente, hizo otra modificación importante.

Como hemos visto, cuando el vapor entra de un lado del pistón, *sigue entrando hasta* que el pistón llega al fondo del cilindro, con lo cual había un gran consumo de vapor y al mismo tiempo, se producía un choque contra el fondo del cilindro que ponía en peligro su estabilidad.

Este era el sistema á *pleno vapor.*

Watt, aprovechando la *fuerza expansiva del vapor*, hacía que el vapor entrara sólo durante *un tercio* de la excursión del émbolo y enseguida la *expansión* del vapor terminaba el trabajo.

El efecto producido es menor, porque el vapor va disminuyendo de fuerza expansiva á medida que el volumen aumenta, pero en cambio, hay una gran economía de combustible.

Estas son las máquinas á *expansión.*

Luego, las máquinas pueden dividirse en:

1º Máquinas *sin* expansión y *sin* condensación.

2º Máquinas *sin* expansión y á condensación.

3º Máquinas á expansión y *sin* condensación.

4º Máquinas á expansión y á condensación.

Vamos ahora á describir los principales órganos de una máquina fija moderna y allí tendremos ocasión de observar otros perfeccionamientos introducidos por el mismo *Watt.*

755.—Principales órganos de una máquina fija.—Una máquina á vapor, consta de dos partes, *el Generador* y el *Mecanismo Motor*.

—El *Generador* del vapor consta generalmente de un *cilindro* de hierro *G* (*fig. 422*), que se llena hasta algo más de la mitad de agua.

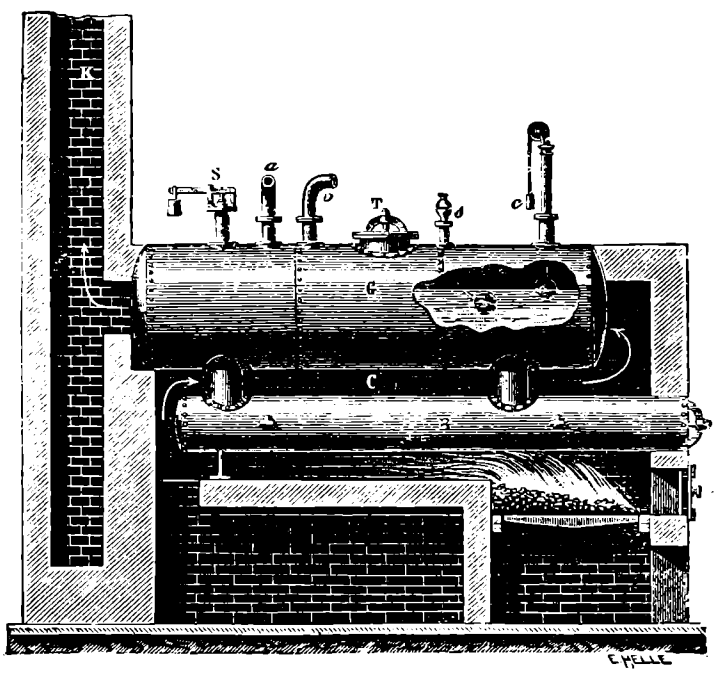


Fig. 422
Máquina á vapor, fija

Debajo del generador *G* hay otros dos cilindros más pequeños *B B* (*fig. 423*), llamados *hervidores* que están en comunicación con el generador por medio de cuatro cilindritos pequeños.

Los hervidores están en contacto con el *hogar* y éste está dispuesto de manera que la llama y el humo caliente, se vean obligados á recorrer dos veces á lo largo de los cilindros, según lo marcan las flechas, antes de salir por la chimenea.

De esa manera se aprovecha mayor cantidad de calor.

Cuando hay un gran consumo de vapor, como en las locomotoras, es necesario poder producir *mucho vapor en poco tiempo* para lo cual nos bastará dar á la caldera *mucha superficie*, lo cual ha conseguido *Seguín* por medio de su *caldera tubular*, que consiste en un generador como el *G*, en cuyo interior hay una gran cantidad de cañitos ó tubos de hierro que están dentro del agua, y cuyos extremos son abiertos para *permitir que los gases de la combustión pasen por su interior* antes de ir á la chimenea.

De modo, pues, que el agua, teniendo más puntos de contacto con el hierro de la caldera, se calienta más pronto y da mayor cantidad de vapor.

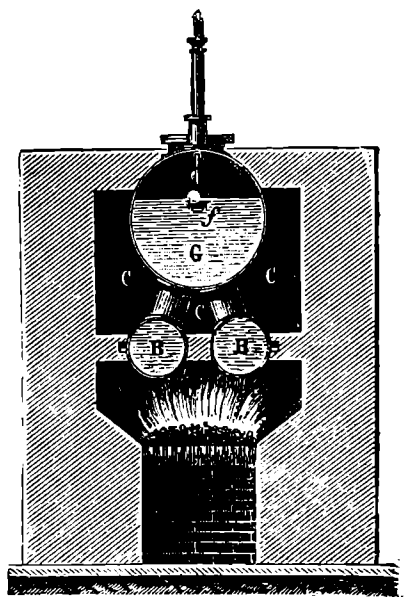


Fig 423
Caldera

756.—Indicaremos ahora algunos *órganos accesorios*. Estos órganos están indicados en la *fig. 422*.

S es una *válvula* de seguridad de *Papin*.

Si la tensión del vapor de la caldera aumentara más del límite de resistencia marcado por la caldera, la válvula se abre sola, escapa el vapor y disminuye la tensión interior.

El tubo *a* es el destinado á la *inyección* de agua en el interior de la caldera. El tubo *v* es el tubo de *toma de vapor*.

T es una abertura elíptica cerrada herméticamente, destinada á dejar penetrar un obrero para hacer la limpieza de la caldera. Toma el nombre de *agujero de hombre*.

s es un *pito de alarma* para el caso de que el maquinista se hubiera descuidado y el *nivel del agua* interior hubiera bajado demasiado.

El último órgano que se ve á la derecha es un *flotador* destinado á *marcar* el nivel del agua en el interior de la caldera.

Este flotador está unido á una cadenita que pasando por una polea, tiene en la otra extremidad un contrapeso *c*. Si el agua se eleva, el flotador sube y el peso *c* baja haciendo girar la polea en cuyo eje hay una aguja que marca en un cuadrante el nivel del agua.

Para marcar el nivel del agua suele usarse también *un tubo vertical de vidrio* que se pone en una de las bases de la caldera, y comunicando con el agua por la parte inferior y con la cámara de vapor por la parte superior.

Finalmente, las calderas están munidas de un *manómetro*, destinado á medir la tensión del vapor.

757.—Pasemos ahora á ver el *mecanismo motor*.

Hemos visto que el pistón en el cilindro produce un *movimiento rectilíneo alternativo*, el cual *Newcomen* convertía en *circular* por medio de un balancín.

El movimiento de rotación es *más facil transmitirlo* por medio de ruedas dentadas, correas, etc., por eso debe siempre tratarse de convertir el movimiento rectilíneo en circular.

Si se tuviera una máquina fija (*fig. 423*), el vapor viene por un caño á la caja de distribución *T*, de donde pasa el vapor alternativamente á uno y otro lado del pistón.

El vástago del pistón, está articulado á la *biela n D*, la que está articulada á la *manivela M* que está fija al *árbol O*.

El movimiento de vaivén del pistón hace mover la biela, la que arrastrando á la manivela obliga á girar el árbol.

Un *excéntrico E* por medio de la *rienda E T*, produce la distribución del vapor.

Al árbol *O* está fijo un volante *V*, el cual tiene por objeto almacenar la fuerza viva que se perdería cuando el trabajo disminuye en un instante dado.

Cuando sucede que el trabajo disminuye, la máquina funciona con mayor rapidez y por consiguiente, conviene disminuir la entrada del vapor en el cilindro.

Esto se obtiene automáticamente por medio del *re-*

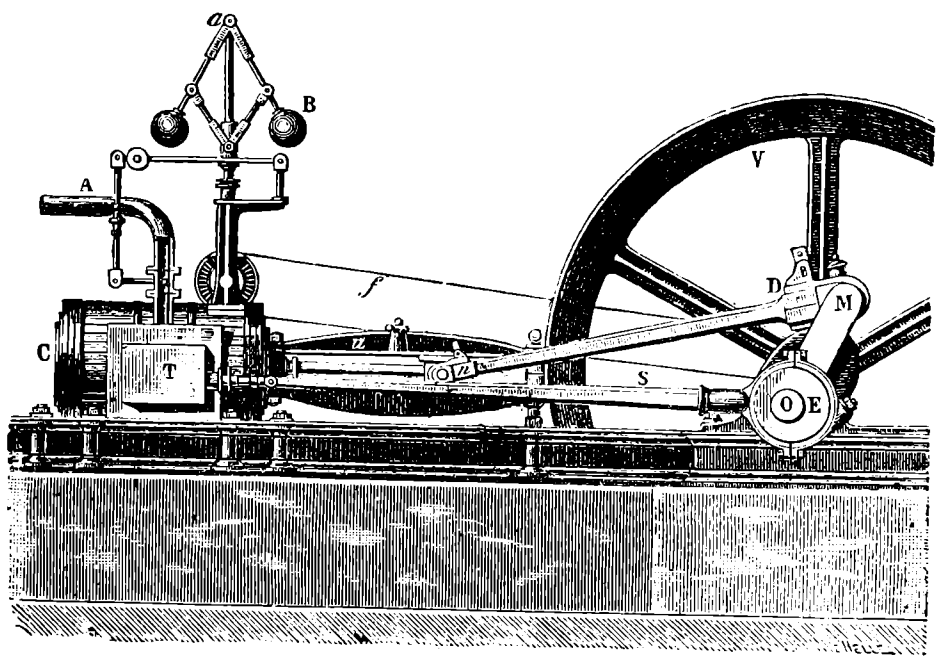


Fig. 424
Mecanismo motor de una máquina á vapor

gulador de Watt B, que consiste en un eje vertical en cuyo extremo *a*, se articulan dos varillas que están terminadas por dos esferas *B*.

Si por medio de la correa *f* se imprime al eje del regulador un movimiento circular, las esferas *B* se irán separando del eje más y más, en virtud de la fuerza centrífuga.

Este movimiento vertical de las esferas es transmitido á una válvula que limita la entrada del vapor cuan-

do las esferas suben demasiado y permite entrar más vapor, cuando las esferas bajan.

758.—Haciéndose demasiado extenso este capítulo sólo diremos que *Seguín* y *Stephenson* pueden considerarse como los padres de los ferrocarriles, así como *Fulton* el padre de la navegación á vapor.

En agosto del año 1807, el vapor *Clermont* hacía el primer viaje entre *New-York* y *Albany*.

759.—Locomotoras.—Las locomotoras no son más que máquinas horizontales y locomóviles.

La caldera es una caldera tubular que contiene de 100 á 300 tubos, con una superficie metálica, en contacto con el agua, de 100 á 200 metros cuadrados.

La caldera tubular permite que la producción del vapor se haga de una manera rapidísima, lo que permite á esas máquinas tomar grandes velocidades.

El vapor de agua, producido en la caldera, es conducido á los cilindros que están colocados uno á cada lado de la caldera donde obra sobre dos pistones que actúan sobre dos bielas y las manivelas que imprimen á las ruedas un movimiento de rotación.

El vapor, después de haber obrado sobre los cilindros, se va á la atmósfera, pasando por la chimenea, donde activa el tiraje.

Los otros pares de ruedas están ligados al primero por medio de unas manivelas y una biela horizontal.

Para que una locomotora pueda arrastrar un tren, es necesario que ella tenga adherencia sobre la vía, lo cual se obtiene dándole un gran peso. En caso contrario, la locomotora hace girar las ruedas sin moverse del mismo punto, es decir, que la máquina patina.

760.—Motores á gas.—Estos motores hoy muy en boga fueron ideados por Hautefenille en 1678, Huygens en 1680 y Papin en 1690, pero el verdadero inventor fué

Borber que en 1791 hacía funcionar su motor con una mezcla de aire y un gas obtenido por la destilación del aceite y el carbón.

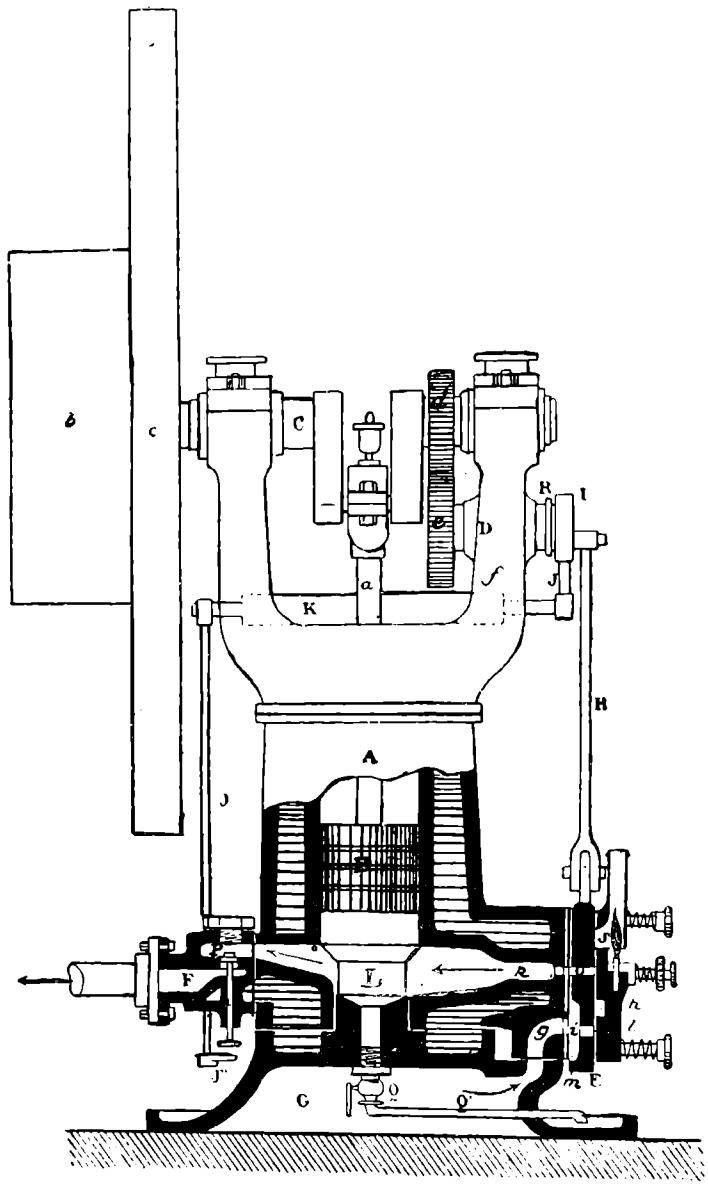


Fig. 425
Máquina á gas, tipo Otto

El que lo hizo práctico y aplicable á la industria fué Denoir en 1860.

El motor Otto hoy en uso consiste en un pistón *B*

que se mueve en un cilindro *A* y que por medio del vástago *a* actua sobre dos bielas, una de las cuales fija á un eje *G* el cual al girar obliga también á girar al volante *c* y á la polea *b*.

La otra biela hace girar una rueda dentada *d* que comunica su movimiento á otra rueda dentada *e* que hace girar al eje *R*.

Este eje comunica un movimiento alternativo al vástago *H* en cuyo extremo hay una especie de caja de distribución *E*.

Por intermedio de esta caja *E*, se permite la entrada por *g* de aire á la cámara *L* debajo del pistón *B* y en seguida, la entrada por el conducto *h*, de gas en cuyo instante la *mezcla de aire* y *gas* que está en *L* se pone en contacto con la llama *s* y se produce la inflamación y explosión.

El resultado de la combustión sale por la válvula *P*.

—Se suele usar para producir la explosión en vez de la llama un lápiz ó tubito de porcelana enrojecido en una llama.

El cilindro *A* es de dobles paredes y entre ellas corre constantemente agua que entra por debajo y sale por arriba.

La cantidad de gas es de $\frac{1}{6}$ á $\frac{1}{15}$ del volúmen del aire.

761.—Motor á gas Pobre.—Hoy en vez de usar el gas del alumbrado se está usando un gas que se prepara calentando en un gasógeno una cantidad de hulla ó antrocita, con poco aire y sobre el cual se hace caer un conveniente chorro de agua á vapor.

El agua se disocia y se produce una mezcla de hidrógeno, óxido de carbono y ázoe que sirve para alimentar el motor.

Es sumamente económico, pues se calcula que se necesitan de 400 á 600 gramos de antracita por caballo-hora, es decir, *la mitad de lo que necesita una máquina á vapor*

Tiene el inconveniente de ser algo peligroso su uso por el desprendimiento del *óxido de carbono*.

CAPÍTULO XXIII

CALEFACCIÓN Y VENTILACIÓN

762.—Hogares.—Los aparatos destinados á la calefacción de las habitaciones pueden dividirse en *seis clases:*

1º A hogares abiertos.
2º A estufa.
3º A vapor.
4º A aire caliente.
5º A gas.
6º A agua caliente.

El método de los hogares que es el primitivo, es también el más *higiénico* pero el *menos económico.*

Solo el *6* % del calor desarrollado en la combustión, es aprovechado para la calefacción del aire ambiente.

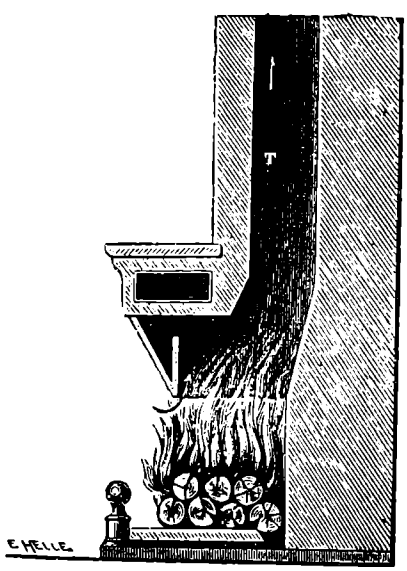


Fig. 426
Hogar

Como sabemos, estos hogares consisten en una abertura (*fig. 426*), que se hace contra las paredes de una habitación y munida de un tubo que lo pone en comunicación con el aire exterior, tubo que toma el nombre de *chimenea.*

763.—Chimenea.—La chimenea debe tener una altura de *7* á *8 metros*, prolongándose exteriormente hasta *2* ó *3 metros* más arriba que los techos.

Si la chimenea *tira* bien, no sólo se tiene la calefacción de la habitación sino su ventilación.

El *tiraje* de la chimenea, es producido por el aire caliente que está en el interior del tubo y el aire frío que está en la habitación.

El aire frío establece una corriente hacia el exterior, por la chimenea, debido á que el aire caliente trata de *elevarse* por su menor densidad.

—Las circunstancias que pueden modificar el tiraje de una chimenea son:

1º La altura.

2º La cantidad de calor desarrollado en el hogar.

3º La chimenea debe ser *vertical* para disminuir el rozamiento del aire.

4º No debe ser *demasiado ancha*, pues en ese caso, en la misma chimenea se produciría el movimiento ascendente del aire caliente y el descenso del aire frío (*convección*). En ese caso la chimenea daría *humo*.

5º No deben estar las *puertas y ventanas* de la habitación herméticamente cerradas, pues en ese caso, no habría buen tiraje debido á la rarefacción del aire interior.

6º Se modifica el tiraje de una chimenea si en una habitación contigua hay otra estufa de un *tiraje más activo*, pues hacia ésta se establecerá la corriente del aire frío y la òtra chimenea humearía.

7º Un *viento fuerte* impide que la chimenea tire bien.

Como hemos dicho antes, este es el sistema de calefacción más higiénico.

764.—Estufas.—Estos aparatos son generalmente de fundición y están colocados en el centro de las habita-

ciones que se quieren calentar, de modo que se utiliza mejor el calor producido, pero, como su tiro es *más lento* que en las chimeneas, resulta que es menos higiénico.

Tienen el inconveniente de producir muy *mal olor*, debido á las partículas orgánicas que hay en el aire.

765.—Calefacción por el vapor.—Para producir la calefacción por el vapor se establece en el sótano del edificio una caldera á vapor, la que lanza el vapor en una *cañería* que recorre los pisos y paredes de las habitaciones, á las cuales *cede el vapor su calor* al condensarse.

Este método es de muy difícil conservación y muy caro.

766.—Calefacción por el aire caliente.—Este sistema se obtiene estableciendo en el sótano un poderoso hogar dentro del cual haya un sistema de tubos en que corre libremente el aire recibido del exterior.

El aire caliente de estos tubos se eleva y penetra en las habitaciones por los extremos de dichos tubos llamados *bocas de calor*. No sólo se obtiene una calefacción sino una buena ventilación.

767.—Calefacción por medio del gas.—Por medio del *gas* y del *petróleo* se pueden calentar las habitaciones, para lo cual se construyen actualmente aparatos elegantes y que producen la perfecta combustión sin producir gases nocivos ni malos olores.

El método del *gas* es más higiénico que el de *petróleo*, pero sumamente caro.

768.—Calefacción por el agua caliente.—Este sistema de calefacción utiliza el agua, para transportar el calor á las diferentes partes de un edificio.

En el sótano del edificio se establece una caldera *A* (*fig. 427*), en la que se calienta agua.

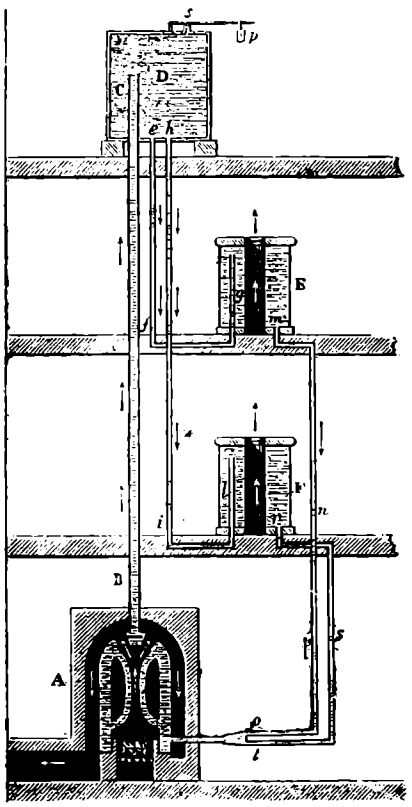


Fig. 427
Calefacción por el agua caliente

El agua caliente menos densa, se eleva por un tubo *B C* y llega á un depósito *D* lleno de agua colocado en el último piso, de donde por medio de los tubos *e f g*, *h i l* baja y va á dar á los caloríferos *E* y *F* que están en diferentes habitaciones.

El agua corre en estos dos caloríferos por entre dos cilindros concéntricos y de allí por el aumento de densidad debido al enfriamiento, baja por los caños *m n o*, *r s t* y vuelve á la caldera.

Hay, pues, una verdadera circulación de agua caliente.

Este sistema tiene el inconveniente de que el establecimiento y conservación es muy caro y agréguensele los peligros de explosión.

769.—Aunque es muy caro se usa también la calefacción eléctrica, es decir, establecer en la habitación, gran número de lámparas á incandescencia de gran tamaño. Es una gran fuente calorífica.

INDICE

LIBRO PRIMERO

PRELIMINARES

	Páginas
Nociones preliminares	1
Constitución de los cuerpos	5
Propiedades de los cuerpos	14

LIBRO SEGUNDO

NOCIONES DE MECÁNICA

Cinemática	25
Estática	39
Composición de fuerzas paralelas	58
Dinámica	74

LIBRO TERCERO

GRAVEDAD

Atracción universal	85
Máquinas simples	105
Instrumentos de precisión	128
Caída de los cuerpos	147
Péndulo	160

LIBRO CUARTO

HIDROSTÁTICA

Equilibrio de los líquidos	187
Equilibrio de los líquidos pesados	198
Principio de Arquímedes	214
Aplicación del principio de Arquímedes	233
Peso específico de los sólidos y líquidos	237
Capilaridad	251

LIBRO QUINTO

GASES

	Páginas
Propiedades de los gases	256
Medida de la presión atmosférica	274
Medida de la fuerza elástica de los gases	289
Máquina neumática	311
Máquina de compresión	327
Aplicaciones	336

LIBRO SEXTO

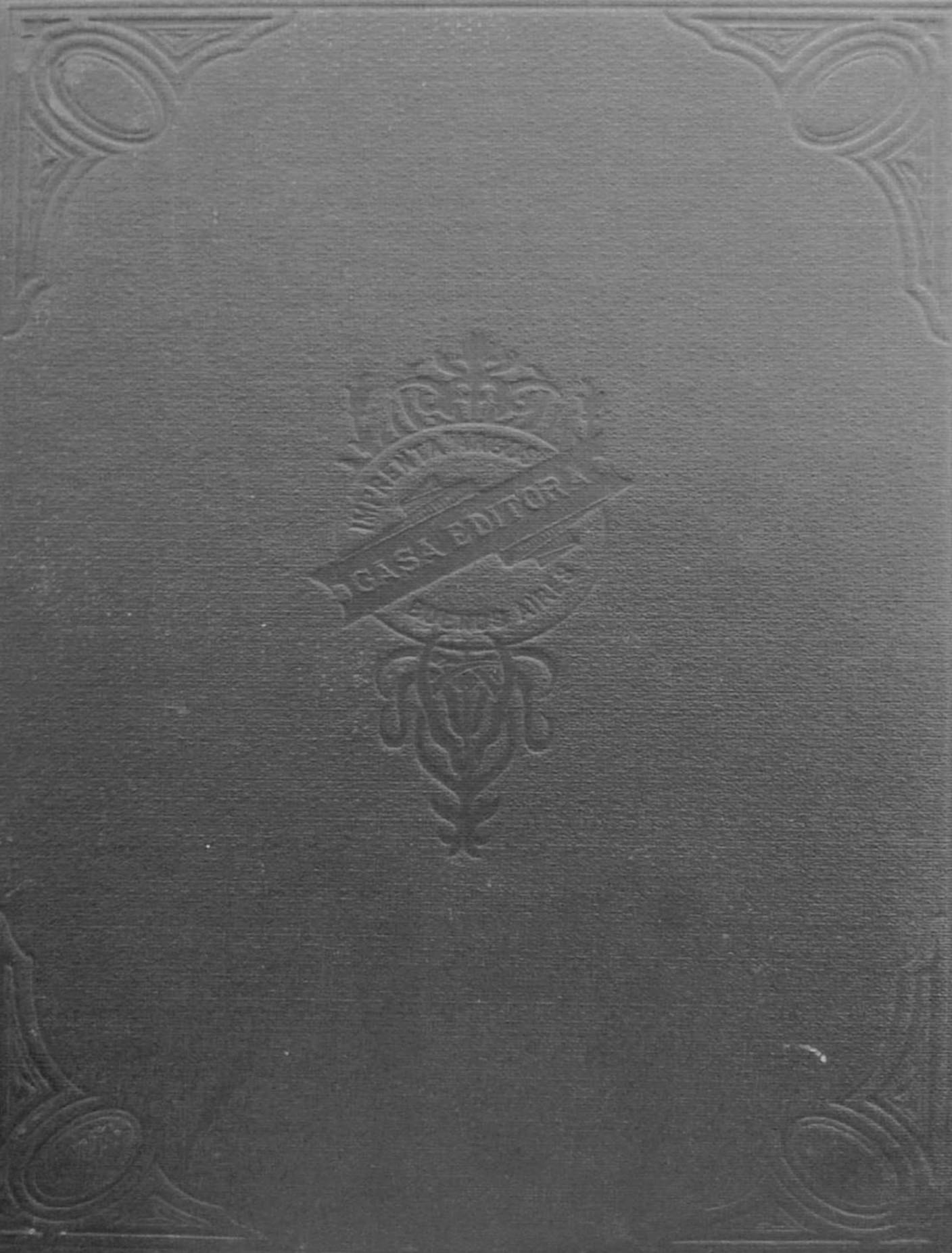
CALOR

Preliminares	347
Termómetros	355
Dilatación de los sólidos	375
Dilatación de los líquidos	388
Dilatación de los gases	394
Densidad de los gases	399
Cambio de estado de los cuerpos	404
Vaporización	420
Ebullición	427
Liquefacción de los vapores	440
Evaporación	444
Liquefacción, solidificación de los gases	447
Higrometría	462
Meteoros caloríficos	475
Vientos	483
Meteoros acuosos	491
Calorimetría	499
Propagación del calor	507
Radiación	516
Emisión y absorción	521
Nociones de termodinámica	535
Máquinas térmicas	549
Calefacción y ventilación	565

BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL LA PLATA

4869

17 NOV 1942


UNIVERSITY
CASA EDITOR
ARTE