D. BERENDIQUE PALMA y E. MELO AGUIRRE

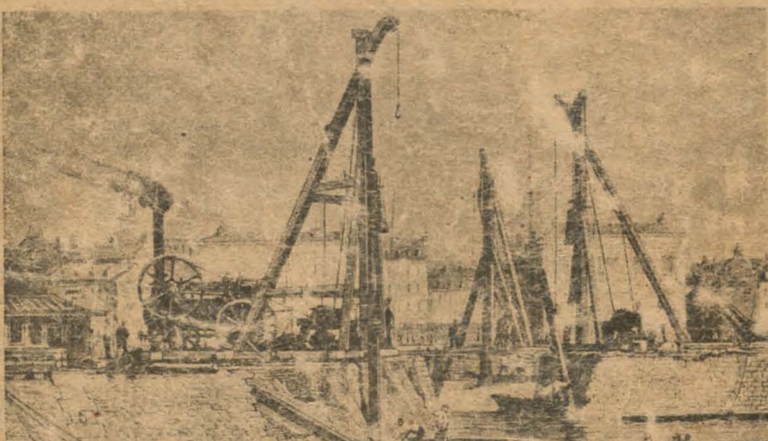
CURSO DE FÍSICA

MECÁNICA

Texto arreglado en conformidad a los programas vigentes

TOMO I

Correspondiente al IV Año de Humanidades



Texto ilustrado con 191 grabados

CASA EDITORIAL "MINERVA"
M. GUZMÁN MATURANA
Santiago - 39 Ahumada 43
1919

D. BERENDIQUE PALMA y E. MELO AGUIRRE

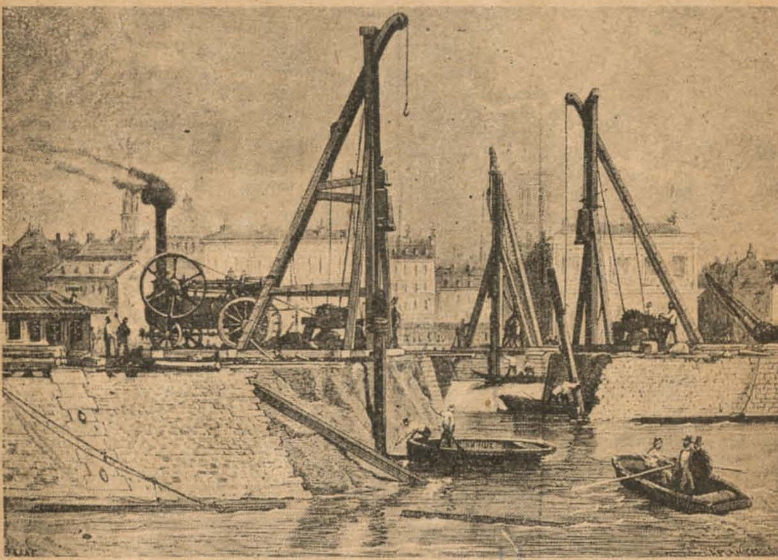
CURSO DE FÍSICA

MECÁNICA

Texto arreglado en conformidad a los programas vigentes

TOMO I

Correspondiente al IV Año de Humanidades



Texto ilustrado con 191 grabados

CASA EDITORIAL "MINERVA"
M. GUZMÁN MATURANA
Santiago - 39 Ahumada 43
1919

Imprenta Universitaria, Estado 63. Santiago de Chile.

ÍNDICE

II PARTE

Mecánica de los líquidos

III. PARTE

Mecánica de los gases

PROGRAMA

IV AÑO DE HUMANIDADES

Introducción: Objeto de la física, su relación con las otras ramas de las Ciencias Naturales, punto de partida de esta ciencia y los métodos de averiguación que se aplica en su estudio.

Mecánica.—Las tres ideas fundamentales: espacio, masa, tiempo y sus unidades; vernier, catetómetro, tornillo micrométrico, movimiento uniforme, velocidad, su unidad $=1\left[\frac{cm}{seg}\right]$; $s=c.\ t$, movimiento uniformemente acelerado, aceleración; su unidad $=1\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$; $v_f=at$; movimiento uniformemente retardado, $v_f=v_i-at$, $t_{max}=\frac{v_i}{a}$, composición y descomposición de velocidades y aceleraciones.

Definición de la fuerza como causa del cambio del movimiento, sus unidades (=dina; kg-peso), los 3 principios de Newton, relación entre fuerza y movimiento, caída libre; $v=gt$, lanzamiento vertical, $v_f=v_i-gt$, $t_{max}=\frac{v_i}{g}$, representación gráfica de una fuerza, composición y descomposición de fuerzas con el mismo punto de aplicación, resultantes, componentes, composición de fuerzas que no poseen el mismo punto de aplicación.

Pareja, momento estático de una fuerza, su unidad, composición de momentos estáticos, efecto de una pareja igual al de un momento estático, cuyo brazo es igual a la distancia de las dos fuerzas y cuya fuerza es igual a una de las dos, traslación de una fuerza a cualquiera otro punto del espacio, composición de un sistema de fuerza cualesquiera, centro de gravedad, peso del cuerpo, las 3 clases de equilibrio, método experimental para determinar el centro de gravedad de láminas.

Estabilidad, trabajo mecánico, sus unidades (=erg, mkg), potencia $\left(=\frac{erg}{seg}, \frac{mkg.}{seg}, HP\right)$; máquinas simples, palancas, balanza romana, balanza de precisión, definición de la densidad, válvula de seguridad.

Poleas, garruchas, rueda con árbol (torno y cabrestante), plano inclinado, cuña, roce.

Caracteres de los líquidos, prensa hidráulica, presión y fuerza sobre el fondo, vasos comunicantes, sus aplicaciones, indicador de agua en las calderas, manómetro, distribución del agua potable, pozos, presión lateral, empuje, principio de Arquímedes, equilibrio de los cuerpos flotantes.

Densidad de los cuerpos:

1) Cuerpo de forma geométrica.

2) Cuerpo de forma cualquiera y más pesado que el agua (principio de Arquímedes).

3) Cuerpo más liviano que el agua.

4) Líquido por el picnómetro.

5) Areómetros.

Reacción del agua saliente, molinete hidráulico, ruedas de molino, turbina.

Caractéres de los gases, expansibilidad de los gases, atmósfera, presión atmosférica, barómetros de mercurio, barómetros metálicos, variaciones de la presión atmosférica, ley de Mariotte, volumen y densidad normales, manómetros, máquina neumática ordinaria, máquina neumática de mercurio, pipeta, sifón, bombas, máquina de compresión, matraz, lavador, bomba de incendios, principio de Arquímedes y globos aerostáticos.

Prólogo

La experiencia que hemos adquirido en la enseñanza de la Mecánica, en el Instituto Nacional y Liceo M. Barros Borgoño, nos ha inducido a escribir un texto que trate esta parte de la Física, de acuerdo con los nuevos programas aprobados por la Universidad, y que consulte en su desarrollo los conocimientos de Matemáticas que los alumnos poseen al iniciarse en el IV año de Humanidades.

Consecuente con lo expuesto, hemos desarrollado nuestras primeras lecciones, apoyándonos sólo en conocimientos de Aritmética. Las fórmulas físicas, tales como las relativas a los movimientos, fuerzas, etc., que aparecen en los primeros capítulos, las hemos establecido mediante sencillos problemas de regla de tres.

Los países más adelantados, comprendiendo la gran importancia que la Mecánica tiene en el progreso de los pueblos, le han asignado un lugar preferente en la enseñanza, encaminándola siempre hacia fines prácticos, sin descuidar, por cierto, las leyes o principios físicos que sirven de base a aquéllos.

Nosotros estamos penetrados de que el conocimiento netamente teórico de este ramo, basado en el mero aprendizaje de fórmulas que no traduzcan aplicaciones inmediatas y prácticas, es de un escaso valor, y por tal motivo, hemos preferido dar la oportunidad a los alumnos para que encuentren tales aplicaciones, agregando en nuestro texto y al fin de cada capítulo, problemas que llenen esta necesidad.

Además de haber desarrollado ampliamente el programa de Física del IV año, hemos hecho algunos agregados sobre tópicos de importancia actual, que tienen relación directa con la materia que debe enseñarse en este año, como ser: nociones sobre aviación, buzos, submarinos, frenos automáticos Westinghouse (de actual uso en los ferrocarriles chilenos), bombas de incendio modernas, turbinas, bombas centrífugas, etc.

Nada nos significarán los sacrificios gastados en la composición de esta obra, y en cambio, quedaremos altamente complacidos, si ella es aceptada por nuestros colegas, de quienes esperamos, agradeciéndoles de antemano, el juicio que les merezca como texto científico y pedagógico.

Diego Berendique Palma,
Profesor del ramo en el Instituto
Nacional y Escuela Militar.

Ernesto Melo Aguirre,
Profesor del ramo en el Liceo
M. Barros Borgoño.

CAPITULO I

Del lugar que ocupa la Física dentro de las Ciencias Naturales

§ 1. **Fundamento del estudio de la Física.**—La base del estudio de las Ciencias Naturales, y por consiguiente de la Física, que es una de sus ramas, son las sensaciones que hieren nuestros sentidos (vista, oído, gusto, tacto, olfato).

No se puede definir a priori el concepto de sensación. Cualquiera que sea la naturaleza de ésta, ella se produce porque hay una *materia* que nos rodea.

La idea de **materia** es de por sí muy difícil de ser definida y nosotros nos contentaremos tan sólo con aclarar su concepto, diciendo que es *todo aquello que impresiona a los sentidos.* En la naturaleza, se presenta bajo aspectos tan diversos como aire, agua, tierra, madera, electricidad, etc.

A las porciones limitadas de materia se les llama *cuerpos o cosas.*

§ 2. **División de las Ciencias Naturales.**—Las Ciencias Naturales abarcan el estudio completo de la Naturaleza, es decir, el estudio de los cuerpos y de los innumerables fenómenos de que son asiento. La Física es sólo una rama de esta gran Ciencia, y la Mecánica una parte de aquélla.

El lugar que la Física ocupa dentro de las Ciencias Naturales, se indica en el cuadro siguiente:

Ciencias Naturales (¹)	Estudio de los cuerpos	*organizados:* **Botánica y Zoología**
		inorgánicos: **Mineralogía**
	Estudio de los fenómenos	*que modifican de una manera permanente la constitución de los cuerpos:* **Química.**
		que no la modifican o sólo lo hacen temporalmente: **Física.**

La clasificación dada es artificial e incompleta. Es imposible deslindar el papel particular de cada ciencia, por el ensanche continuo del campo de los conocimientos. Cada rama tiene cierta relación con las otras. Las líneas de absoluta demarcación no existen entre ellas.

§ 3. **Fenómenos Físicos y Químicos.**—Basta la observación más elemental, para notar que los cuerpos son susceptibles de modificaciones continuas, profundas o accidentales. La tierra, que gira sobre sí misma y alrededor del sol; el agua, que por el frío se transforma en hielo; y éste, que por el calor se vuelve a transformar en agua; etc. Estas, y otras muchas modificaciones o cambios que observamos en los cuerpos, es lo que llamamos *fenómenos*.

Artificialmente podemos provocar muchos fenómenos natu-

(¹) *También están comprendidas en las Ciencias Naturales, la Geología, que estudia la Tierra y las fases sucesivas por las cuales ha pasado nuestro planeta en el curso de los siglos, y la Astronomía, que estudia los fenómenos celestes.*

rales; como, por ejemplo, la conversión del agua en hielo y viceversa.

Nótese que las modificaciones de la materia pueden ser transitorias, como ocurre en el último ejemplo, o permanentes, como acontece cuando quemamos un trozo de madera, en cuyo caso siempre se obtienen cenizas y gases de diversa naturaleza.

De aquí se desprende que los fenómenos deben dividirse en dos grupos: fenómenos físicos y fenómenos químicos.

Fenómeno físico *es aquel cambio que no modifica la constitución íntima de un cuerpo, haciéndolo sólo de una manera temporal.* Ejemplo: un cuerpo que cae; una corriente eléctrica que, junto con pasar por un alambre, lo enrojeciera momentáneameante; la fusión del hielo; la conversión del agua en vapor; etc.

Fenómeno químico *es aquel que modifica o cambia profundamente, la constitución íntima del cuerpo.* Una sustancia desaparece para producir otra nueva, con propiedades distintas. Ejemplo: si se quema una cinta de magnesio, ésta arde con luz deslumbradora, y da como producto unos polvos blancos que no se parecen en nada a la sustancia que los produjo. Si se hace lo mismo con el azufre, éste arde con una llamita azuleja y da origen a un gas de olor fuerte y característico ([1]).

([1]) *El profesor puede citar los ejemplos que crea conveniente.*

CAPÍTULO II

Las tres ideas fundamentales de la Física

§ 1. **Espacio, masa y tiempo.**—En la vida diaria percibimos una serie de fenómenos, sin darnos cuenta de *cómo* ni *por qué* se producen, tales como la caída de algunos cuerpos (piedras, agua) y la elevación de otros (globos, aeroplanos etc.) En los hechos citados, el fin que persigue la Física es la explicación del *cómo* y el *por qué* se producen tales fenómenos. La mayoría de nuestros conocimientos científicos se adquiere después de hacer una medición cuidadosa de ellos. Así, se dice que una persona tiene cabal conocimiento de un fenómeno, cuando puede medirlo y expresarlo numéricamente; si no se llena este requisito, el conocimiento es incompleto, pudiendo ser el principio de uno, que más tarde adquiera el carácter de científico.

Son suceptibles de medición tres cantidades fundamentales diferentes, a saber: *longitud*, *masa* y *tiempo*. Veremos más adelante que, todas las demás mediciones se pueden reducir a estas tres; por consiguiente, nuestro primer problema de Física consiste en aprender a determinar estas unidades.

§ 2. **Origen del Sistema Métrico.**—En un principio, probablemente, tuvieron las naciones un sistema de unidades derivado de objetos conocidos. Así, por ejemplo, las de longitud fueron tomadas de la dimensión de alguna parte del cuerpo humano; la longitud del brazo de Enrique I dió nacimiento a la yarda inglesa; el pie y la pulgada.

En Francia tenían como patrón fundamental de longitud la *Toesa de Chatelet*, especie de compás formado de una barra de hierro empotrada en el muro exterior del Chatelet (1668);

esta barra estaba terminada por dos salientes en escuadra, entre las cuales debía entrar la toesa comercial.

Se comprende fácilmente que cada país tuviera en un principio sus unidades propias, y que el intercambio comercial viniera a hacer ver la necesidad de unificar estas unidades.

Tuvo el mérito de esto, la Asamblea Nacional Francesa, nacida a raíz de la Revolución, que invitó a las diversas naciones a un Congreso Internacional, para fijar de común acuerdo las unidades, patrones o normales que deberían usar, en lo sucesivo, las naciones que tomaran parte en ese Congreso (1).

§ 3. **El Metro Normal.**—La unidad de longitud, en el Sistema métrico (2), es el **metro** *que es la longitud de una barra de 90% de platino y 10% de iridio a 0° que se guarda en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas en Sevres* (París) (3) en el «Pavillon de Breteuil».

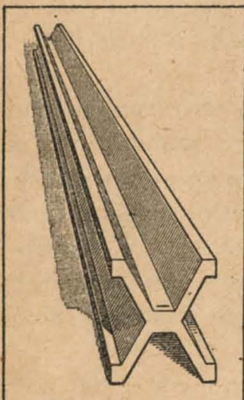


Fig. 1.

En física, se usa como unidad de longitud el **centímetro,** *que es la centésima parte del metro normal.*

El metro normal (fig. 1), en su corte transversal, tiene más o menos la forma de una X, para hacerlo inflexible; con una unión transversal AB (fig. 2). La longitud de esta barra, que

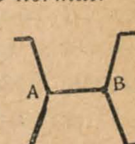


Fig. 2.

(1) *Inglaterra y Estados Unidos no concurrieron a este Congreso, lo cual no obsta para que sus unidades se usen en muchos otros países.*

(2) *Sería de desear que el profesor repasara en esta parte el sistema métrico.*

(3) *La comisión hizo esta longitud, más o menos igual a la* $\frac{1}{10^7} = \left(\frac{1}{10\,000\,000}\right)$ *ava parte de la distancia entre el Ecuador y el polo Norte, medida sobre el meridiano de París, para poderla reconstruir en caso de pérdida.*

es un poco más larga que el metro normal (*¿por qué se habrá construído así?*) lleva en su cara superior dos marcas paralelas, cuya distancia entre ellas es la longitud exacta del metro (fig. 3).

Fig. 3

§. 4 **Unidades Simples y Derivadas.**—El centímetro, que es la unidad de longitud usada en Física, es una unidad simple, lo mismo que otras que indicaremos pronto. El **litro**, que es la unidad de *capacidad*, *es el volumen de un cubo de un decímetro de arista* (*10 cm.*) y que tiene, por consiguiente, 10^3 cm^3 = 1 000 cm^3 de volumen.

Unidad de masa.—Antes se consideraba como unidad de masa, la cantidad de agua destilada a 4° contenida en un litro; hoy día se usa una masa equivalente *a un cubo de 90% de platino* y *10% de iridio que*, como el metro normal, se guarda en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas. Esta masa se llama *kilógramo masa normal*. En Física se usa una medida igual a la milésima parte de éste, y que lleva por nombre **gramo-masa**.

Unidad de tiempo.—Por ser el día, o sea el tiempo que demora la tierra en efectuar una revolución completa en torno de su eje, una unidad demasiada larga, se le dividió en 24 horas, a éstas en 60 minutos, y a éstos, a su vez, en 60 segundos; en seguida, por razón de comodidad, se acordó elegir como unidad de tiempo al segundo, *que es la 86400 ava parte de un día solar medio* ([1]).

([1]) *Matemáticamente no son iguales todos los días; es decir, no media el mismo intervalo de tiempo entre dos pasajes consecutivos del sol por el meridiano. Por esta razón se toma el término medio de estos tiempos en el transcurso de un año.*

Las mediciones de *superficie* y *volumen* se pueden reducir a simples mediciones de longitud; pues, una superficie o área es el producto de dos dimensiones; y un volumen, el producto de tres. Por este motivo, las unidades de superficie, *el centímetro cuadrado* (cm^2) y de volúmen, *el centímetro cúbico* (cm^3) son unidades **derivadas** de la unidad fundamental de *longitud* (cm).

La medición de fenómenos tales como la velocidad de un tren, la presión que ejerce el vapor contra las paredes de una caldera, la cantidad de electricidad que gasta una lamparilla, etc., se pueden reducir en último término a mediciones de **longitud, masa** y **tiempo,** y es por esto que el *centímetro* (*cm*); el *gramo* (gr) y *el segundo* (*seg*) se consideran como las unidades fundamentales de la Física.

A este sistema de unidades se le ha llamado *absoluto;* denominándosele tambien, por abreviación, *C, G, S* (*¿por qué?*)

Problemas

1) *Expresar en C, G, S: 1m, 1 dm, 1 Hm, 1 Km,* $2m^2$, $5\ Dm^2$, $8\ Hm^2$, $20\ m^3$, $15\ Dm^3$, *13 Kg, 4 toneladas métricas.*

CAPITULO III

Instrumentos de Medida

§. 1 **El Vernier.**—Las reglas ordinarias están graduadas en decímetros, centímetros, milímetros y a veces hasta en medios milímetros.

Se comprende que es difícil, a causa del espesor de los trazos, llevar las divisiones mas allá; pero como en Física se necesita avaluar longitudes y espesores de un décimo o un centésimo de milímetro, ha habido necesidad de recurrir a aparatos que nos permitan hacer tales mediciones. Uno de ellos es el *Vernier*. Nombre de su inventor, Paul Vernier, matemático francés que lo dió a conocer en Bruselas el año 1631.

El Vernier decimal, que es el que describiremos, se compone de la combinación de dos reglas: una, la principal, R, está dividida en milímetros. A lo largo de ésta, resbala otra más pequeña, llamada especialmente Vernier, construído de tal manera que 10 divisiones del Vernier, coinciden con 9 de la regla principal. Cada división del Vernier vale $\frac{9}{10}$ de milímetro, siendo, por consiguiente, en un $\frac{1}{10}$ de milímetro menor que cada división de la regla principal. Es evidente, que las divisiones del Vernier, desde el punto de coincidencia, de derecha a izquierda, se van atrasando sucesivamente con respecto a la regla R en $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, etc.

La raya 4 del Vernier (fig. 4) quedará atrasada en $\frac{4}{10}$ de mm, respecto de la raya 4 de la regla *R*.

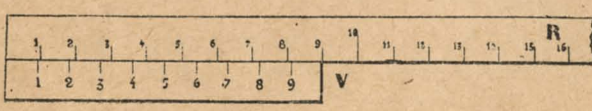


Fig. 4.

Para medir un objeto AB se coloca éste entre los dos ceros, de la regla principal y del Vernier (fig. 5) y se ve que mide

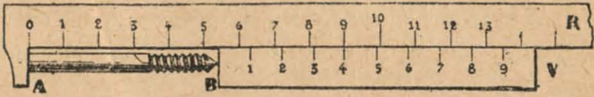


Fig. 5.

5 mm + una fracción. Esta se avalúa, viendo qué división del Vernier coincide con otra de la regla principal. En nuestro caso, es la división **4**; luego el objeto mide **5,4 mm**. En efecto, si el objeto midiera sólo 5 mm., el cero del Vernier coincidiría con la división 5 de la regla *R;* pero como existe una fracción, de acuerdo con lo expuesto, se verá en cuanto se ha atrasado el Vernier. En nuestro caso, el atraso es $\frac{4}{10}$ de mm, valor de la fracción.

De lo anterior resulta que: *el valor de la fracción en el Vernier se obtiene viendo qué división de éste coincide con una de la regla principal, y el número de esta división nos da los décimos de milímetros.*

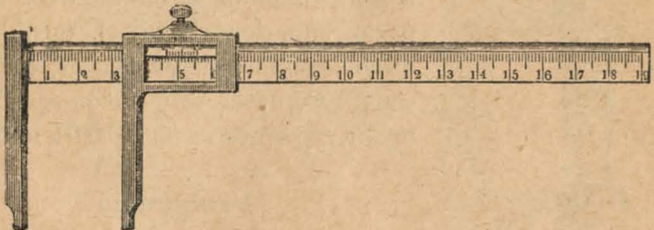


Fig. 6.
Vernier usado en la práctica.

Puede suceder que ninguna división del Vernier coincida con una de la regla principal, sino que dos divisiones de aquél se encuentren entre dos divisiones de ésta. Entonces, se toma el *término medio de las divisiones del Vernier.*

Problemas

Medir la longitud de un clavo, el volumen de un cubo, el diámetro (d) y la longitud (l) de un lápiz y deducir su volumen (V) aplicando la fórmula:

$$V = \frac{\pi d.^2 l}{4} \quad (\pi = 3,\ 1416)$$

§ 2. **El tornillo micrométrico.**—Este aparato está formado por un arco que lleva en su parte superior una tuerca, en la cual va el tornillo, y en su parte inferior, un tope o puente, donde se coloca el objeto que se quiere medir (fig. 7).

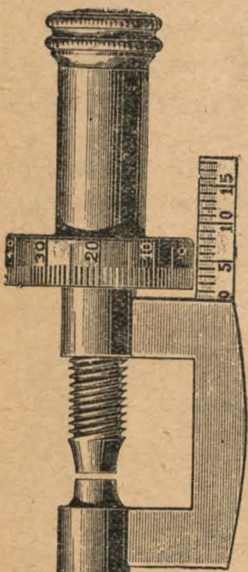


Fig. 7.

Un tornillo bien construído tiene la propiedad de subir o bajar por cada vuelta completa, en un espacio igual llamado *paso;* indicado por una regla lateral graduada en milímetros. En su parte superior, lleva el tornillo un disco, dividido en 100 partes, que gira con él. Con esta disposición se pueden medir espesores hasta de 0,01 mm.

Problemas

Mídase el grueso de alambres, de hojas de papel, etc. ¿Cuál es el grueso de una placa si el tornillo señala3 pasos + ½ paso?

§ 3. **El Catetómetro.**—Este aparato fué ideado por Gay Lussac y perfeccionado por Dulong y Petit. Tiene por objeto determinar con precisión la diferencia de nivel o distancia vertical entre dos puntos dados.

Se compone esencialmente de un anteojo horizontal (fig. 8), que se mueve a lo largo de una barra vertical, dividida en milímetros, y que puede girar sobre sí misma.

El anteojo lleva un *retículo*, es decir, dos hilos muy finos que se cortan en ángulo recto y que sirven para fijar la posición del punto.

Si se quiere medir la distancia vertical entre los puntos *A* y *B*, se hace coincidir la visual dirigida por la intersección del retículo con el punto *B* (fig. 9), se hace girar la columna vertical, de modo que el anteojo describa un plano horizontal *BC*, y se sube entonces el anteojo hasta que la visual coincida con *A*.

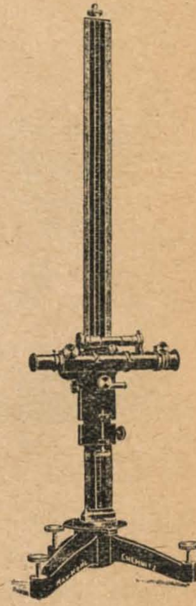


Fig. 8.

La diferencia entre las dos alturas anotadas, es la distancia vertical entre los dos puntos.

El anteojo para ir de *B* a *A*, ha tenido que describir los catetos de un triángulo rectángulo, y de aquí se deriva su nombre de *catetómetro*.

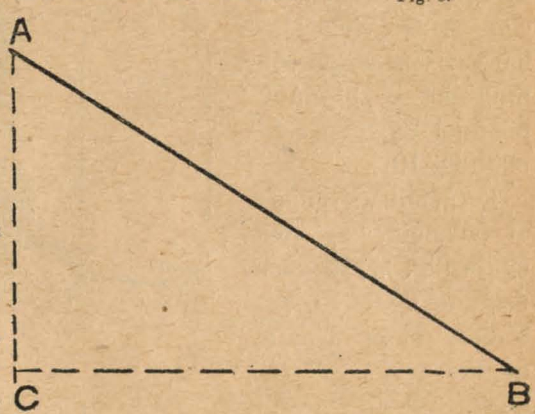


Fig. 9

§ 4. **La Balanza** (*Medición de masas*).—Medir la masa de un cuerpo es compararla con la del kilógramo masa normal. Para hacer sencilla esta comparación se han construído cuerpos de 1 kg. masa, $\frac{1}{2}$ kg, $\frac{1}{10}$ kg, $\frac{1}{100}$ kg, $\frac{1}{1000}$ kg.

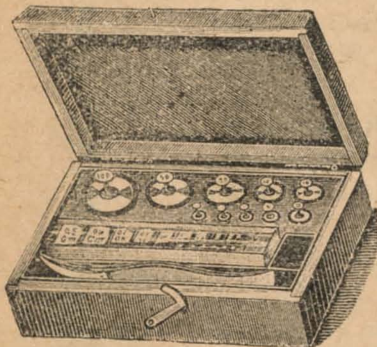


Fig. 10.

El aparato usado para la determinación de las masas es la *balanza*. Esta se compone, en su parte esencial, de una barra o *balancín*, que lleva en su parte media un prisma triangular de acero, llamado *cuchilla*, una de cuyas aristas sirve de eje de suspensión. De los extremos de la barra penden dos platillos de igual masa, apoyados también sobre aristas de prismas de acero. La masa desconocida que se quiere determinar, se coloca sobre uno de los platillos. Se equilibra esta masa con otras conocidas llamadas *pesas*, que son múltiplos o submúltiplos del kg-masa normal (fig. 10).

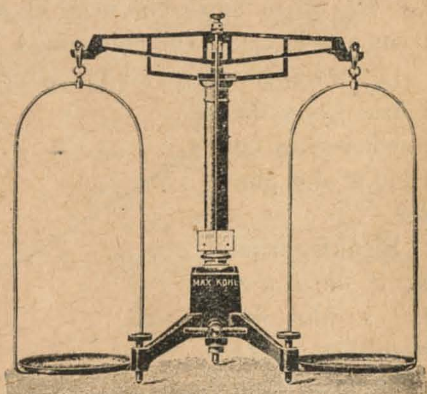


Fig. 11.

Perpendicularmente al balancín hay una aguja (fig. 11) llamada *fiel*, uno de cuyos extremos oscila delante de una escala. El *balancín* y el *fiel* constituyen *la cruz* de la balanza.

§ 5. El cronómetro.—Para medir el tiempo usamos el *reloj*. Cuando éste es muy perfeccionado y exacto recibe el nombre de *cronómetro*, en cuya descripción no entraremos.

CAPÍTULO IV

Movimiento de los cuerpos

§ **1. Reposo y movimiento.**— Un cuerpo está en *reposo* cuando no cambia de lugar en el espacio, es decir, cuando *conserva la misma posición con respecto a ciertos puntos determinados;* y está en *movimiento*, cuando cambia de lugar en el espacio, o sea, *cuando su distancia con respecto a otros puntos fijos, varía constantemente.*

Los cuerpos en su movimiento describen un camino que puede quedar marcado o no. Así, por ejemplo, un automóvil, en una carretera arenosa deja la huella de su paso; un buque, deja una estela que se borra rápidamente; por el contrario, un proyectil, una ave, al atravesar el espacio, no dejan huella alguna. Este camino marcado o no por el cuerpo en su movimiento, se llama **trayectoria.**

§ **2. División de los movimientos.**—Los movimientos, atendiendo a **su trayectoria**, se dividen en: *rectilíneos,* como el producido por la caída libre de un cuerpo; y *curvilíneos,* como el engendrado por el paso de un ciclista en una pista circular. (*¿Cuál de estos dos movimientos es más general en la naturaleza*?)

Los movimientos, con respecto **al tiempo** en que se efectúan y a la **velocidad** que poseen, se dividen en: *movimiento uniforme y variado;* este último se divide, a su vez, en *movimiento uniformemente variado* y *no uniformemente variado;* y finalmente, el movimiento uniformemente variado se divide en *uniformemente acelerado* y *uniformemente retardado.*

De estos movimientos, estudiaremos sólo los de trayectoria rectilínea.

§ 3. **Movimiento uniforme.**—Un cuerpo posee este movimiento, *cuando en cada segundo recorre el mismo espacio.*

El espacio recorrido por segundo, se llama **velocidad.**

Se comprende fácilmente que en este movimiento están íntimamente relacionadas las ideas de *espacio, velocidad* y *tiempo.*

Para comprender claramente las leyes de este movimiento, o sea las relaciones entre aquellas tres ideas, procederemos con ayudas de los siguientes problemas:

A) Problemas con respecto a la velocidad

1. *¿Cuál es la velocidad de un cuerpo dotado de movimiento uniforme que recorre 20 cm en 5 seg?*

Como preguntar por la velocidad, significa averiguar qué espacio recorre el cuerpo en un seg, se encuentra fácilmente la solución, efectuando el razonamiento y cálculo dado por el siguiente problema de regla de tres.

Si en 5 seg el cuerpo recorre 20 cm
» 1 » » » » x »

$$x = \frac{20}{5} = 4 \text{ cm por seg}$$

2. *¿Cuál es la velocidad de un cuerpo dotado de movimiento uniforme, que recorre 80 cm en 10 seg?*

Si en 10 seg el cuerpo recorre 80 cm
» 1 » » » » x »

$$x = \frac{80}{10} = 8 \text{ cm por seg}$$

De los problemas anteriores se infiere que, para encontrar el valor de la velocidad, es necesario *dividir el espacio recorrido* por el *tiempo empleado en recorrerlo*. De modo que, para resolver los problemas en que se pregunte por el valor de la velocidad, se aplica la fórmula siguiente:

$$\text{I) Velocidad} = \frac{\text{espacio recorrido}}{\text{tiempo}}$$

La *unidad de la velocidad* es *compuesta* de una unidad de **espacio** y de una de **tiempo**, por cuyo motivo, para expresar que un cuerpo recorre 15 cm en cada segundo de su movimiento, o sea, que tiene la velocidad de 15 cm por seg, se acostumbra a escribir, de acuerdo con I, en la forma de $15\left[\frac{cm}{seg}\right]$; pues sabemos que la unidad de espacio es el *cm* y la de tiempo el *seg* en *C, G, S.*

Expresiones tales como: $14\left[\frac{cm}{seg}\right]$, $30\left[\frac{m}{min}\right]$ y $50\left[\frac{Km}{hora}\right]$ representan velocidades de móviles que recorren respectivamente *14 cm por seg, 30 m. por min* y *50 Km por hora.*

B) Problemas con respecto al espacio

1. *¿Cuál es el espacio recorrido por un cuerpo, con movimiento uniforme, en 5 seg con la velocidad de* $7\left[\frac{cm}{seg}\right]$*?*

Que la velocidad de un cuerpo sea de $7\left[\frac{cm}{seg}\right]$, significa que en cada segundo recorre 7 cm, luego

Si en 1 seg el cuerpo recorre 7 cm
» 5 » » » » x

$$\mathbf{x = 7 \cdot 5 = 35\ cm}$$

2. *¿Cuál es el espacio recorrido por un cuerpo, con movimiento uniforme, en 14 seg con la velocidad de 12* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$*?*

Si en 1 seg el cuerpo recorre 12 cm
» 14 » » » » x

$$x = 12 \cdot 14 = 168 \text{ cm}$$

De los problemas anteriores se desprende que, para encontrar el valor del espacio recorrido por un cuerpo, basta *multiplicar la velocidad por el tiempo.*

De modo que, para resolver problemas en que se pregunte por el valor del espacio, aplicaremos la fórmula siguiente:

$$\text{II) Espacio} = \text{velocidad} \cdot \text{tiempo}$$

C) Problemas con respecto al tiempo

1. *¿Durante cuántos segundos se ha movido un cuerpo, con movimiento uniforme, que ha recorrido 84 cm con una velocidad de 7* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$*?*

Que la velocidad sea de 7 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$*, significa que:*

Para recorrer 7 cm el cuerpo se demora 1 seg
» » 84 » » » » » x

$$x = \frac{1 \cdot 84}{7} = \frac{84}{7} = 12 \text{ seg}$$

2. *¿Durante cuántos segundos se ha movido un cuerpo, con* *movimiento uniforme, que ha recorrido 150 cm con una velocidad de* $5\left[\frac{cm}{seg}\right]$?

Que la velocidad sea de $5\left[\frac{cm}{seg}\right]$, *significa que:*

Para recorrer 5 cm el cuerpo se demora 1 seg.
» » *150* » » » » *x* ».

$$x=\frac{1.150}{5}=\mathbf{30\ seg}$$

De los problemas anteriores, llegamos a la fórmula resolutiva:

$$\text{III}).\quad \text{tiempo}=\frac{\text{espacio}}{\text{velocidad}}$$

Si representamos el espacio por *s*, la velocidad por *v*, y el tiempo por *t;* las fórmulas I, II y III se convierten en:

$$\text{I*}).\quad \mathbf{v}=\frac{\mathbf{s}}{\mathbf{t}}$$

$$\text{II*}).\quad \mathbf{s}=\mathbf{v.\ t}$$

$$\text{III*}).\quad \mathbf{t}=\frac{\mathbf{s}}{\mathbf{v}}$$

Problemas

1. *¿Cuál es la velocidad en* $\left[\frac{km}{hora}\right]$ *de un tren que ha recorrido 967 millas en 18 horas (1 milla=1,6 km).*

2. *¿Cuál es la velocidad en* $\left[\frac{km}{hora}\right]$ *de un aeroplano que ha recorrido 20 km en 6 min 55,9 seg.*

3. *¿Cuál es la distancia del Sol a la Tierra, si la luz demora en salvarla 8 min 20 seg (velocidad de la luz = 300 000* $\left[\frac{km}{seg}\right]$?

4. *¿Cuántos kilómetros recorre el sonido en 17 seg, si su velocidad es de 340* $\left[\frac{m}{seg}\right]$?

5. *¿Qué tiempo demora la luz en recorrer 40 000 km, que es el largo de la circunferencia ecuatorial?*

5. *¿Cuántos días demoraría un tren corriendo a 60* $\left[\frac{km}{hora}\right]$, *sin detenerse, en dar vuelta la línea ecuatorial terrestre?*

7. *¿Cómo puede averiguar una persona la velocidad del tren en que viaja, sabiendo que en cada km hay un poste?*

8. *Si cada riel de una línea férrea mide 8 m, y el tren en su marcha al cruzar la unión de dos de ellos da un golpecito bastante perceptible ¿le bastaría a una persona que vaya en la plataforma poseer sólo un reloj para determinar la velocidad del tren en que viaja?*

CAPÍTULO V

Movimiento uniformemente acelerado

§ 1. **Movimiento sin velocidad inicial.**—Un cuerpo posee movimiento uniformemente acelerado, cuando en cada segundo aumenta su velocidad en una misma cantidad. El *aumento de velocidad por segundo*, se llama **aceleración**. Este movimiento se subdivide en: *sin velocidad inicial* y *con velocidad inicial*. Un cuerpo posee el primero de estos últimos movimientos cuando, al partir del reposo, y desde el primer segundo de movimiento, aumenta su velocidad en la misma cantidad.

Se comprende que tratando de este movimiento no se puede hablar de una velocidad constante, como con respecto al movimiento uniforme; pues aquélla será tanto más grande, cuanto mayor sea el tiempo durante el cual se ha movido el cuerpo. Por esta razon, hablamos en este caso de una *velocidad final*, que es la que posee el cuerpo en un momento dado de su movimiento.

La *velocidad final*, la *aceleración* y el *tiempo* están íntimamente relacionados, como se verá en los siguientes problemas:

A. Problemas sobre aceleración.

1. *¿Qué aceleración adquiere un móvil, si después de 8 seg de movimiento, posee una velocidad final de 56* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$

Preguntar por la aceleración, significa averiguar qué velocidad final poseía el cuerpo después de 1 seg de movimiento, puesto que en esta cantidad seguirá aumentando su velocidad en cada uno de los segundos siguientes.

De esto, resulta la regla de tres, cuyo razonamiento y cálculo responde a la cuestión.

Al fin del 8.° seg el cuerpo lleva la velocidad de 56 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$

» » » *1.°* » » » » x

$$x=\frac{56}{8}=7\left[\frac{cm}{seg}\right] \text{ de aumento de velocidad.}$$

2. *¿Cuál es la aceleración de un móvil si después de 11 seg, su velocidad final es de 132* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$*?*

Al fin del 11.° seg posee la velocidad de 132 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$

» » 1° » » » » x

$$x=\frac{132}{11}=12\left[\frac{cm}{seg}\right] \text{ de aumento de velocidad.}$$

De los problemas anteriores se desprende que la aceleración se encuentra mediante la fórmula:

$$\text{I) aceleración}=\frac{\text{velocidad final}}{\text{tiempo}}$$

La aceleración, lo mismo que la velocidad, es una unidad derivada; pues se compone de una unidad de velocidad $\left(\frac{cm}{seg}\right)$ y de una unidad de tiempo (*seg*); y de acuerdo con I, podemos encontrar la denominación de la unidad de la aceleración en C, G, S, efectuando la división de la unidad de la velocidad por la del tiempo: $\frac{cm}{seg}:seg=\left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$

Encerramos el resultado anterior en un paréntesis, para indicar que no podemos efectuar la división de cantidades tan heterogéneas como el *cm* y *seg*.

Lo hacemos esto sólo con el objeto de distinguir exteriormente una aceleración de otra unidad cualquiera.

Así, por ejemplo, si encontramos la expresión: $10\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ diremos que se trata de una aceleración en que el móvil que la posee aumente su velocidad en cada segundo en 10 cm por seg.

B) Problemas sobre velocidad final

1. *¿Qué velocidad final posee un cuerpo después de 10 seg de movimiento, si su aceleración ha sido de 3* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$?

Que la aceleración sea de 3 $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ significa que:

Al cabo del 1.º seg el cuerpo llevaba la velocidad de 3 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$

» » *10.º* » » » » x

$$x = 3.10 = \mathbf{30} \left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}}\right]$$

2. *¿Qué velocidad final tiene un cuerpo después de 25 seg de movimiento acelerado, si su aceleración ha sido de 8* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *?*

Que la aceleración sea de 8 $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ significa que:

Al cabo del 1.º seg el cuerpo llevaba la velocidad de 8 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$

» *25.º* » » » x

$$x = 8.25 = 200 \left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}}\right]$$

De los problemas anteriores, resulta que la velocidad final se obtiene aplicando la fórmula

II) velocidad final=aceleración . tiempo

C) Problemas sobre tiempo

1. *¿Durante cuántos segundos ha debido moverse un cuerpo con movimiento uniformemente acelerado, sin velocidad inicial, con una aceleración de 27* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *para que su velocidad final sea de 729* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *?*

La planteación de la regla de tres es la siguiente:

Para que el cuerpo lleve la velocidad de 27 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *se necesita* 1 *seg.*

Para que el cuerpo lleve la velocidad de 729 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *se necesita x.*

$$x = \frac{1.729}{27} = \frac{729}{27} = \mathbf{27\ seg.}$$

2. *¿Durante cuántos segundos ha debido moverse un cuerpo con movimiento uniformemente acelerado, sin velocidad inicial, con una aceleración de 5* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *; para que su velocidad final sea de 625* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *?*

Para que lleve la velocidad de 5 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *se necesita 1 seg*

» » » » » *625* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ » » *x*

$$x = \frac{1.625}{5} = \frac{625}{5} = \mathbf{125\ seg.}$$

De la resolución de los problemas anteriores, resulta la fórmula general de que podemos valernos siempre que queramos resolver problemas en que se pregunte por el valor del tiempo:

$$\text{III) tiempo} = \frac{\text{velocidad final}}{\text{aceleración}}$$

Para escribir las fórmulas I, II, III, en forma más condensada, representaremos la velocidad final por V_f, la aceleración por a y el tiempo por t; quedando así las fórmulas anteriores de la manera siguiente:

$$\text{I*)} \quad a = \frac{V_f}{t}$$

$$\text{II*)} \quad V_f = a\,t$$

$$\text{III*)} \quad t = \frac{V_f}{a}$$

§ 2. **Movimiento uniformemente acelerado con velocidad inicial.**—Un cuerpo posee este movimiento, cuando después de tener una velocidad dada, a partir de cierto tiempo comienza a aumentar esa velocidad en una cantidad uniforme, como sucede cuando lanzamos verticalmente un cuerpo hacia abajo.

Hemos visto en el movimiento uniformemente acelerado,sin velocidad inicial, que la velocidad final era representada por la fórmula: II *) $V_f = at$.

Como en el movimiento que estudiamos, hay una velocidad anterior o inicial, que representamos por V_i, se comprende que para obtener en este movimiento la velocidad final, será necesario agregar al producto at, la velocidad inicial, V_i resultando así la fórmula

$$\text{I)} \quad V_f = V_i + at$$

§ 3. Movimiento uniformemente retardado. — Un cuerpo se mueve con movimiento uniformemente retardado, cuando su velocidad disminuye en cada segundo en una misma cantidad. Esta disminución se llama *retardación o aceleración negativa.*

Para que pueda existir el movimiento uniformemente retardado, es necesario que haya una velocidad inicial, y su duración dependerá del mayor o menor valor de la velocidad inicial.

Es evidente que para encontrar la fórmula de la velocidad final en este movimiento, es necesario restar a la velocidad inicial, V_i, el producto *at;* resultando así la fórmula

$$\text{I)} \quad V_f = V_i - at$$

El movimiento que nos ocupa es el que toma un tren después de frenar, cuando va a llegar a una estación. Pero el ejemplo más característico es el que nos aporta un proyectil lanzado verticalmente hacia arriba.

El factor de mayor importancia que hay que considerar en este movimiento, es el *tiempo máximo* durante el cual puede moverse un móvil dotado de este movimiento; o en otras palabras, tratar de averiguar cuántos segundos de movimiento se necesitan para que la velocidad final sea *cero.*

Es evidente que el valor del tiempo máximo dependerá de la velocidad inicial y de la retardación del movimiento.

Para comprender mejor esta dependencia, resolveremos el siguiente problema:

1. *¿Durante cuántos segundos sube un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 9795,* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *siendo la retardación 979,5* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *(retardación de gravedad)*

Para que disminuya la velocidad en 979,5 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *se necesita 1 seg.*

Para que disminuya la velocidad en 9795 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$ *se necesita x seg.*

$$x = \frac{1.9795}{979,5} = \frac{9795}{979,5} = \mathbf{10\ seg.}$$

Del problema anterior resulta la fórmula para el tiempo máximo:

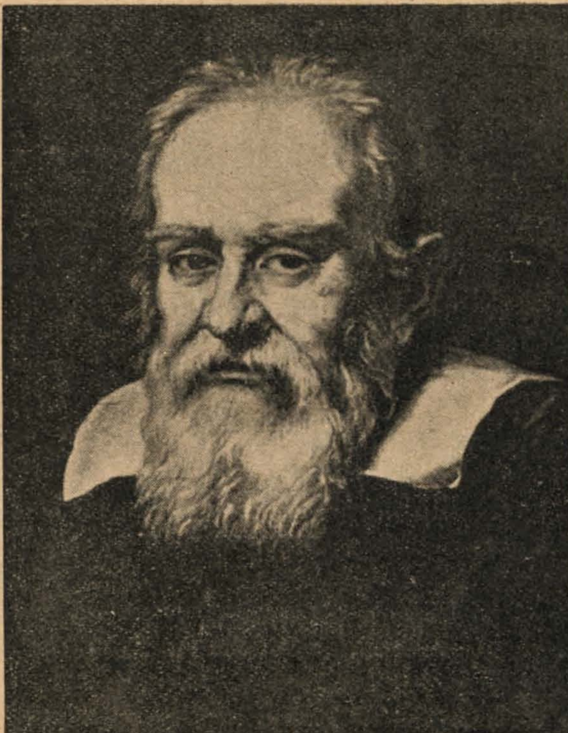
1). Tiempo máximo $= \frac{\text{velocidad inicial}}{\text{retardación}}$ que simplificada

$$1^{*})\ t_{max} = \frac{V_1}{a}$$

§ 4. **Caida libre.**—Si se abandona un cuerpo a cierta altura, cae, es decir, se mueve en dirección vertical hacia la superficie terrestre. A este fenómeno se le llama *caída libre*. El movimiento descrito es impulsado por *la gravedad*, fuerza constante para cada lugar de la tierra, que obra continuamente sobre el cuerpo, imprimiéndole un movimiento uniformemente acelerado. Luego, los asuntos relacionados con la caída libre, se resolverán aplicando las fórmulas ya conocidas, que hemos desarrollado en el § 1; debiendo sí, reemplazar la aceleración a por el valor constante, $g = 979,5 \left[\frac{cm}{seg^2}\right]$, para Santiago; valor que se denomina *aceleración de gravedad.*

Si se dejan caer, desde cierta altura, una serie de cuerpos, como ser: pluma, papel, plomo, piedras, etc., y se pregunta si todos llegan al suelo al mismo tiempo, estamos seguros de que, muchas personas contestarían negativamente, de acuerdo con las observaciones ordinarias que nos enseñan que cuerpos livianos caen más lentamente que los pesados.

En tiempo de Galileo se enseñaba que los cuerpos caían con velocidades proporcionales a sus masas. Dudando este físico de tal afirmación, en presencia de profesores y alumnos de la



GALILEO (1563-1643)

Gran físico, astrónomo y matemático italiano, fué un ardiente defensor del sistema de Copérnico, que consideraba al sol inmóvil en el sistema solar y a la tierra moviéndose al rededor de aquél (*E pur si muove*). Descubrió las leyes del péndulo y de la caída de los cuerpos; construyó el primer termómetro; fué el primero que usó el telescopio en las observaciones astronómicas; descubrió los satélites de Júpiter y las manchas del sol. Podemos decir que la Física moderna comienza con Galileo.

Universidad de Pisa, dejó caer desde la cima de dicha torrre que mide 55 m. de alto, y cuya fotografía reproducimos en la figura 12, esferas de diversos tamaños y sustancias que cayeron todas casi al mismo tiempo; aun cuerpos tan livianos como el papel se distanciaron poco de otros tan pesados como discos de plomo.

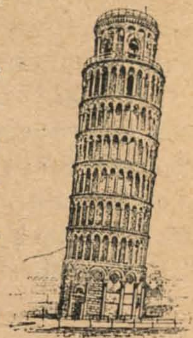


Fig. 12.

De este experimento concluyó Galileo que todos los cuerpos, aun los más livianos, deberían caer con la misma velocidad, si fuera posible prescindir de la resistencia del aire. De aquí su ley:

Todos los cuerpos caen en el vacío con igual velocidad.—Esta ley se demuestra hoy día experimentalmente, colocando en un tubo (fig. 13) en el cual se pueda hacer el vacío, de más o menos 1,5 m de largo y 8 cm de diámetro, cuerpos de diferentes masas. Al invertir rápidamente el tubo, se ve que todos caen al mismo tiempo, cuando se ha extraído el aire de aquel.

(*Si se coloca sobre un disco de metal, uno de papel del mismo diámetro, se verá que en el aire, ambos caen simultáneamente. ¿Por qué?*)

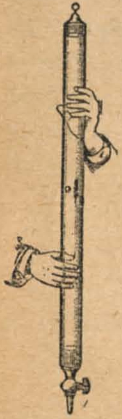


Fig. 13.

La ley de Galileo, no sólo se verifica tratándose de cuerpos sólidos, sino también de los líquidos; hecho que se puede probar experimentalmente por *el martillo de agua* (fig. 14).

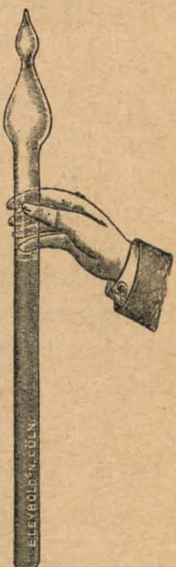


Fig. 14.

Este está formado por un tubo de vidrio, en el cual hay agua, purgada de aire por la ebullición. Invirtiendo bruscamente este aparato, el agua cae en una sola masa, sintiéndose un golpe seco (*¿por qué el agua de lluvia cae en gotas?*)

§ 5. Composición y descomposición de velocidades y aceleraciones.—Hay cuerpos que poseen simultáneamente dos o más velocidades; por ejemplo, una persona que anda dentro de un carro en movimiento.

Componer velocidades, significa encontrar una que reemplace a dos o más reunidas. Se observa, fácilmente en el ejemplo anterior que, si la persona se mueve en el mismo sentido en que lo hace el tranvía, con una velocidad que designaremos por V_p, y la del tranvía por V_c, la velocidad resultante (V_r), se encontrará aplicando la fórmula

$$1.\quad V_r = V_p + V_c$$

Si la persona camina en sentido contrario al movimiento del tranvía la velocidad resultante estaría dada por 2.

$$2.\quad V_r = V_c - V_p$$

Si se mueve en sentido diagonal al tranvía, o sube al imperial de éste, se encuentra requerida por dos velocidades que forman un ángulo; y la experiencia indica en tal caso que la velocidad resultante *es la diagonal del paralelógramo que tiene a estas velocidades por lados;* pues, una velocidad se acostumbra a representarla gráficamente por una recta que lleva en uno de sus extremos una flecha que indica el sentido.

Problemas

1. *Qué velocidad final lleva un tren después de ½ hora, si su aceleración es de 4* $\left[\frac{m}{min^2}\right]$.

2. *Durante cuánto tiempo se ha movido un móvil, con movimiento acelerado sin velocidad inicial, para que lleve la velocicidad de 800* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$, *si su aceleración ha sido de 8* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$?

3. *¿Cuál es la aceleración de un movil después de 7 seg de movimiento acelerado, sin velocidad inicial, para que posean la velocidad 161* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$*?*

4. *Si un tren corre con movimiento uniforme a razón de 10* $\left[\frac{Km}{hora}\right]$*, ¿qué velocidad adquiere después de 20 min, al acelerar su movimiento durante los 20 min, en 8* $\left[\frac{m}{min^2}\right]$*?*

5. *Si un móvil parte con la velocidad inicial de 300* $\left[\frac{m}{seg}\right]$ *con movimiento uniformemente retardado, siendo su retardación de 2* $\left[\frac{m}{seg^2}\right]$ *¿qué velocidad posee después de 2 min 30 seg?*

6. *¿Durante qué tiempo sube una bala de cañón disparada aquí en Santiago con una velocidad de 400* $\left[\frac{m}{seg}\right]$*?*

CAPÍTULO VI

La Fuerza

§ 1. Relación entre fuerza, masa y aceleración.— —La materia es inerte, es decir, un cuerpo en reposo, permanece en él mientras no sea solicitado por alguna causa extraña. Un cuerpo no se puede mover por sí solo; una vez en movimiento, tiende a conservar indefinidamente su dirección y velocidad. En consecuencia, para mover un cuerpo o detenerlo, o bien para modificar su movimiento, se necesita una *causa*, y a ésta, la llamamos *fuerza*.

Fuerza *es, por consiguiente, toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento rectilíneo y uniforme de un cuerpo.*

Si se coloca en la palma de la mano, la masa de 1 gramo, se sentirá cierta presión. Si se colocan 500 gr, la presión será 500 veces superior, produciéndose por esta presión, sobre la mano, tal vez un ligero movimiento hacia abajo.

De lo anterior resulta que la *fuerza es directamente proporcional a la masa*, es decir, si aumenta o disminuye la primera, aumenta o disminuye la segunda.

Las fuerzas, al actuar sobre las masas, producen dos clases de movimiento: *uniforme*, cuando la fuerza es *instantánea;* y uniformemente *acelerado*, cuando aquella es *constante.*

Estudiaremos aquí, este último caso.

De lo expuesto resulta que la idea de *fuerza* está intimamente relacionada con las de *masa* y *aceleración*, existiendo entre aceleración y masa también una proporcionalidad directa; pues, para dar a una masa doble la misma aceleración que a una sencilla, se necesitará la doble fuerza.

La unidad de fuerza en el sistema absoluto de unidad, o sea en C, G, S, es la **dina**, *fuerza que da a la masa de un gramo la aceleración de un centímetro por seg.*

De lo ya expuesto, podemos desprender las ecuaciones que nos servirán para resolver cualquier problema de fuerza. Esto lo haremos, siguiendo nuestro método, con ayuda de problemas de regla de tres.

A) Problema sobre fuerza

1. *¿Qué fuerza se necesita para dar a una masa de 8 gr la aceleración de* $7\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$*?*

De la definición de dina, resulta que:

para dar a la masa de 1 gr la aceleración de $1\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *se necesita 1 dina.*

para dar a la masa de 8 gr la aceleración de $7\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *se necesita x.*

$$x=1 \cdot 8 \cdot 7=8 \cdot 7=\mathbf{56}\ \textbf{dinas}$$

Este solo problema basta para comprender que el valor de la fuerza (F) se obtiene, multiplicando la masa (m) por la aceleración (a).

De modo que tenemos:

$$\text{I) fuerza}=\text{masa} \cdot \text{aceleración}$$

o más simplemente:

$$\text{I*)}\ \mathbf{F=ma}$$

B) Problema sobre masa

1. *¿Cuál es la masa de un cuerpo que con la fuerza de 80 dinas, adquiere la aceleración de* $5\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$*?*

De la definición de dina resulta que:

1 dina da la aceleración de $1\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$ *a la masa de 1 gr*
80 » » » » » 5 » » » x

$$x = \frac{1 \cdot 80}{5} = \frac{80}{5} = \mathbf{16\ gr.}$$

De la resolución de este problema se desprende la fórmula:

$$\text{II) masa} = \frac{\text{fuerza}}{\text{aceleración}}$$

o más simplemente

$$\text{II*)}\ \mathrm{m} = \frac{F}{\mathrm{a}}$$

C) Problema sobre aceleración

1. *¿Qué aceleración adquiere la masa de 100 gr con una fuerza de 200 dinas?*

Sabemos que:

La fuerza de 1 dina da a la masa de 1 gr la aceleración de $1\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$

La fuerza de 200 dinas da a la masa de 100 gr la aceleración de x

$$x = \frac{1 \cdot 200}{100} = \frac{200}{100} = 2\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$$

De este problema resulta:

$$\text{III) aceleración} = \frac{\text{fuerza}}{\text{masa}}$$

o más simplemente

$$\text{III*) } a = \frac{F}{m}$$

Como se ha dicho, la unidad absoluta de fuerza es la dina. En la práctica, las fuerzas se miden en **kilógramo-peso,** *fuerza con que la tierra atrae a un kilógramo-masa.*

Un kg-peso tiene 1000 gr-peso, siendo éste la fuerza que se necesita *para sostener 1 gr-masa.*

¿Cuántas dinas valdrá 1 gr-peso, y cuántas 1 kg-peso?

§ 2. **Diferencia entre gramo-masa y gramo-peso.**— En el lenguaje ordinario se confunden las ideas de gramo-masa y gramo-peso; pues, se usa la misma palabra, *gramo* para significar al mismo tiempo cierta cantidad de materia, y el valor de la atracción que ejerce la tierra sobre aquélla. Sin embargo, estas dos ideas son distintas. La cantidad de materia que un cuerpo tiene es siempre la misma, en cualquier parte del mundo que se coloque aquél; mientras que, la atracción ejercida por la tierra sobre una masa, varía según el lugar donde se la coloque y la mayor o menor altura a que se encuentra sobre el nivel del mar.

§ 3. **Medición de las fuerzas.**—Cuando se desea medir exactamente las atracciones que la tierra efectúa sobre las diversas masas, se comparan aquéllas con los alargamientos que experimenta una espiral influenciada por dichas masas.

Así, la atracción que la tierra ejerce sobre un gramo-masa, alargará una espiral dada en una distancia *ab* (fig. 15); la atracción sobre 2 gr-masas, producirá sobre la misma espiral, un alargamiento mayor *ac;* sobre 3 gr-masas, un alargamiento mayor que los anteriores, *ad*, etc.

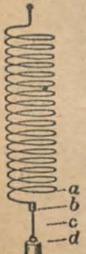


Fig. 15.

Bastará solamente colocar detrás de esta espiral, una regla que mida estos alargamientos y se tendrá así, el aparato graduado experimentalmente, medidor de fuerzas, llamado *dinamómetro* (fig. 16).

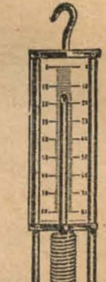


Fig. 16.

§. 4 Representación gráfica de las fuerzas. — Una fuerza se encuentra completamente determinada, cuando su *magnitud, dirección, sentido y punto de aplicación* se conocen.

Puesto que las características de una recta son: *longitud, dirección, sentido y punto de arranque,* será posible representar gráficamente las fuerzas por medio de rectas.

Así, por ejemplo, si se desea representar una fuerza de *8 gr-peso*, en dirección *este* y que aplique en el punto A (fig 17), se traza una recta que arranque del punto A, en la dirección pedida, y se aplican sobre esta recta 8 unidades de longitud arbitrarias que, representarán sucesivamente cada una de las unidades de fuerza tomadas en este caso.

La longitud de la recta obtenida así, representa gráficamente la magnitud de la fuerza; la dirección de la recta (generalmente dada por el ángulo que forma en la horizontal) la dirección de la fuerza; y la flecha terminal de su estremo, determina el sentido de aquélla.

Fig 17.

§. 5 Composición de fuerzas.—Cuando dos o más fuerzas se aplican en un cuerpo, es siempre posible determinar una fuerza única que produzca el mismo efecto de todas las demás reunidas. A la primera se le llama *resultante* y a las otras *componentes*.

Componer fuerzas significa buscar en los diferentes casos la resultante.

En la composición de fuerzas debemos distinguir: **fuerzas con el mismo punto de aplicación y fuerzas con distintos puntos de aplicaciones.**

A) Fuerzas con el mismo punto de aplicación

Distinguimos aquí los sub-casos:

1.°) **Fuerzas en el mismo sentido:** *la resultante es igual a la suma de las componentes y actúa en el mismo sentido de éstas.*

2.°) **Fuerzas en sentido contrario:** *la resultante es igual a la diferencia, y obra en el sentido de la mayor.* Cuando estas fuerzas son iguales el cuerpo queda en *equilibrio.*

3.°) **Fuerzas que forman entre sí cierto ángulo:** *la resultante está representada en magnitud, dirección, sentido y punto de aplicación por la diagonal del paralelógramo que tiene a las componentes por lados.*

Para asegurarnos de la verdad de este último teorema, nos bastaría reflexionar un poco en lo siguiente: si las componentes fueran iguales, la resultante tendría la dirección de la

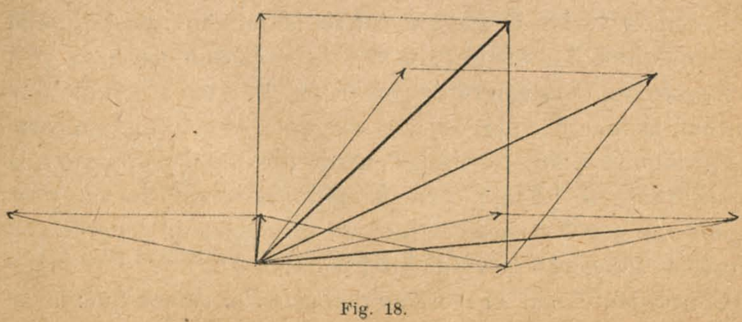


Fig. 18.

bisectriz del ángulo que forman; si son desiguales, se inclinará del lado de la mayor. Relacionando lo dicho con el estudio de las diagonales de diversos paralelógramos, vemos que el valor de aquéllas, lo mismo que su inclinación dependen del ángulo que forman los lados y del valor de éstos (fig 18).

Si se coloca un peso, equilibrado por otros dos (fig. 19) que

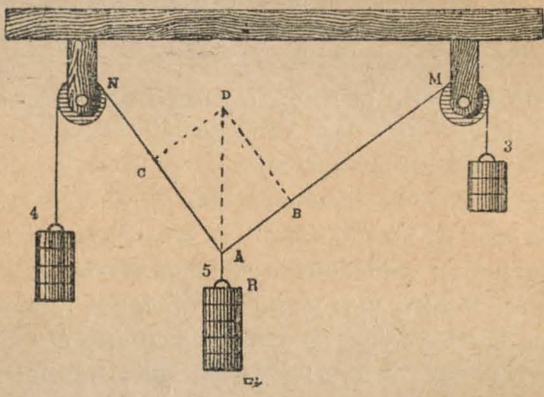


Fig. 19.

pasen por poleas, es evidente que, el peso R, llamado *equilibrante*, será exactamente igual y opuesto a la resultante de las fuerzas que *forman ángulo* y que van dirigidas en las direcciones AN y AM.

Si construimos un paralelógramo con lados 3 y 4 unidades, y hacemos variar el ángulo convenientemente, hasta que la diagonal mida 5 unidades; una vez obtenido esto, veremos que, el ángulo del paralelógramo construído, es igual al ángulo que forman las cuerdas (fig. 19) y la diagonal, al colocar este paralelógramo en el ángulo de las cuerdas, es igual y opuesto a la equilibrante 5. La experiencia realizada en esta forma, y repetida con pesos y paralelógramos construídos de acuerdo con aquéllos, muestran la verdad del teorema 3.º

Consecuente con el teorema demostrado, vemos que: la re·

sultante, en este caso, es siempre *menor que la suma de las componentes;* la *magnitud* de ella depende *del ángulo* que forman las componentes (fig. 18).

Para encontrar la resultante de varias fuerzas, 1, 2, 3, 4, se aplica el teorema *del paralelógramo de las fuerzas*, que hemos demostrado: se componen las fuerzas 1 y 2, y da la resultante *AC* (fig. 20); en seguida se compone ésta con la fuerza 3; y obtenemos la resultante *AD*; finalmente, se compone esta última con la fuerza 4, produciéndose la resultante final *AE*.

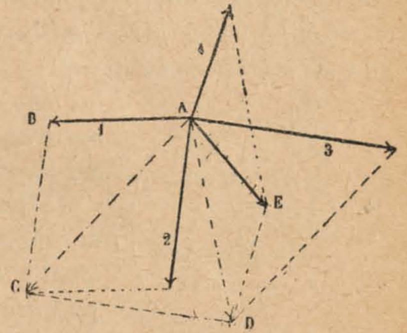


Fig 20.

Como esta construcción es un poco molesta, por el trazado de muchas líneas que no desempeñan nada más que un papel auxiliar, se reemplaza este método por el del *polígono funicular de las fuerzas.*

Para hacer esta construcción, basta con trazar por *B* una recta igual y paralela a la fuerza 2 (*BC*); por su extremo, una recta igual y paralela a la fuerza 3 (*CD*); y por este punto una recta igual y paralela a la fuerza 4 (*DE*); resultando así, una línea poligonal abierta *ABCDE*, que se cierra por la resultante final **AE.** Si la línea poligonal hubiera resultado cerrada, las fuerzas estarían en equilibrio. Este hecho se puede aplicar para saber si varias fuerzas que solicitan a un cuerpo están en equilibrio o no.

B. Fuerzas con distintos puntos de aplicaciones

1.° **Las fuerzas son oblicuas entre sí:** Para encontrar la resultante en este caso, nos apoyamos en el axioma que dice:

podemos trasladar el punto de aplicación de una fuerza en su dirección sin que varíe su intensidad. Da lo mismo arrastrar un cajón aplicando nuestra fuerza muscular en el mismo cajón, o hacerlo con ayuda de una cuerda de la misma dirección de la fuerza, aplicando nuestra fuerza muscular en un punto cualquiera del cable.

Con lo dicho, se comprende que, para encontrar la resultante de dos fuerzas oblicuas cualquiera, con distintos puntos de aplicación, *bastará prolongar las fuerzas hasta que se encuentren sus prolongaciones* (fig. 21) *y aplicar a partir de este punto las longitudes de las fuerzas dadas y construir el paralelógramo de las fuerzas (teor. 3.º de A).*

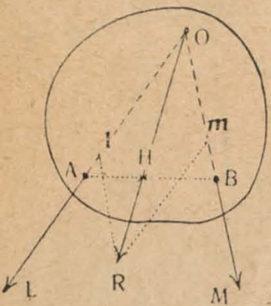


Fig. 21.

2.º **Las fuerzas son paralelas y del mismo sentido:** *la resultante es igual a la suma de las componentes paralela a ellas y del mismo sentido; su punto de aplicación se encuentra en la recta de unión de las componentes en aquella parte en que el producto de una de las componentes, por la distancia de su punto de aplicación al de la resultante, sea igual al producto de la otra fuerza por su distancia correspondiente.*

Para demostrar esperimentalmente este teorema, lo hacemos por medio de una barra *AB* que se encuentra suspendida por su punto medio, de modo que pueda oscilar como una balanza (fig. 22).

Esta barra se halla dividida en cierto número de partes iguales (9 partes en el aparato de la fig. 22) a ambos lados de los cuales se colocan ganchitos destinados a llevar pesas, o a servir de puntos de arranque de una cuerda que pasa por una polea.

Si se coloca a la distancia *1 de A*, *3 masas* iguales, y en el

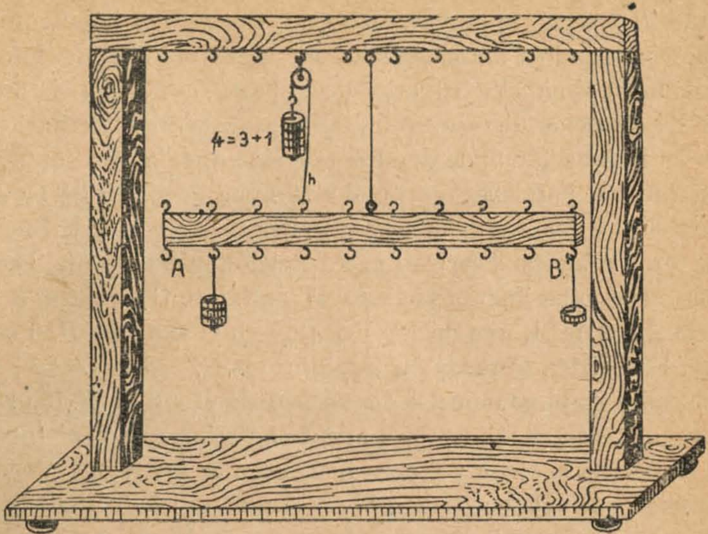


Fig. 22.

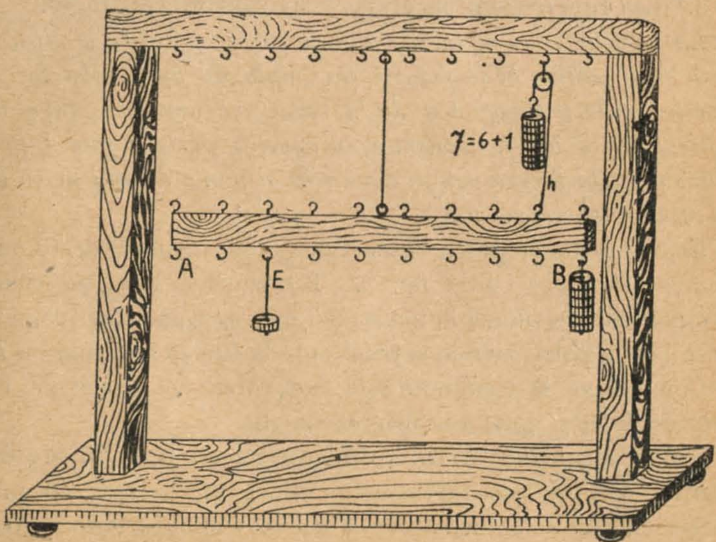


Fig. 23.

punto *B* *1 masa*, se observa que este sistema queda en equilibrio, colocando *4 masas* iguales en la extremidad del hilo *h* situado en el gancho superior de la barra, a la distancia 3 de *A*. La dirección de esta equilibrante es de sentido contrario al de las fuerzas 1 y 3; de donde se deduce que, la resultante de dos fuerzas paralelas, es igual a la suma de ellas $(3+1=4)$, paralelas a las componentes y aplica más cerca de la fuerza mayor. Para establecer con más precisión esta cercanía, hacemos otro experimento análogo al anterior. Colocamos a la distancia 2 de *A*, una de las masas, y en el extremo *B*, 6 masas. Este sistema queda en equilibrio por *7 masas* $(7=6+1)$, colocados en el gancho a la distancia 1 de *B* y 6 de *E*. (fig 23).

Comprobamos tal como en el caso anterior, que la resultante es igual a la suma y aplica más cerca de la mayor. Vemos también que sólo existe equilibrio cuando el producto de cada componente, por su distancia de su punto de aplicación al de la resultante, es constante.

3.° **Las fuerzas son paralelas y de sentido contrario:**

La resultante es igual a la diferencia, paralela a ellas, y obra en el sentido de la mayor. Su punto de aplicación se encuentra en la prolongación de la recta que une los puntos de aplicación de las componentes, en aquella parte en que el producto de cada fuerza por su distancia al punto de aplicación de la resultante, sea constante.

Este teorema se puede demostrar por el mismo aparato que hemos empleado en la fig. 22. Tomamos en este caso como componente de fuerza 3, hacia abajo, y la *4* hacia arriba, que pasa por la polea, siendo la resultante la fuerza aplicada en *B*.

Como se ve, la resultante está más cerca de la mayor, en sentido de ella, igual a la diferencia, etc.

§ 6. **Componente de una fuerza en una dirección dada.**—Cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo, en una dirección que no coincida con la del movimiento, todo el efecto de la fuerza no se puede gastar en producir el movimiento.

Para entender más claramente lo dicho, supongamos que la fuerza OR (fig. 24) produzca el movimiento del carro sobre un puente. Analizando esta fuerza, vemos que produce dos efectos distintos sobre el carro: lo mueve a lo largo de los rieles y lo presiona contra éstos. Estos dos resultados se pueden representar por dos fuerzas separadas que obran en las direcciones OA y OB, respectivamente. El valor de la fuerza que actúa en la dirección OA, y que produce el mismo efecto sobre el carro que la fuerza OR, se llama *la componente de* OR *en la dirección* OA. Análogamente, el valor de la fuerza que actúa en la dirección OB, y que presiona el carro contra los rieles, con un valor igual al de la fuerza OR, se *llama la componente de* OR *en la dirección* OB.

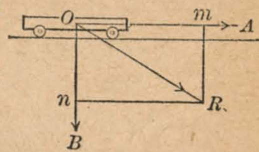


Fig. 24.

En resumen, componente de una fuerza en una dirección dada, es el valor efectivo de esta fuerza en dicha dirección, puesto que, las dos fuerzas que aplican en las direcciones OA y OB son, en su conjunto, equilibrantes de la fuerza OR, sus magnitudes se pueden representar por los lados de un paralelógramo, de la cual OR es la diagonal.

Luego, para encontrar la componente de una *fuerza en una dirección dada, se construye sobre la fuerza dada, como diagonal, un paralelógramo, cuyos lados son paralelos y perpendiculares a la dirección de la componente dada. La longitud del lado paralelo a la dirección dada, representa la magnitud de la componente que se busca.*

§ 7. Determinación gráfica del punto de aplicación de la resultante de fuerzas paralelas.—Gráficamente, se encuentra el punto de aplicación de la resultante de dos fuerzas paralelas y del mismo sentido, aplicando la fuerza F_1 en el punto B, en sentido opuesto a F_2; y en el punto A la fuerza F_2 en el sentido de F_1: se unen los extremos E y D, y donde corte la recta, ED a la de unión de las fuerzas F_1 y F_2, estará el punto de aplicación de la resultante (fig. 25).

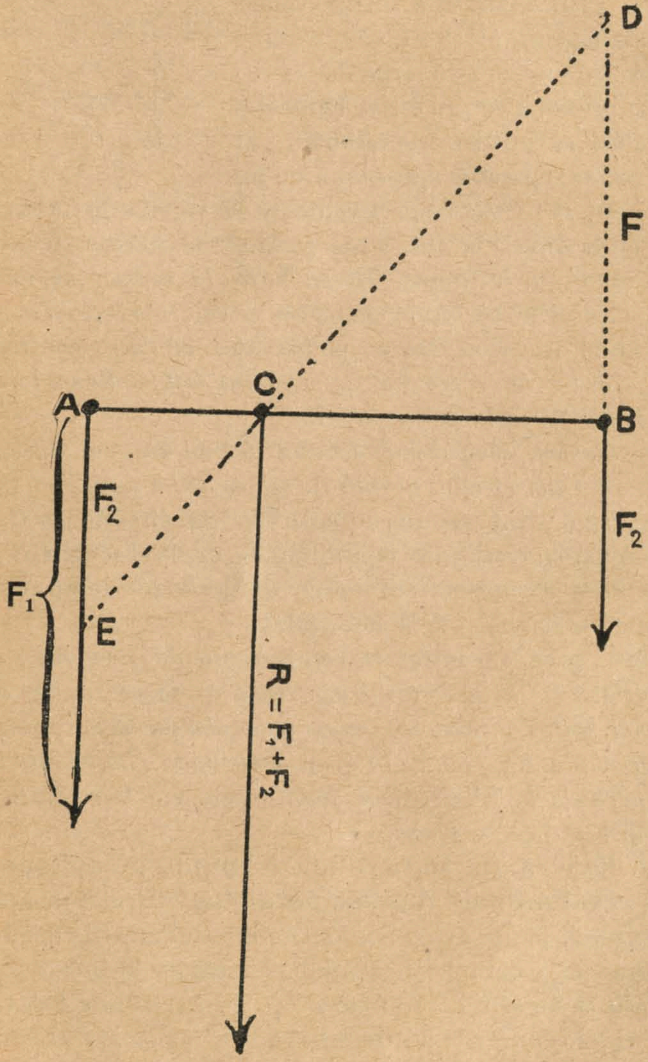


Fig. 25.

En el caso que las fuerzas sean paralelas y de sentido contrario: en el punto B se copia la fuerza F_1, en sentido de F_2; y en A, la fuerza F_2, en sentido contrario a F_1; después,

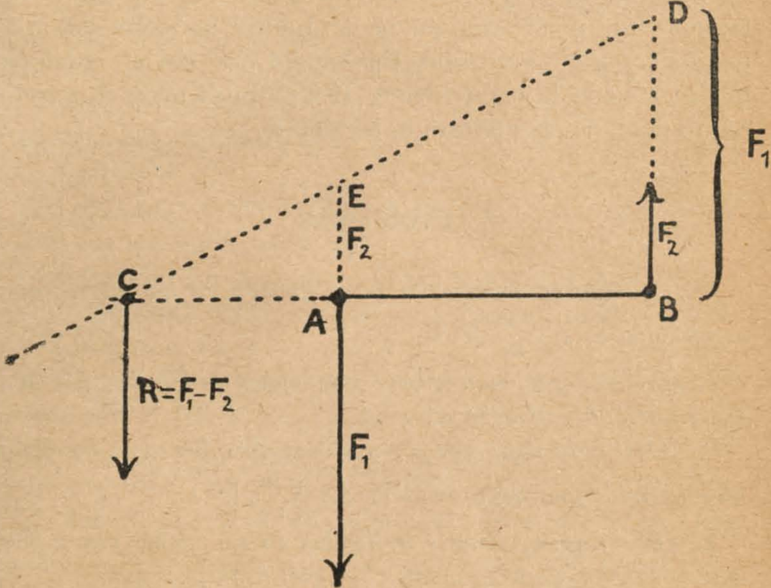


Fig. 26.

uniendo D y E, se obtiene la recta DE, y el punto donde corte esta recta a la de unión de las fuerzas F_1 y F_2 (fig. 26) es el punto de aplicación.

Cuando un cuerpo se encuentra solicitado por 3 ó más fuerzas paralelas, la resultante se encuentra componiendo las fuerzas de dos en dos; por ejem-

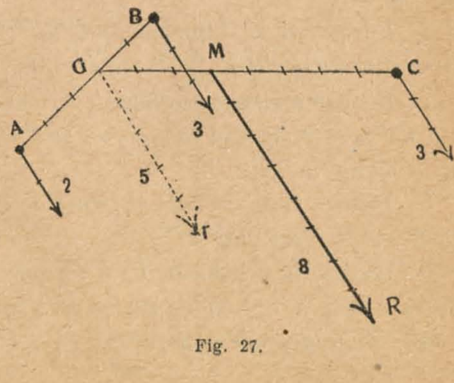


Fig. 27.

plo, 2 y 3 que aplican en A y en B dan una resultante 5 que aplica en G (fig. 27), se compone esta última fuerza con la que aplica en C, obteniéndose la resultante 8, que aplica en M.

Siguiendo este procedimiento, se puede encontrar la resultante de un número cualquiera de fuerzas paralelas, del mismo, o de sentido contrario. Cualquiera que sea el orden en que se efectúe la composición, se llegará siempre al mismo punto final, donde aplicará la resultante.

Problemas

1. *¿Qué fuerza se necesita para que 20 kg adquieran una aceleración de 2* $\left[\frac{m}{seg^2}\right]$*?*

2. *¿Qué aceleración adquiere una masa de 100 kg, por una fuerza de 300 kg peso?*

3. *¿Cuál es la masa que por medio de una fuerza de 80 dinas ha adquirido una aceleración de 400* $\left[\frac{cm}{seg^2}\right]$*?*

4. *¿Tres fuerzas iguales aplicadas en un mismo punto, formando entre sí ángulos iguales, se equilibran ¿por qué?*

5. *Colocar alrededor de un punto tres fuerzas dadas:* F_1, F_2 y F_3, *de modo que se equilibren. ¿Es posible el problema en todos los casos?*

6. *Encontrar la componente de una fuerza R en la dirección de una recta dada L.*

7. *Buscar experimentalmente en el aparato de las fuerzas paralelas la resultante de la fuerza 150 gr, a la distancia 3 de A, y 100 gr a 1 de B.*

8. *Buscar gráficamente el punto de aplicación de la resultante de las fuerzas (fig. 27).*

9. *Buscar la resultante de 3 fuerzas paralelas, iguales y del mismo sentido, aplicadas en los vértices de un triángulo.*

10. *Descomponer una fuerza F, que solicita un punto mate-*

rial en dos fuerzas F_2 y F_3, de la cual se da una en magnitud y dirección.

11. *Descomponer una fuerza F, que solicita un punto material en dos fuerzas F_1 y F_2, de las cuales una tiene una intensidad dada y la otra una dirección dada.*

12. *Descomponer una fuerza R, en dos fuerzas de intensidades dadas.*

13. *Descomponer una fuerza R, en 3 fuerzas que obren según dirección dadas.*

14. *Descomponer una fuerza, en dos componentes iguales que formen con ella un ángulo α dado.*

15. *¿Cuántas fuerzas actúan sobre un volantín encumbrado? ¿En qué dirección cae el volantín al no correr viento? cuando corre viento ¿por qué sube el volantín?*

16. *Representar gráficamente una fuerza de 3 kg. en dirección sureste, y otra de 4 kg en dirección suroeste, que aplican en el mismo punto. ¿Cuánto vale la resultante y qué dirección aproximada tiene?*

17. *Las máquinas de un vapor arrastran a éste con una fuerza que le imprimen una velocidad de 40* $\left[\frac{km}{hora}\right]$ *¿con qué velocidad remontará un río, si la velocidad de la corriente es de 2* $\left[\frac{m}{seg}\right]$*?*

18. *El viento empuja a un vapor en la dirección este, con una fuerza que lo arrastra a una velocidad de 20* $\left[\frac{km}{hora}\right]$, *y su hélice lo empuja hacia el sur con una fuerza que le imprime una velocidad de 35* $\left[\frac{km}{hora}\right]$ *¿Qué distancia recorre en una hora y qué dirección lleva?*

19. *¿Se puede encumbrar un volantín cuando no hay viento,* a) *desde arriba de una casa,* b) *desde un automóvil en movimiento?*

20. *¿A qué fuerzas está sometido un aeroplano cuando vuela?*

CAPITULO VII

Los momentos estáticos

§ 1. **La pareja y su momento estático**.—Como lo hemos ya establecido, la resultante de dos fuerzas paralelas y de sentido contrario, es igual a la diferencia de ellas. Si éstas

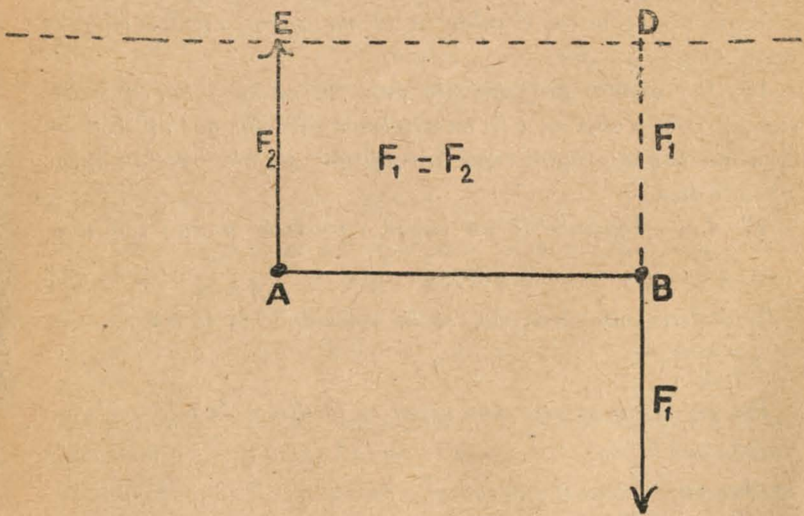


Fig. 28.

son iguales, la resultante es igual a cero, y el punto de aplicación está en el infinito; porque, construyendo el gráfico que hemos indicado en el § 7 del capítulo anterior, la recta de unión de las fuerzas es paralela a la que debe dar el punto de intersección (fig. 28).

El sistema de dos fuerzas paralelas, iguales y de sentido contrario (fig. 29), llamado *pareja*, no se puede equilibrar por

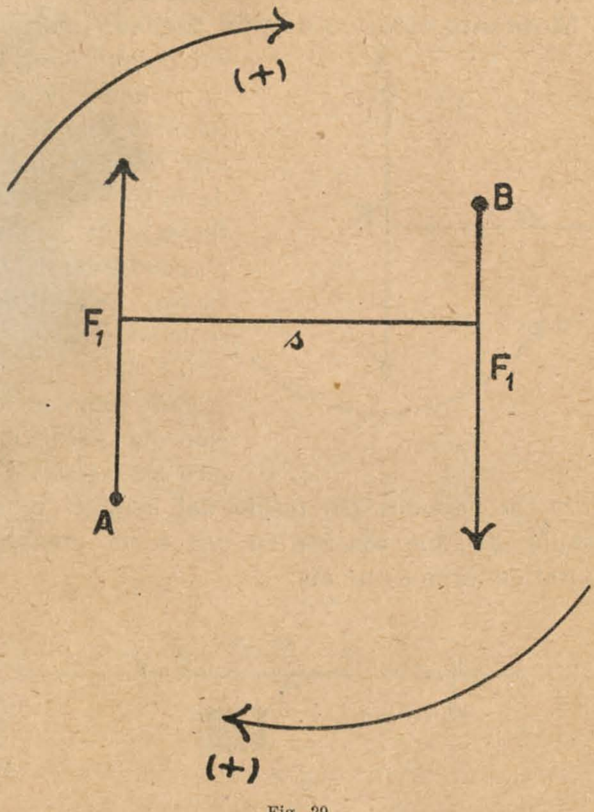


Fig. 29.

una sola fuerza, sino por otras dos fuerzas iguales y contrarias a las primeras.

Una pareja imprime al cuerpo sobre el cual aplica, un movimiento de rotación que depende de la intensidad de una de las fuerzas y de la distancia que las separa. *Al producto de una de estas fuerzas por la distancia separadora, es a lo que se da el nombre de* **momento estático de la pareja.**

Atendiendo al sentido de la rotación, las parejas se dividen en *positivas* y *negativas*, según que giren en la dirección de los punteros de un reloj o en sentido contrario.

§. 2 **Momento estático de una fuerza.**—Cuando a un cuerpo que posee un eje, se le aplica una fuerza fuera de éste, se produce una rotación que depende de la intensidad de la fuerza y de la distancia perpendicular del eje a la fuerza. Esta distancia *a* se llama *brazo* de la fuerza (fig. 30).

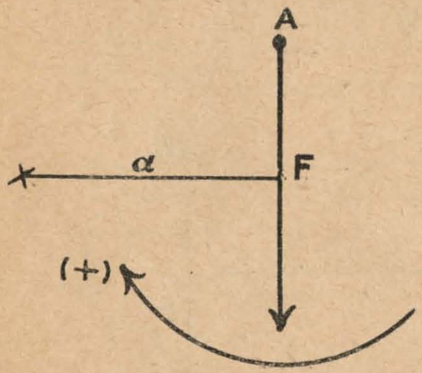


Fig. 30.

Para estudiar la relación que existe entre el *giro producido*, *la fuerza y el brazo*, lo hacemos por medio del aparato representa do en la (fig. 31), que consiste en una barra graduada que puede girar en torno de un eje.

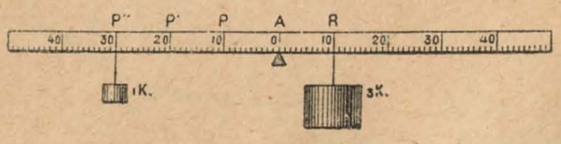


Fig. 31

Colocando una masa de 300 gr., a la distancia de 10 cm del eje, resultará cierto giro, el cual puede impedirse, colocando al otro lado una masa de 100 gr. a la distancia de 30 cm del eje. Esto se explica porque esta última masa produce el mismo giro que la primera, pero en sentido contrario.

Del experimento anterior, resulta que hubo equilibrio cuando 300 · 10=100 · 30 (fig. 31).

No importa donde se coloquen los pesos, (fuerzas) con tal que los productos de éstos por sus distancias al eje (brazos) sean iguales a los productos de los que actúan del otro lado por sus distancias al eje.

Si designamos, de una manera general por F y F_1 las fuerzas y por l y l_1 (fig 32) los brazos; tenemos que existirá equilibrio, cuando se cumpla la relación siguiente:

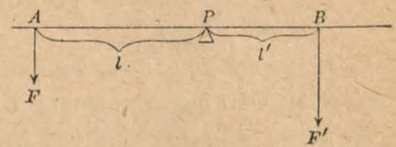


Fig. 32

$$F\,l = F_1\,l_1$$

Con el aparato descrito, se pueden comprobar experimentalmente las siguientes igualdades (fig. 33 y 34).

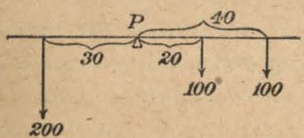


Fig. 33.

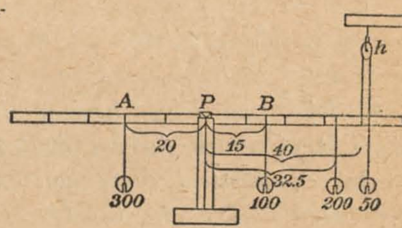


Fig. 34.

$$200 \cdot 30 = 100 \cdot 20 + 100 \cdot 40$$
$$300 \cdot 20 = 100 \cdot 15 + 200 \cdot 32{,}5 - 50 \cdot 40.$$
$$300 \cdot 20 + 50 \cdot 40 = 100 \cdot 15 + 200 \cdot 32{,}5$$

Podemos decir, pues, de una manera general, que *la suma de todos los momentos estáticos que tienden a hacer girar el cuerpo en un sentido es igual a la suma de los momentos estáticos que tienden a hacerlo en sentido contrario.*

Como se ha visto, el valor de un momento estático es igual al *producto de la fuerza por su brazo.*

Un momento estático se puede equilibrar por otro, cuyo brazo y fuerza sean distintos, pero cuyos productos del brazo por la fuerza sean iguales.

Ej.: $4 \cdot 10 = 5 \cdot 8 = 2 \cdot 20 = 40 \cdot 1 =$ etc

El momento estático, tal como la pareja, se divide en positivo y negativo.

Problemas

1. *¿Se podrá equilibrar una pareja por un momento estatico?*

2. *Sobre una barra se toman 3 puntos equidistantes A, B, C; se aplica en A una fuerza de 3 kg, en B una de 4 kg y en C una de 5 kg ¿de qué punto es necesario sostener la barra, para que resulte equilibrio?*

3. *Encontrar el momento estático resultante de los siguientes*

$$M_1 = 12,\ M_2 = 20,\ M_3 = 15,\ M_4 = -35.$$

4. *Sobre una barra horizontal AB actúan, en los puntos A, C, D, B, cuatro fuerzas de 6, 7, 8 y 9 kgs, respectivamente, en dirección vertical, cuyos puntos de aplicación están separados por las distancias 10, 12, 14, 16 cm ¿Dónde se encuentra el punto de aplicación de la resultante y qué valor tiene?*

CAPITULO VIII

Centro de gravedad

§ 1. **Peso de un cuerpo.**—Sobre cada gramo-masa de un cuerpo, la tierra actúa con una fuerza *vertical de 979,5 dinas.* Estas fuerzas son paralelas e iguales entre sí, y su resultante, aplicará en un punto bien determinado. Este punto, se llama **centro de gravedad** o *punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas paralelas y verticales con que la tierra actúa sobre cada una de las partículas de un cuerpo.*

Como esta resultante representa el valor total de la atracción que la tierra ejerce sobre el cuerpo, nos dará, al mismo tiempo, *el peso* de éste.

Si la masa de un cuerpo es de 20 gr, o, expresado en dinas, de *20 979,5 dinas.*

§ 2. **Determinación experimental del centro de gravedad.**—Cuando se suspende un cuerpo libremente, el centro de gravedad tiende a ocupar un sitio colocado muy hacia la parte inferior de dicho cuerpo.

Este hecho nos conduce a la determinación experimental del centro de gravedad de una lámina cualquiera. Se suspende la lámina de un punto dado y se traza la vertical del punto de suspensión (fig 35) sea *b n;* se cuelga en seguida de otro punto y se traza la vertical de este, *a m.* Como el centro de gravedad debe encontrarse simultáneamente en las dos rectas, y como

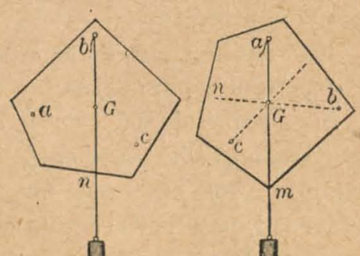


Fig 35.

el único punto común a ellas es el de intersección, se desprende que éste es el centro de gravedad buscado.

De la determinación experimental, resulta que el centro de gravedad de un rectángulo se encuentra en el punto de cruce de sus diagonales; el de un triángulo, donde se cortan las transversales de gravedad. En general, en toda lámina de forma geométrica homogénea, (que cada cm^2 de superficie tenga la misma masa) el centro de gravedad coincide con el centro de la figura.

§ 3. **Equilibrio de los cuerpos.**—Un cuerpo está en equilibrio, cuando las fuerzas que lo solicitan se anulan.

En este caso, procedemos al contrarrestamiento de la fuerza de gravedad, impidiendo la caída del cuerpo.

Los cuerpos pueden estar en equilibrio por medio de un *eje* o de una *base*.

Equilibrio producido por un eje: Suspendiendo un cuerpo por medio de un eje o de un hilo, quedará en equilibrio siempre que la prolongación de la vertical bajada del centro de gravedad, pase por el punto de suspensión. En este caso, tenemos dos fuerzas: el *peso del cuerpo* hacia abajo, y la *resistencia* que opone el eje hacia arriba, fuerzas que se anulan cuando son opuestas y de sentido contrario. Si se desvía el cuerpo de su posición, el centro de gravedad sube y el cuerpo pasa a ocupar el lugar más bajo, y recuperar así su posición primitiva.

Este equilibrio se llama *estable*, y el centro de gravedad del cuerpo está debajo del punto de suspensión.

Si se suspende un cuerpo, de tal manera que el centro de gravedad quede sobre el eje de suspensión, permanecerá en equilibrio sólo en el caso que la vertical bajada del centro de gravedad, pase por el punto de suspensión. Pero, tan pronto como se desvía el cuerpo de esta posición, el centro de gravedad tiende a bajar y a colocarse debajo del punto de suspensión. Este equilibrio se llama *inestable*, y tiende a trasformarse en estable.

Si el cuerpo se suspende por su centro de gravedad, en cualquiera posición quedará en equilibrio, pues el centro de gravedad ni sube ni baja. Este equilibrio se llama *indiferente*.

Equilibrio producido por una base. — Distinguimos aquí, lo mismo que para los cuerpos que giran en torno de un eje, tres clases de equilibrio: estable, inestable e indiferente.

Un cuerpo estará en *equilibrio estable*, cuando desviado por una fuerza pequeña, tiende a recuperar su posición primitiva. Ejemplo: una silla, una mesa, un cono, que descansan sobre su base, etc.

Esto se debe a que, al desviar el cuerpo, su centro de gravedad sube. Para que se verifique lo anterior, es necesario que su centro de gravedad esté lo más abajo posible. Consi-

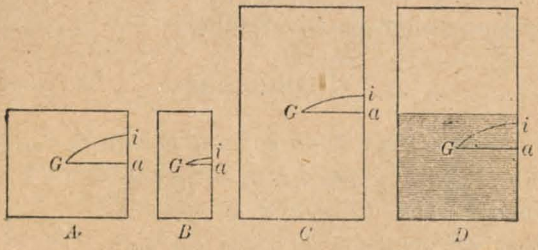


Fig. 36

deremos los cuerpos *A*, *B*, *C*, *D* (fig. 36), que están en equilibrio estable. Si se les vuelca, sus centros de gravedad suben en las distancias *ai*, que son distintas para cada cuerpo. El equilibrio es tanto más estable, cuanto mayor sea la distancia *ai*.

Para volcar un cuerpo, es necesario usar una fuerza. Esta se llama *estabilidad*, y depende del valor *ai* (fig. 36), que a su vez es una función de tres factores, a saber: el *peso del cuerpo*, *extensión de la base y distancia del centro de gravedad a esta base.*

Un cuerpo que descansa sobre una base, está en equilibrio *inestable* cuando la vertifical de su centro de gravedad cae fuera de la base de sustentación (1), tal cosa sucede en un cono que descansa sobre su vértice, un huevo que se apoya en uno de sus extremos, etc.

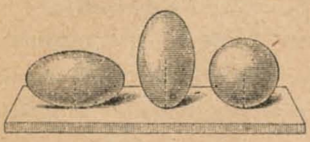


Fig. 37.

En todos estos casos (fig. 37), una pequeña fuerza hace bajar el centro de gravedad, y el movimiento continúa hasta que dicho centro quede tan ínfero como las circunstancias lo permitan; cumplida esta condición, el cuerpo queda en equilibrio estable.

Un cuerpo está en *equilibrio indiferente* cuando, desviado en cualquier sentido fuera de su primitiva posición, vuelve a quedar en equilibrio, como una esfera, un cono y un cilindro tendidos. En este equilibrio, la distancia del centro de gravedad a la base permanece invariable.

Problemas

1. *Siendo mg el peso de un cajón y E una fuerza horizontal que trata de volcarlo y que aplica en su centro de gravedad.* 1.° *Establecer los valores de los momentos estáticos de estas fuerzas con respecto al punto O de volcamiento* (fig. 39). 2.° *¿Cómo necesitan ser entre sí estos momentos estáticos, para que el cuerpo se mantenga en equilibrio?* 3.° *¿Qué valor deben tener para que el cuerpo se vuelque?* 4.° *¿Cuál es el valor de la fuerza E (estabilidad) que produce el volcamiento?*

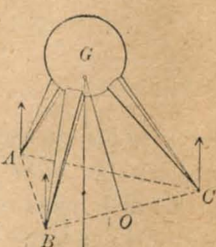


Fig. 38.

---

(1) Se llama **base de sustentación** *de un cuerpo, la recta o línea poligonal que se obtiene de unir todos los puntos de contacto del cuerpo con la base.* En la fig. 38, la base de sustentación es el △ *ABC.*

2. *¿Cuando desviamos una regla suspendida por un eje ésta vuelve a su posición primitiva, siempre que su centro de gravedad se halle bajo el eje. ¿Qué momento estático obra sobre ella?*

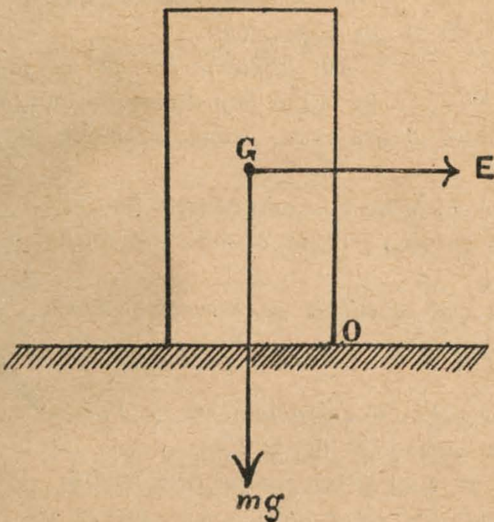


Fig. 39.

3. *De acuerdo con los momentos estáticos que se producen ¿por qué un cuerpo suspendido de un eje que pase por su centro de gravedad queda en equilibrio, en cualquiera posición que se coloque?*

4. *¿De qué factores depende la situación del centro de gravedad en un cuerpo?*

5. *¿Indicar en qué equilibrio se encuentran, y cuál es la base de sustentación de: un bastón que se apoya sobre un dedo, un hombre que camina sobre zancos, un ciclista?*

6. *¿Cual es la posición más estable de un ladrillo?*

7. *¿Dónde está el centro de gravedad* a) *de un anillo,* b) *de una caja cúbica? ¿En qué condición se hallará ésta última en equilibrio más estable, llena o vacía?*

8. *¿Por qué una persona está más insegura de pie sobre un bote que cuando está sentada?*

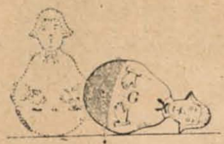


Fig. 40.

9. *¿Dónde se encuentra el centro de gravedad de una balanza con respecto al punto de suspensión?*

10. *Explicar por qué al juguete de la* fig. 40 *no lo podemos acostar. ¿Sube, en este caso, el centro de gravedad, cuando se desvía de la posición vertical?*

11. *¿Qué objeto tiene la cola en un volantín?*

12. *¿Por qué una persona, al subir una colina, se inclina hacia adelante?*

13. *¿En qué equilibrio se encuentra una persona,* a) *cuando está de pie,* b) *cuando está acostada?*

Fig. 41.

14. *¿Por qué no se caerá la torre de Pisa, aunqué esté inclinada?* (fig. 12).

15. *Una persona de pie ¿en qué caso tendrá mayor estabilidad: cuadrado o con los pies separados?*

16. *¿Por qué un luchador (se agacha) cuando quiere dar a su cuerpo mayor estabilidad?*

17. *¿Por que se equilibra el sistema formado por el lápiz y los dos cortaplumas sobre la yema del dedo* (fig. 41).

CAPÍTULO IX

El trabajo mecánico

§ 1 **Trabajo motor y resistente.**—Si se aplica una fuerza a una masa, puede ponerla o nó en movimiento. Si lo consigue, se dice que la fuerza ha efectuado un trabajo. *Toda fuerza que vence, desplazando a una resistencia, efectúa un trabajo.* Por grande que sea la fuerza que aplica sobre una masa, si no consigue poner a ésta en movimiento, físicamente no efectuará ningún trabajo. Un pilar que sostiene un edificio, un hombre que haga esfuerzo por mover una piedra, sin conseguirlo, realizan un *trabajo igual a cero.*

Cuando se levanta un cuerpo, la fuerza necesaria para ejecutar este movimiento, translada su punto de aplicación en sentido de ella. El trabajo realizado, se llama *motor o positivo.* La gravedad ejerce su acción oponiéndose a este movimiento, efectuando un trabajo *negativo o resistente.* Si el trabajo resistente es mayor que el motor, se mueve el cuerpo en sentido contrario a la dirección de la fuerza, como sucede en el caso de un bote movido a remo, en que el movimiento de éste se efectúa en sentido contrario al esfuerzo que el remo produce en el agua.

§ 2. **Unidades del trabajo y su relación con las de fuerza y espacio.**—Cuando levantamos la masa de 1 kg a la altura de 1m., nuestra fuerza muscular ha efectuado cierto trabajo, porque ha vencido en el trayecto de un metro a la fuerza de atracción de la tierra sobre el kilógramo. Este trabajo se toma en la práctica como unidad, y se llama *kilográmetro* o metro-kilógramo (1 mkg). Es claro que se debe efectuar el doble trabajo, 2 kgm, si se quiere levantar la misma masa, 1 kg, a 2 m de altura. Se necesitaría también efectuar el doble trabajo, si se quisiera elevar a 1 m de altura, la masa de 2 kg. De esto se desprende que el trabajo efectuado es *directamente proporcional a la fuerza y al espacio recorrido por su punto de aplicación.*

Para encontrar la relación entre trabajo, fuerza y espacio recorrido, lo haremos por medio de problemas:

1. *¿Cuántos kilográmetros se necesitan para levantar a 2 m de altura una masa de 3 kg?*

Solución

Para levantar 1 kg-masa a 1 m de altura se necesita 1 mkg
» » 3 » » » 2 » » » » x.

$$x=1 \cdot 3 \cdot 2=3 \cdot 2=\mathbf{6}\ \mathbf{mkg}$$

De este problema, se desprende que, en general, para levantar P kg a h metros de altura, se necesita Ph kgm, o sea, designando por T este trabajo:

$$1)\quad \mathbf{T=P.h}$$

2. *En una máquina a vapor, el pistón es empujado con una fuerza de 120 kg-peso en un trayecto de 36 cm. ¿Cuál es el trabajo efectuado?*

En este caso, la fuerza que aplica no es la fuerza muscular, sino la presión del vapor de agua; la resistencia vencida no es la pesantez, sino la inercia de la masa del pistón.

Es evidente que para encontrar el número de kilográmetros, se necesita multiplicar *120 kg-peso* por la distancia, expresada en metros, $T=120 \cdot 0{,}36=$**43,2 m-kg**.

En general, una fuerza F de cualquiera naturaleza que sea, que desplaza a una resistencia en su propia dirección en un espacio s, ejecuta un trabajo T, dado por la fórmula:

$$\text{I) } \mathbf{T} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s}$$

Si la dirección de la fuerza no coincide con la del movimiento, la fuerza tomada en consideración es la componente que cae en la dirección del movimiento.

De la fórmula I), se desprenden las dos siguientes:

$$\text{II) } \mathbf{F} = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{s}}$$

$$\text{III) } \mathbf{s} = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{F}}$$

Como en el sistema *C, G, S*, la unidad de fuerza es la *dina*, y la de longitud, el *centímetro*; la del trabajo, será la efectuada *por el desplazamiento del punto de aplicación de una dina en un centímetro, en su dirección.* Este trabajo se designa con el nombre de **erg.** Como esta unidad es muy pequeña, se reemplaza en la práctica, como ya lo hemos dicho, por el kilográmetro y en trabajos realizados por la electricidad, se emplea el **Joule,** nombre dado en honor del físico inglés, James Prescat Joule (1818-1889).

James Prescott Joule (1818-1889)

Este célebre físico inglés ha sido una de las figuras más prominentes en el establecimiento de la ley de la conservación de la energía. Descubrió en la electricidad una famosa ley que lleva su nombre, y que expondremos con detalles en nuestro tomo III.

$$\mathbf{1\ Joule} = 10\,000\,000 \text{ erg} = \mathbf{10^7 erg}$$

§ 3. La potencia y sus unidades. — Otra idea más importante que la del trabajo, es la de **potencia,** *que es el trabajo realizado por segundo.*

En la práctica, es necesario comparar los trabajos que efectúan las máquinas en el mismo tiempo, para elegir en igualdad de condiciones, aquella que trabaje más en menor tiempo. Si una bomba eleva 30 litros de agua en 1 segundo, y otra lo hace en 2 segundos, es claro que la primera es dos veces *más potente* que la segunda.

La potencia de una máquina está, pues, en razón inversa con el tiempo en que realiza el trabajo.

Para comprender claramente lo dicho, resolveremos el siguiente problema:

¿Cuál es la potencia de una bomba que eleva 20 litros de agua a 30 metros de altura en 10 seg?

Solución.

Como 20 l de agua representan una masa de 20 Kg. podemos plantear el problema de la forma siguiente:

Para elevar 1 Kg a 1 m de altura en 1 seg se necesita 1 $\left[\frac{Kg\ m}{seg}\right]$

20 » » 30 m » » » 10 » » x

$$x = \frac{1 \cdot 20 \cdot 30}{10} = \frac{20 \cdot 30}{10} = 60 \left[\frac{m\text{-}Kg}{seg}\right]$$

Como el producto 20 · 30 representa el *trabajo efectuado* y 10, el tiempo que se demora en realizarlo, resulta que la potencia P se encuentra, dividiendo el trabajo, T, por el tiempo t; o sea, haciendo uso de una fórmula:

$$\text{II)}\quad \mathrm{P} = \frac{\mathrm{T}}{\mathrm{t}}$$

Las unidades de potencia son iguales a las de trabajo; con la diferencia de que en las primeras hay que considerar el tiempo.

La unidad práctica de potencia es el *caballo de fuerza* que se designa por *HP* (*horse power*): **1 HP=75** $\left[\frac{m\text{-}Kg}{seg}\right]$; en electricidad se emplea el *Watt* que es igual a un Joule por segundo.

1 Watt=1 Joule por seg

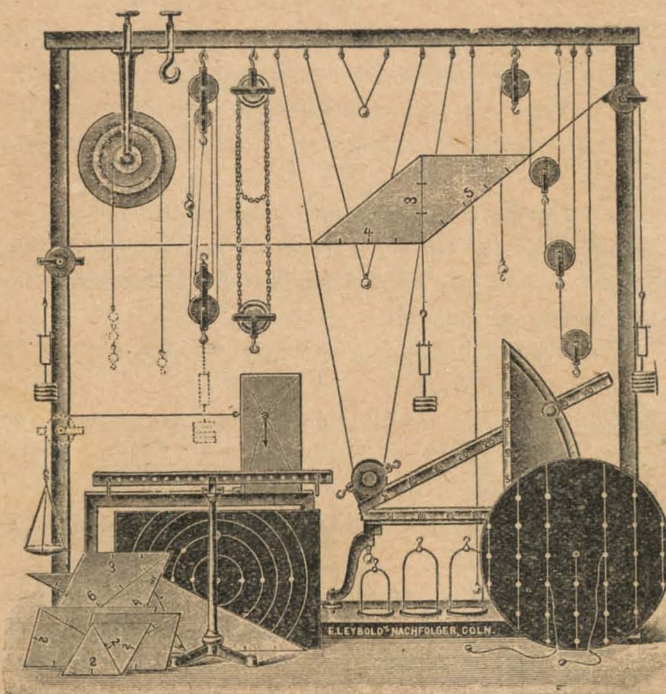
Problemas

1. *¿Cuántos ergs se necesitan para que 75 dinas desplacen a un cuerpo en un trayecto de 12 cm en su propia dirección?*
2. *¿A cuántos ergs equivale un kilográmetro?*
3. *¿De qué manera se reducen kilográmetros, ergs y viceversa?*
4. *Un kilográmetro, ¿a cuántos joules equivale?*
5. *¿Qué potencia mínima necesita un motor para hacer funcionar una bomba que debe elevar 24 Hl de agua por minuto a 30 metros de altura?*
6. *En el trabajo manual, ¿la remuneración se hace de acuerdo con la fórmula* T=F s?
7. *¿Cuántos m-kgs efectúa una persona que pesa 80 kgs al subir una colina de 40 m de altura?*
8. *¿Qué trabajo efectúa un caballo que arrastra una tonelada de carbón a la cima de una colina, que se eleva a 50 m de altura?*
9. *Si una ciudad de 20 000 habitantes gasta por término medio 20 l de agua por cada habitante, ¿cuánto deben trabajar las máquinas si el agua tiene que subir a 75 m de altura para distribuirla?*

CAPÍTULO X

Máquinas simples

Las máquinas simples son aparatos destinados a vencer y modificar la dirección de una fuerza mayor, la *resistencia*, por medio de una menor, la *potencia*.



Aparato general para la demostración de fuerza, trabajo, momento estático y máquinas simples.

Se recurre a estos aparatos, cuando *nuestra fuerza muscular* no es suficiente para vencer la resistencia que opone una masa dada.

Las máquinas simples que estudiaremos aquí, son: las palancas, las poleas, el plano inclinado, la rueda con árbol y la cuña.

§ I. **Las palancas.**—Dáse el nombre de palancas, a barras rígidas, rectas o curvas, que pueden girar en torno de un eje, y en cuyos extremos se aplican dos fuerzas distintas: la resistencia y la potencia.

Según la situación del punto de apoyo con respecto a la situación de los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia, las palancas se dividen en:

Palancas de primera clase.—Son aquellas en que el punto de apoyo se encuentra entre los puntos de aplicación de la potencia y de la resistencia.

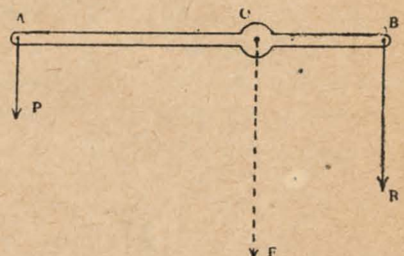


Fig. 42.

Según la fig. 42, la barra AB, que gira en torno del punto O, está solicitada por las fuerzas P y R, que aplican en A y en B, respectivamente, formando dos momentos estáticos: el uno, $P \cdot \overline{AO}$, negativo, y el otro, $R \cdot \overline{BO}$, positivo. Para que esta palanca quede en equilibrio, es necesario que estos dos momentos estáticos sean iguales, esto es, que se cumpla la relación siguiente:

$$1) \quad P \cdot \overline{AO} = R \cdot \overline{BO}$$

Las distancias AO y BO son los brazos de las fuerzas, o de la palanca, en el caso que consideramos.

A la fórmula 1) se pudo haber llegado también, considerando a las fuerzas P y R como paralelas y del mismo sentido, cuya resultante, cuando la barra está en equilibrio, debe pasar necesariamente por el punto de apoyo O; por cuya razón debe verificarse, la relación que ya desarrollamos para las fuerzas paralelas, es decir, que el producto de una de ellas por su distancia de su punto de aplicación al de la resultante debe ser igual a la otra fuerza por su distancia respectiva.

Puede presentarse, también, el caso de que las fuerzas no

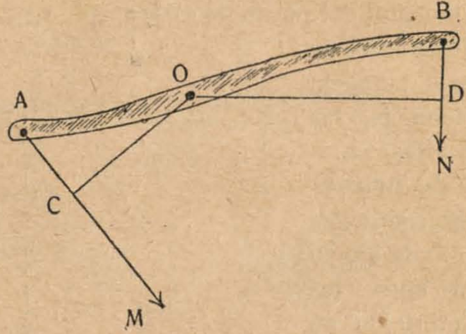


Fig. 43

sean paralelas ni perpendiculares a la palanca (fig. 43). En este caso los brazos son las distancias perpendiculares $\overline{OC}$ y $\overline{OD}$, y su relación de equilibrio es:

$$2)\quad M \cdot \overline{OC} = N \cdot \overline{OD}$$

Consecuencias.—Si los brazos $\overline{OA}$ y $\overline{OB}$ (fig. 42) son iguales entre sí, la potencia debe ser igual a la resistencia. Si el brazo de potencia es 2, 3, 4... n veces mayor que el de la resistencia, la primera será 2, 3, 4... n veces menor que ésta. De aquí resulta que, con un brazo suficientemente largo, se vencerán resistencias considerables con una potencia relativamente pequeña. Así no más se comprende la expresión formulada por Arquímedes: «Dadme un punto de apoyo y os levantaré el mundo entero».

Aprovechamiento mecánico.—Como es de importancia conocer la potencia que ha de emplearse en vencer una resistencia dada, conociendo la palanca que ha de usarse, se hace necesario, pues, encontrar una relación entre la potencia, la resistencia y los elementos de que se compone una máquina simple dada. Conviene también precisar lo que se llama *aprovechamiento mecánico de una máquina simple cualquiera, que se define como el número de veces que la potencia está contenida en la resistencia*. Así, por ej., en la palanca de la fig. 31 el aprovechamiento mecánico es igual a *3*. La fig. 31 hacer ver también que, sólo basta conocer la relación entre los brazos, para saber cual es el aprovechamiento, pues basta dividir el brazo de potencia por el de resistencia. Si representamos este aprovechamiento mecánico por **A** y por l y l' estos brazos, tenemos la fórmula:

$$3)\quad A = \frac{l}{l'} = \frac{R}{P}$$

§ 2. Trabajo efectuado en las palancas.—Supongamos que en la palanca MN (fig. 44) la potencia **P** sea igual a

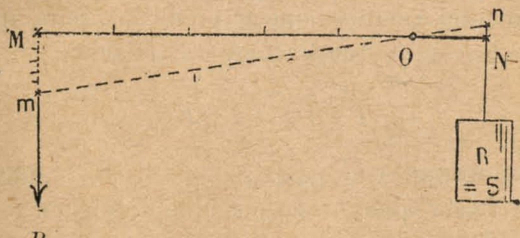


Fig. 44.

1 kg y la resistencia R a 5 kg. De acuerdo con lo expuesto, para que esta palanca esté en equilibrio, el brazo de potencia MO debe ser 5 veces mayor que el de resistencia NO. Si hacemos girar la palanca en un pequeño espacio, los puntos M y N, recorren arcos que se pueden considerar como las rec-

tas Mm y Nn, en un pequeño trayecto; luego la potencia ejecuta el trabajo $P \cdot Mm$, y la resistencia el trabajo $R \cdot Nn$. Estos trabajos son iguales, porque la fuerza P ha recorrido un espacio 5 veces mayor que el recorrido por R, como se puede comprobar gráficamente. Matemáticamente se puede demostrar que en realidad es así, aprovechando la semejanza de los triángulos MmO y NnO.

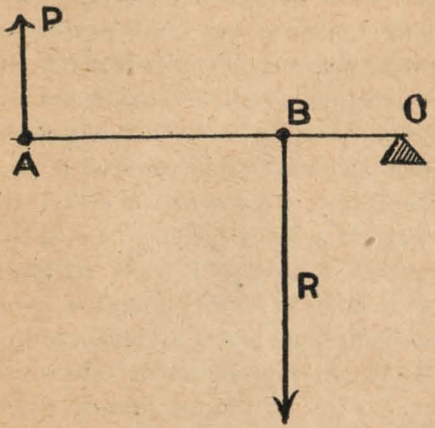


Fig. 45.

Luego, en una palanca de *primera clase, el trabajo efectuado por la potencia es igual al ejecutado por la resistencia.*

§ 3. **Palancas de 2.ª clase.**—Estas palancas tienen su punto de apoyo O, fuera de las fuerzas (fig. 45). De acuerdo con los momentos estáticos que se producen, para que haya equilibrio es necesario que se cumpla la relación:

$$1) \quad P \cdot \overline{AO} = R \cdot \overline{BO}$$

§ 4. **Las poleas.**—La polea es un disco, o más simplemente, una rueda que gira en torno de un eje, en cuya periferia lleva una ranura o garganta por la que pasa una cuerda; en los extremos de esta cuerda, aplican la potencia y la resistencia. El eje se encuentra suspendido por una pieza especial llamada *armadura*, de la cual se cuelga la polea (fig. 46) o a la cual se aplica la resistencia.

Fig. 46.

Las poleas se dividen en fijas y móviles, según que su eje cambie de lugar en el espacio o nó.

Poleas fijas.—Estas son, como ya lo hemos dicho, aquéllas cuyo eje no cambia de lugar en el espacio. En esta clase de poleas, la armadura sirve sólo para sostener el aparato. Para calcular la condición de equilibrio de la polea fija, la consideramos como una palanca de primera clase (fig. 47), en que el punto de apoyo está en el eje, y en que la potencia y la resistencia aplican tangencialmente a la polea, en A y en B. De esto resulta que los brazos de potencia y resistencia son iguales, por ser radios de la polea. Luego, para que haya equilibrio en una polea fija, la potencia debe ser igual a la resistencia:

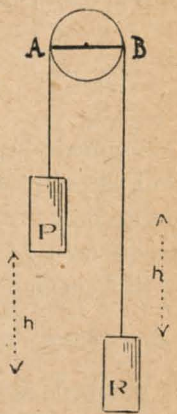


Fig. 47.

$$1) \quad \mathbf{P = R}.$$

Si la resistencia R baja en el espacio h, la potencia P sube en el mismo espacio h, y como las dos fuerzas son iguales, los trabajos efectuados por éstas, deben ser también iguales:

$$Ph = Rh$$

Aquí, como en la palanca, se verifica que *el trabajo efectuado por la potencia, es igual al realizado por la resistencia.*

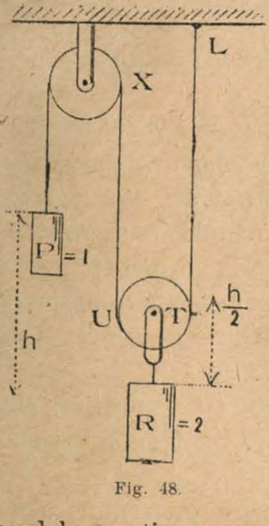


Fig. 48.

Poleas móviles. — En estas poleas, la resistencia aplica en la armadura, y la potencia tangencialmente en un punto de la garganta. Como la resistencia R se reparte entre dos cordeles, se tiene que el cordel u soporta la mitad de este valor (fig. 48), incluyendo, por supuesto, en este valor la masa de la polea móvil; luego, para que haya equilibrio en una polea móvil, *la potencia debe ser igual a la mitad de la resistencia.*

$$2)\ P=\frac{R}{2}$$

Se puede llegar también a la fórmula anterior, considerando a la polea móvil como una palanca de segunda clase, cuyo punto de apoyo está en L (fig. 48), la resistencia en T y la potencia en U.

Si hacemos recorrer a la potencia un espacio h, la resistencia sube en $\frac{h}{2}$; pues cada hilo se acorta en la mitad; y como la potencia es igual a la mitad de la resistencia, también, se cumple aquí que *el trabajo efectuado por la potencia, es igual al ejecutado por la resistencia.* Este principio es general para todas las máquinas simples, y tiene gran importancia en Mecánica; pues por medio de él se puede encontrar la condición de equilibrio de cualquier máquina.

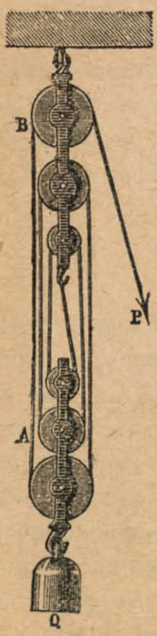


Fig. 49.

El principio expuesto, nos dice también que *en ninguna máquina simple se gana trabajo, sino fuerza, a expensa del espacio recorrido.* Lo que se va ganando en fuerza, se va perdiendo en trayecto y en tiempo.

Garruchas. — La garrucha ordinaria es una combinación de igual número de poleas fijas y móviles (fig. 49).

La masa Q se reparte en 6 cordeles; por cuyo motivo, la fuerza P, es igual a la sexta parte.

La fig. 50, nos muestra un segundo sistema de garruchas, en que el efecto es el mismo del caso anterior; pues, es indiferente que las poleas estén todas en un mismo plano o en distintos con un eje común. La disposición de la fig. 50, tiene la ventaja de que la resistencia se puede elevar a mayor altura.

En general, si hay n poleas, la resistencia debe repartirse en n cordeles; luego, la *potencia debe ser igual a la* n *ava parte de la resistencia.*

$$3) \quad P = \frac{R}{n}.$$

De acuerdo con el principio de la igualdad de trabajo, ya establecido, si la potencia baja en un espacio h, la resistencia sube en un camino igual a $\frac{h}{n}$.

Fig. 50.

El principio de la igualdad de trabajo, fué enunciado por Newton, en 1687, y ha sido uno de los más importantes en el desarrollo de la Física, por cuanto permite deducir, la relación que debe existir entre la potencia y la resistencia, cualquiera que sea la máquina simple de que se trate, con tal que la fricción o roce que se produce en el movimiento sea despreciable. Para encontrar la condición de equilibrio en cualquiera máquina, basta producir un pequeño desplazamiento en la potencia, y medir el efectuado en la resistencia: *la razón que existe entre este último desplazamiento y el primero, es la razón que existe entre la resistencia y la potencia.*

§ 5. **Rueda con árbol.**—Se llama así una rueda cualquiera que puede girar en torno de un eje o árbol. Este puede ser horizontal o vertical. En el primer caso, el aparato se llama *torno;* en el segundo, *cabrestante* (fig. 51).

La condición de equilibrio se deduce de la fig. 52.

$$1)\ F \cdot \overline{CA} = F' \cdot \overline{BC}$$

A la condición 1) se llega en virtud de los dos momentos

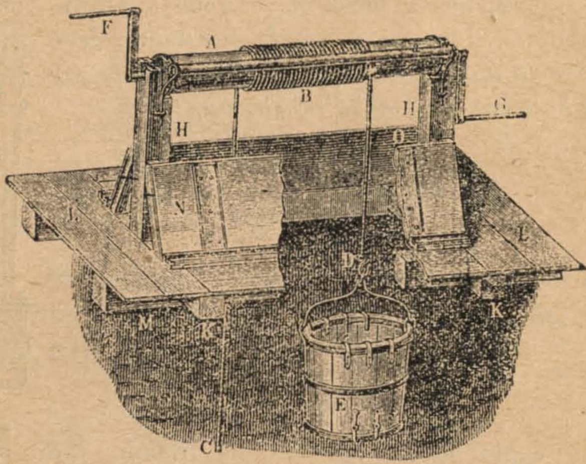


Fig. 51.

estáticos que se producen por las fuerzas F y F' con respecto al eje común C de ellas.

La rueda con árbol, ya sea en la forma de torno o en la de

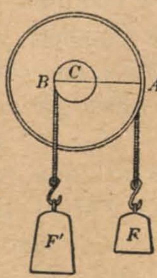


Fig. 52.

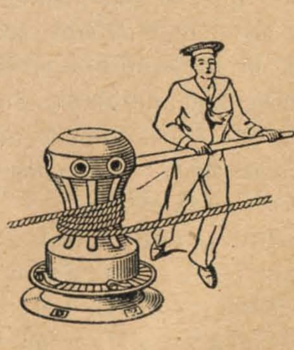


Fig. 53.

cabrestante, encuentra numerosas aplicaciones en la práctica:

se le emplea para levantar pesos en combinación con poleas fijas, o en forma de cabrestante, para arrollar el cable del ancla de las naves (fig. 53).

§ 6. **El plano inclinado.**—Otra especie de máquina simple, muy usada en la práctica, es el plano inclinado. Es un simple plano que forma cierto ángulo con el horizonte. La resistencia, en forma de un peso, se coloca sobre el plano inclinado, impidiendo la caída de aquél, por una fuerza que puede ser paralela al largo del plano (fig. 54), y cuyo valor se puede medir por un dinamómetro.

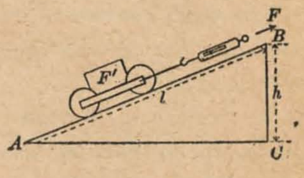


Fig. 54.

Para encontrar la condicion de equilibrio en el plano, nos apoyamos en el principio de los trabajos, ya enunciados, y hacemos recorrer al carrito todo el largo l del plano. En esta forma, la potencia efectúa un trabajo igual a Fl, que debe ser igual al ejecutado por la resistencia F' (peso del carro) por la distancia vertical h que ha recorrido, $F'h$

De modo que la condición de equilibrio es:

$$1) \quad \mathbf{Fl = F'h}$$

que enunciada en palabras dice: en un plano inclinado hay equilibrio *cuando la resistencia multiplicada por la altura del plano, es igual a la potencia multiplicada por el largo.*

El plano inclinado se emplea en la práctica para subir y bajar bultos a los carretones, en los ascensores de los cerros, en las subidas artificiales de colinas, en instrumentos de carpintería como el formón, cepillo, etc. *La cuña,* por ejemplo, que es una combinación de dos planos inclinados, se usa para separar partes de un mismo cuerpo, como ser en el hacha.

Problemas

1. *Dos niños llevan un saco de trigo en la mitad de un palo largo. ¿Existirá alguna diferencia, si se acercan al saco o se alejan de él, manteniéndose ambos a igual distancia del saco? ¿Varían las fuerzas que soportan los niños, si uno de ellos se acerca al saco?*

2. *Cuando se lleva un peso atado a la extremidad de un palo que se apoya sobre el hombro, ¿por qué la presión sobre éste se hace cada vez mayor, a medida que el palo se resbala hacia atrás?*

3. *¿Cuál es el objeto del alambrito de platino de la balanza, llamado jinete, y que se coloca sobre la palanca graduada de la balanza?*

4. *¿A qué clase de palancas pertenecen el martillo, la carretilla, la balanza de botica, los alicates, las tenazas, las pinzas, el destapador de cerveza (dos clases), el remo, las tijeras?*

¡Hágase un dibujo de los instrumentos nombrados!

5. *Explicar el principio de la pesada en la romana y la manera de cómo se puede graduar. ¿Cuál debe ser el peso de la masa P, si a la distancia de 40 cm del punto de apoyo se equilibra con un peso de 10 kg, colocado a 20 cm?* (fig. 55).

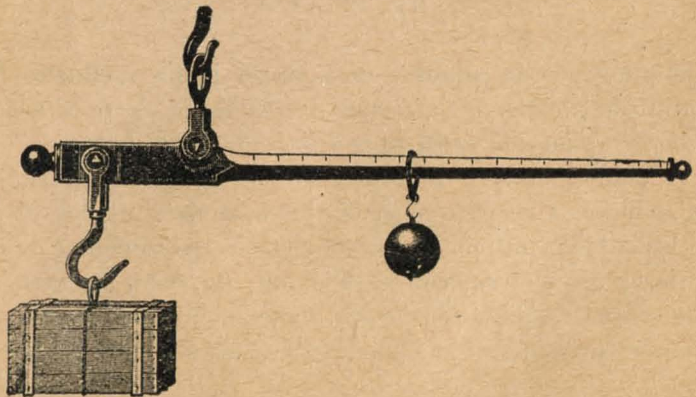


Fig. 55.

¿Qué valores son constantes y cuáles variables, en la romana? (nos referimos aquí a los valores de la resistencia, de la potencia y de sus brazos).

6. *La barreta que usa el hombre de la fig. 56 está empleada*

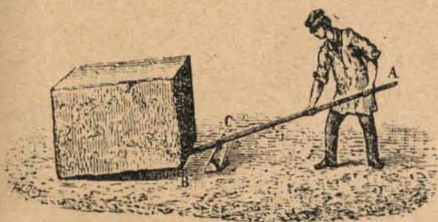


Fig. 56.

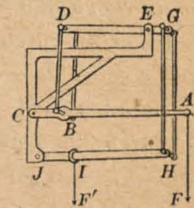


Fig. 57.

como palanca ¿de 1.ª o 2.ª clase? Si el block pesa 100 kg y el brazo de resistencia BC=10 cm y el de potencia CA=80 cm ¿qué fuerza muscular debe emplear para levantarlo?

7. *Si una persona conoce su peso y dispone de una tabla y un metro ¿cómo puede conocer el peso de un compañero, si la tabla es tan resistente que pueda girar en torno de un punto sosteniéndolos a ambos?*

8. *Tres caballos tienen que arrastrar un peso con igual esfuerzo ¿cómo deben colocarse los caballos en el balancín?*

9. *Dos personas llevan un peso de 60 kg suspendido en un palo, si las distancias del peso a las personas son de 40 y 60 cm, respectivamente, ¿cuántos kilógramos soporta cada uno?*

10. *¿Por qué las tijeras del hojalatero tienen mango largo y hojas cortas, y por qué en las del sastre pasa lo contrario?*

11. *Si en el sistema de palancas representado por las fig 57: AC=180 cm, BC=3 cm, DE=120 cm, EG=16 cm, HJ=150 cm, IJ=60 cm, ¿qué fuerza* **F** *debe colocarse en A para equilibrar una fuerza F' aplicada en I, igual a 200 kg.*

12. *El pesa-carro de la fig. 58 se compone de un sistema de*

palancas con puntos de apoyo en F, F', F'' y F''', con las dimensiones que se indican: $FO = FO' = 12$ *cm;* $FE = F'E' = 150$ *cm;* $F''n = 30$ *cm;* $F''m = 180$ *cm;* $RF''' = 4$ *cm;* $F'''r = 40$ *cm. ¿Qué peso debe colocarse en W cuando el carro pesa 1 000 kg? Establecer la relación del peso de W y de un carro cualquiera.*

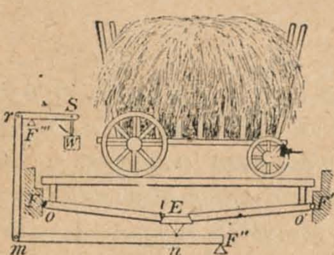


Fig. 58.

13. *Una válvula de seguridad tiene una sección de 5 cm², el brazo 4 cm y la palanca tiene una masa de 500 gr, el centro de gravedad tiene una distancia* $b = 20$ *cm del punto de apoyo, a una distancia* $c = 40$ *cm actúa una masa de 6 kg. ¿Cuántas atmósferas (atmósfera=1,033 kg-peso) debe tener el vapor para que se abra la válvula?* (fig. 59).

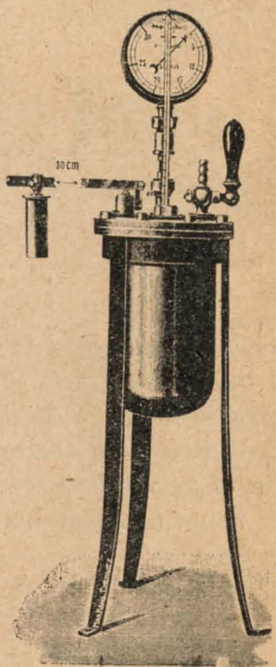


Fig. 59.

14. *Si el cabrestante de una nave* (fig 53) *tiene 24 cm de diámetro y la palanca es de 180 cm de largo ¿qué fuerza debe ejecutar un marinero para levantar un ancla de 2,000 kg?*

15. *Una fuerza de 80 kg aplica en una rueda con árbol cuyo diámetro es de 3 cm; en el árbol aplica un peso de 150 kg que se equilibra con la primera. Encontrar el diámetro del árbol.*

16. *¿Cuál es el aprovechamiento mecánico en la polea fija? ¿Por qué se utiliza en la práctica?*

17. *¿Cuál es el aprovechamiento mecánico en una polea móvil? Establecer la condición de equilibrio en la polea móvil, considerando a ésta como palanca de 2.ª clase.*

18. *Dibujar un diagrama de un sistema de poleas móviles combinadas con poleas fijas, de modo que un peso de 5 kg equilibre a uno de 250 kg.*

19. *Un muchacho arrastra un peso de 250 kg por la pendiente de una colina que se levanta en 10 cm por cada 50 cm corridos, en un trayecto de 20 m. ¿Qué trabajo efectúa, despreciando la fricción?*

20. *Si un barril pesa 200 kg ¿con qué fuerza debe empujarlo un hombre sobre un tablón de 90 cm de largo, apoyado sobre una plataforma de 30 cm de alto?*

21. *¿Qué fuerza se necesita para sostener una masa de 50 kg sobre un plano inclinado cuya longitud es 10 veces su altura?*

22. *Una persona puede efectuar una fuerza de 75 kg-peso y desea arrastrar un peso de 350 kg-peso al umbral de una puerta que se eleva a 30 cm del suelo, por medio de un plano inclinado. ¿Qué largo debe tener éste?*

23. *¿Qué fuerza se necesita para subir un barril de 150 kg por un tablón de 3,50 m a un carretón de 90 cm de alto?*

24. *Se deben levantar 700 kg a una altura de 1,50 m, disponiéndose sólo de una fuerza de 120 kg. ¿Cuál es el plano inclinado más corto que se debe usar para este objeto?*

25. *A medida que en un plano inclinado la altura disminuye paulatinamente ¿qué valores adquiere la potencia y cuánto vale si $h=o$?*

26. *¿Qué trabajo mecánico se necesita para mover un cuerpo en un plano horizontal? y ¿qué trabajo se realiza en la práctica para mover un cuerpo en un espacio* s?

27. *El metro corrido de una viga pesa 3 kg, el punto de apoyo está a una distancia de 4 m de un extremo y sobre el otro actúan 20 kg. ¿Qué largo tiene la viga, si está en equilibrio?*

28. *¿Qué resistencia opone el endocarpio de la nuez, si en el*

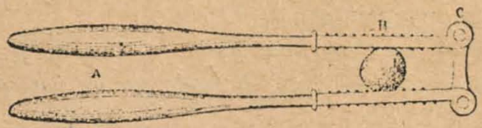


Fig. 60

punto A del quebranueces (fig. 60), *se aplica una fuerza de 7 kg-peso, siendo* $AC = 20$ *cm y* $BC = 5$ *cm.*

CAPITULO X

El Roce

§ 1. **Roce resbalante.**—Se llama *roce* a una fuerza especial que se produce siempre por el contacto de los cuerpos en movimiento.

De aquella fuerza se ha prescindido en las máquinas simples, cuando hemos buscado la *fuerza mínima* que se necesita para vencer a una fuerza dada (condición de equilibrio en las máquinas simples). De los valores encontrados por el cálculo para la potencia P, cuando se halla la máquina en equilibrio, podría creerse que agregando a aquélla una fuerza, por insignificante que fuera, debería romperse el equilibrio; pero no sucede así: hay que utilizar una fuerza mayor que la teórica, para vencer a la resistencia.

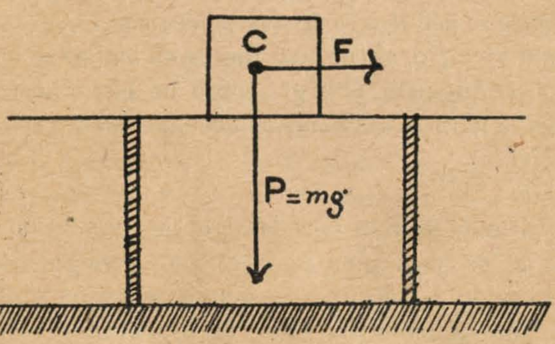


Fig. 61.

Esto se debe a la fuerza necesaria para vencer el roce, que no habíamos considerado y que *se desarrolla en sentido contrario al movimiento.*

Para mayor comodidad, el roce producido por cuerpos sólidos se divide en roce *resbalante* y *rodante.*

Cuando un cuerpo resbala sobre sobre otro, hablamos de roce resbalante. Estudiaremos aquí sólo el caso en que la superficie sobre la que resbala el cuerpo es *horizontal,* y la fuerza que produce el resbalamiento paralela al plano.

Si una fuerza F actúa paralela a un plano horizontal (fig. 61), dando al cuerpo C, sobre el que aplica, un movimiento lento y uniforme, la fuerza F que produce este arrastre será menor que la P (peso del cuerpo), que presiona al cuerpo sobre el plano. La relación que existe entre F y P nos da lo que se llama *el coeficiente de roce resbalante.* Si representamos por α este coeficiente, tenemos la igualdad:

$$1) \qquad \alpha = \frac{F}{P}$$

El coeficiente α de *roce resbalante para un material dado, es el número que se obtiene de dividir la fuerza que pone al cuerpo en movimiento, por el peso del cuerpo mismo.*

Así, por ejemplo, si con una fuerza de 300 gr se le imprime a un cuerpo que pesa 800 gr, sobre un plano horizontal, un movimiento lento y uniforme, el coeficiente de roce resbalante será $= \frac{300}{800} = \mathbf{0{,}375}$.

El coeficiente de roce resbalante α, depende sólo de la naturaleza de los cuerpos en contacto y no, como podría creerse, de la extensión de las superficies que se tocan, ni de la velocidad del movimiento (tratamos el roce entre dos cuerpos sólidos).

Una de las causas de por qué los cuerpos no pueden moverse indefinidamente, la encontramos en el roce de los cuerpos entre sí, o de éstos con el aire. Sabido es que en la tierra los cuerpos no se encuentran libres como los astros del Universo, y por este motivo no pueden moverse indefinidamente como aquéllos.

El roce se puede reducir a un mínimo, puliendo más o menos las superficies de contacto o lubrificándolas (aceitar); pero anularlo, jamás.

Para encontrar el valor del roce que desarrolla un cuerpo cualquiera al resbalar sobre una superficie, es necesario, en primer lugar, conocer los valores de los coeficientes α, que se encuentran en tablas especiales. Así, por ejemplo, uno de los más usados es fierro sobre piedra que varía entre *0,3* y *0,7*, y fierro sobre fierro que es igual a *0,15*.

Cuando se conoce el coeficiente del material, para averiguar el roce total, bastará multiplicar dicho coeficiente por el peso del cuerpo; de modo que, si R, representa el roce total, α, el coeficiente y P el peso del cuerpo podemos escribir la fórmula siguiente:

$$\text{I)}\ \mathbf{R} = \alpha \cdot \mathbf{P}$$

§ 2. **Roce rodante.**—Llamamos roce rodante el que se produce cuando una rueda, u otro cuerpo cualquiera, se mueve, girando sobre una superficie.

El coeficiente de roce rodante, y el valor total del roce rodante se definen y se expresan por fórmulas, procediendo de manera análoga a lo que hemos hecho al tratar del roce resbalante.

Se comprende fácilmente que cuando un cuerpo rueda, su coeficiente de roce rodante será mucho menor que el correspondiente, resbalante. Así por ejemplo, el coeficiente de roce rodante para fierro sobre fierro es **0,02**.

En el roce rodante, el valor total está en razón inversa del radio de la rueda. De modo que si aumenta éste, disminuye aquél. Designando el coeficiente de roce rodante por β, por P el peso de una rueda, por ρ su radio, y por R el roce total que produce al girar sobre una superficie cualquiera, llegamos a la fórmula siguiente:

$$\text{II)} \quad R = \frac{\beta \cdot P}{\rho}$$

§. 3. Resistencia que oponen el aire y el agua al movimiento de los cuerpos.—Cuando un cuerpo sólido se mueve en un flúido, ya sea gaseoso o líquido; como ser una bala en el aire, o una nave en el agua; la resistencia que estos medios le oponen, no es del todo independiente de la velocidad.

En el aire, el roce crece proporcionalmente al cuadrado de la velocidad y de la superficie de resistencia, es decir, directamente proporcional a estas cantidades. Esto último se demuestra por medio de la paletas P y P' (fig. 62), que giran en ejes distintos y van dispuestas en planos perpendiculares: el plano de la paleta P coincide con el plano de rotación, y el de la paleta P' está en un plano perpendicular al primero. Si se imprime a estas paletas un movimiento de rotación, dejando caer pesas iguales K y K', sostenidas por cuerdas enrolladas en rueda con árbol; la paleta P, gira más rápidamente, a causa de la menor resistencia del aire.

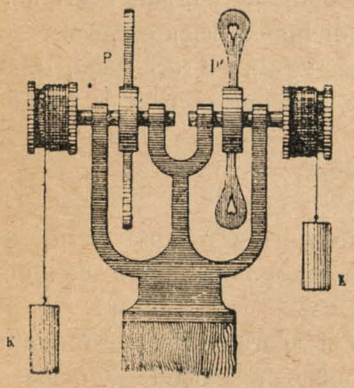


Fig. 62.

La resistencia del aire para un plano de S m² de superficie que se mueve normalmente en el aire con una velocidad de V m. por seg, es dada por la fórmula experimental

$$\text{I)} \quad R = KSV^2 \text{ kgs.}$$

K, es un factor numérico que vale 0,075, lo que significa que al mover un plano $\overline{AB}$ (fig. 63), de 1 m^2 de superficie, verticalmente en el aire, se produce una resistencia de 75 grs. La fórmula I) muestra que R crece proporcionalmente a la superficie del móvil y al cuadrado de la velocidad.

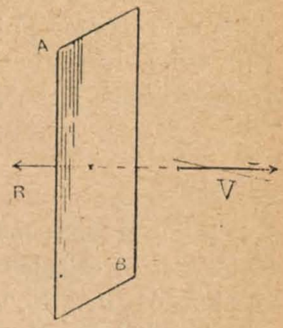


Fig. 63.

La resistencia del aire es, pues, un obstáculo serio a los movimientos muy rápidos, y esta resistencia es la que sostiene a las máquinas de aviación. Si en el aire, un plano AB, se mueve siempre en una dirección constante, que forma un ángulo (1) α con este plano, y con una velocidad V (fig 64); la experiencia muestra que la reacción del aire es perpendicular al plano $\overline{AB}$, o sea OR; tal sucede en el caso de los aeroplanos.

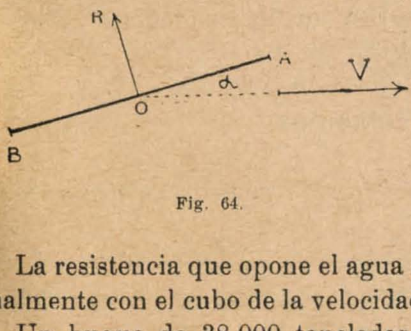


Fig. 64.

La resistencia que opone el agua a una nave varía proporcionalmente con el cubo de la velocidad de ésta con la superficie.

Un buque de 38 000 toneladas necesita una máquina de 14 000 HP para darle una velocidad de 19$\left[\frac{km}{hora}\right]$ y una de 26 000 toneladas para obtener una velocidad de 24 $\left[\frac{km}{hora}\right]$ y necesita 40 000 HP.

§ 4. **Rendimiento de las máquinas.**—En todas las máquinas simples se pierde, a causa del roce, un tanto por ciento

---

(1) *El ángulo* α *se llama ángulo de ataque.*

del valor de la potencia destinada a vencer la resistencia, lo que se expresa diciendo que hay un *trabajo útil*, y otro que se gasta sin *resultado práctico*. La razón que existe entre el trabajo útil y el trabajo total efectuado por la potencia, se llama *rendimiento de la máquina*.

Problemas

¿Cuál es el rendimiento de una máquina, si la potencia ideal (valor teórico calculado en las máquinas en su condición de equilibrio) *es de 4 kg, y la práctica de 6 kg?*

El rendimiento R será igual: $R = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} = 66\%$.

Las palancas, que sufren un roce muy pequeño, alcanzan un rendimiento cercano al 100%; el plano inclinado, por una razón semejante, da un rendimiento de 90%, y en cambio, las garruchas, a causa del gran roce que deben soportar, sólo llegan a un rendimiento del 40%.

Problemas

1. *¿A qué se debe que cueste tanto recuperar un atraso en un tren?*

2. *¿Podrían moverse los animales si no existiera el roce?*

3. *¿Cuál será el fundamento de las palancas de los carros, y el de los frenos, en las máquinas?*

4. *¿Por qué se deja, a veces, caer arena de los tranvías a los rieles?*

5. *Si se tiene un block de 10 · 8 · 3 m de arista, y se desliza por un plano de fierro por sus diferentes caras, ¿variará el roce?*

6. *¿Cuál es el coeficiente de roce resbalante de bronce sobre bronce, si una fuerza de 25 kg-peso, produce en un block de la misma sustancia que pesa 500 kg, un movimiento sobre un plano horizontal lento y uniforme?*

7. *Un plano* $\overline{AB}$ *de 1* m^2 *de superficie, avanza normalmente* *en el aire con una velocidad de* $20 \left[\frac{m}{seg}\right]$. *¿Qué resistencia le opone el aire?*

8. *Si el plano anterior está inmóvil y el aire se mueve normalmente con una velocidad de* $20 \left[\frac{m}{seg}\right]$, *¿con qué fuerza tenderá a elevarse este plano?*

9. *Un paracaídas de 25* m^2 *de superficie y de 9 kg de peso, se abandona horizontalmente en el aire* (fig. 65), *a la influencia de la gravedad. En un principio su movimiento será uniformemente acelerado, ¿por qué? Pero, como la resistencia del aire va creciendo, llegará un momento en que ésta será igual al peso del paracaídas; y a partir de este momento, su velocidad será constante, ¿por qué? ¿Cuál será la velocidad de descenso?*

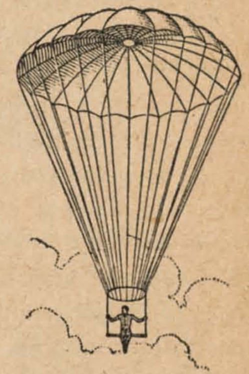


Fig. 65.

CAPÍTULO XI

Energía

§ 1. **Diferentes clases de energía.**—Siempre que una masa está en condiciones de efectuar un trabajo, decimos que posee *energía*. Esto sucede con aquéllas que se encuentran a cierta altura sobre el suelo, como los peñascos de las montañas, los lagos de los cerros, etc. La energía que poseen tales masas se llama *energía potencial* o *almacenada;* porque en un momento dado al ponerse dichas masas, debido a una causa cualquiera en movimiento hacia abajo, podrían causar efectos tales como el arrastrar una casa en su caída, por ejemplo, si la masa perteneciera a una enorme roca o el hacer mover las aspas de un molino, si la masa fuera de agua.

Energía potencial es también la que poseen la pólvora, la dinamita, etc., pues, al contacto de un fulminante, pueden efectuar trabajos tales como el desplome de un cerro. En las salitreras chilenas, se utiliza el trabajo de la pólvora, para dejar al descubierto el caliche de la costra superficial.

Cuando un cuerpo está dotado de cierta velocidad, decimos que posee *energía cinética* o *en actuación*, como la que lleva una locomotora en marcha, un proyectil en movimiento, una caída de agua, etc. La catarata del Niágara posee en su caída una gran cantidad de energía; pues, la potencia de la energía de un salto de agua depende de su altura y del número de litros de agua que suministra por segundo.

§ 2. **Ruedas hidráulicas.**—Se da el nombre de ruedas hidráulicas a ruedas especiales destinadas a transformar la energía que posee el agua que cae de cierta altura o que corre por un canal con bastante declive.

Cuando se quiere aprovechar una caída de agua, o sea, la energía potencial de ella, se usa una rueda (fig 66) que lleva una serie de cajones en su periferia. Al llenarse estos cajones de agua, el peso del líquido hace girar la rueda. Estas ruedas tienen un aprovechamiento mecánico de más o menos 80%, debiéndose el 20% de pérdida, no tanto al roce, sino a la pérdida del agua que se desparrama al caer en los cajones.

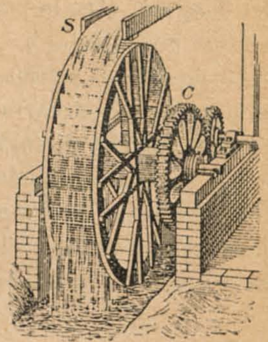


Fig. 66.

Cuando se quiere aprovechar la energía cinética de una corriente de agua, se usa una rueda que, en su circunferencia, lleva una serie de paletas (fig 67). Al chocar el agua con las paletas, la rueda se pone en movimiento.

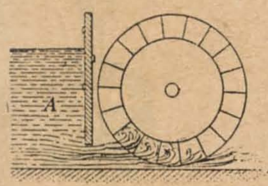


Fig. 67.

Como en las ruedas descritas, las dos energías se encuentran más o menos combinadas, perdiéndose una de ellas en mayor o menor cantidad. Si se quiere aprovechar estas dos energías simultáneamente, se usan las *turbinas* que fueron inventadas en Francia en 1833. Las turbinas son ruedas hidráulicas que hoy día se usan en todas partes, con preferencia a las ya descritas. Se diferencia una turbina de otra rueda hidráulica, en que la primera está sumergida integramente en el agua dentro de una caja especial que la contiene y que gira en un plano horizontal.

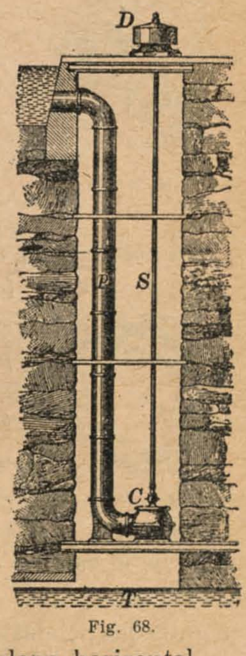


Fig. 68.

La fig 68 muestra la instalación de la turbina de la catarata del Niágara: *C* es la parte exterior de la caja a la cual penetra el agua por el tubo *p*.

La fig 68 (*a*), muestra la parte exterior de la caja de la turbina unido a una barra *P* que sirve para controlar la cantidad de agua. La fig 68 (*b*) es la parte interior de la caja a la que se fija paletas especiales, llamadas paletas guías, llamadas así porque son las que dan la dirección al agua y que están destinadas a chocar bajo el ángulo más ventajoso contra las hojas de la rueda interior, señalada en la fig 68 (*c*).

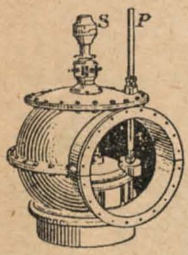


Fig. 68 (a).

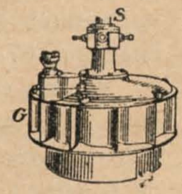


Fig 68 (b).


Fig. 68 (c).

Para comprender mejor lo descrito, damos un corte, fig. 68 (*d*), de la turbina con la parte interior de su caja, indicando cómo penetra el agua por las paletas guías y choca perpendicularmente contra las hojas o dientes de las turbinas propiamente dicha. El agua ya gastada en la turbina (fig. 68), cae al depósito *T*. La cantidad de agua que debe pasar por la turbina, se puede regularizar por medio de la barra *P* (fig. 68 (*a*) que se hace girar en un sentido o en otro, con el objeto de aumentar o disminuir la distancia entre las paletas guías *G* (fig. 68 (*b*).

Fig. 68 (d).

La energía que gasta una turbina por segundo, se obtiene *multiplicando la masa de agua que pasa por ella, por la altura del tubo de la turbina.*

Problemas

1. *Una caída de agua de 5 m de altura suministra 12 000 l por minuto ¿Cuántos caballos produce esta caída?*

2. *El tubo de la turbina que se emplea en la catarata del Niágara mide 41,48 m y desarrolla una potencia, más o menos de 5 000 HP. Si su rendimiento es de 85 %. ¿Qué cantidad de agua pasa por la turbina en cada minuto?*

CAPÍTULO XII

Principios de Newton

§ I. **Principio de inercia.** — Sabemos que al ponerse bruscamente en movimiento un tren, si los pasajeros están desprevenidos, se inclinan en sentido contrario al del movimiento. Esto se debe a que las personas dentro del carro estaban en reposo y tenían tendencia a continuar así indefinidamente. Si un tranvía en marcha se detiene repentinamente, las personas se inclinan en dirección del movimiento; porque éstas con el carro tienen tendencias a proseguir el movimiento comenzado. El mismo motivo hace que un jinete se vaya hacia atrás cuando el caballo parte de repente, y si el caballo va a gran velocidad y se detiene repentinamente, el jinete sale por las orejas del animal.

La rueda de un carro en movimiento sobre un camino con barro, produce el lanzamiento de éste tangencialmente a la rueda. Lo mismo sucede con el agua en la rueda de un molino. Lo expuesto se explica por la resistencia que opone toda materia a toda fuerza que quisiere ponerla en movimiento cuando se halla en reposo o viceversa.

Los hechos anteriores fueron compendiados por Newton en el principio que llamó inercia y que se formula así.

«*Todos los cuerpos tienen tendencia a continuar moviéndose uniformemente y en línea recta, salvo que venga una fuerza a cambiar dicho estado.*»

«*Y todo cuerpo en estado de reposo debe continuar indefinidamente en este estado, a no ser que una fuerza lo obligue a cambiar de posición.*»

Si se deja un objeto en un lugar determinado, permanecerá en él mientras no haya una fuerza que lo haga salir de su estado de reposo.

ISAAC NEWTON (1642-1727)

Físico y matemático inglés, llamado «el príncipe de los filósofos»: fué profesor de Matemáticas de la Universidad de Cambridge; formuló las leyes de la gravitación universal, descubrió el teorema del binomio, formuló el método del Cálculo, expuso los principios que en Mecánica llevan su nombre; hizo un importante descubrimiento sobre la luz, y fué autor de un libro denominado *Principios de Filosofía Natural*, publicado en 1687.

Si un cuerpo no adquiere el movimiento uniforme, cuando se le aplica una fuerza instantánea, es porque existen dos fuerzas aparentemente disimuladas en la naturaleza, que se oponen a este movimiento: *el roce con el aire u otro cuerpo cualquiera, y la gravedad.*

Si ni existieran tales fuerzas, bastaría un solo impulso para dar a un cuerpo un movimiento uniforme y eterno. Si *la fuerza fuera constante, el movimiento sería uniformemente acelerado.*

§ 2. **Principio de las cantidades de movimiento.**— Se llama cantidad de movimiento de un móvil de masa, m, y que está animado de una velocidad v, al producto de la masa por la velocidad, mv. Designando esta cantidad de movimiento por C, podemos llegar a la fórmula siguiente:

$$1)\quad C = mv$$

Así, por ejemplo, una bala de 10 grs que se mueve con una velocidad de 50 000 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$, posee una cantidad de movimiento igual a 50 000 · 10 = 500 000 $\left[\frac{gr\ cm}{seg}\right]$.

Un gramo masa es atraído por la tierra con cierta fuerza, dos gramos masas, son atraídos con la doble fuerza; pero ambos, al *caer, adquieren la misma velocidad en un seg*, como ya lo hemos demostrado.

Se ve entonces que *las cantidades de movimiento producidas en dos masas distintas son proporcionales a las fuerzas.*

En todos los casos en que las fuerzas tiendan a vencer la inercia, rige esta ley. Así, por ejemplo, si la potencia del motor de un automóvil (despreciando el roce) puede arrastrar 3 000 kg en 1 seg, le imprimirá doble velocidad si arrastra 1 500 kg.

Tomando en consideración hechos análogos, Newton estableció su segundo principio que dice:

«*Las cantidades de movimiento son proporcionales a las fuerzas que actúan y el movimiento se verifica en la dirección de estas fuerzas.*»

§ 3. Principio de acción y reacción.—Cuando un hombre salta de un bote a la playa, el bote experimenta un movimiento de retroceso. Cuando se dispara un proyectil, el cañón da un culatazo.

Newton consiguió establecer que en el caso del hombre que salta del bote, o de la bala disparada del cañón; la masa del hombre por su velocidad es igual a la masa del bote por su velocidad respectiva; y la masa del cañón por su velocidad de retroceso es igual a la masa de la bala por su velocidad respectiva.

La verdad de lo expuesto se ha establecido por medio de una gran cantidad de experimentos. Newton formuló lo anterior diciendo «*Cada acción efectuada, da una reacción opuesta*».

De lo expuesto se ve que, las fuerzas se pueden determinar por el conocimiento de las cantidades de movimiento. Además, «*Siempre que un cuerpo adquiere una cantidad de movimiento, otro cuerpo adquiere una cantidad de movimiento igual y de sentido contrario*».

Las cantidades de movimiento se pueden medir en cuerpos que tengan valores razonables, existiendo casos en que esta determinación es imposible, por ser las masas de ellos completamente desproporcionadas. Se pueden determinar los valores de los casos que hemos dado como ejemplo, bote, bala. Pero, si apoyamos una escopeta sobre la tierra o sobre un muro firme, y disparamos, la cantidad de movimiento de la escopeta es igual a la de la tierra o muro; pero, como las masas de estos últimos cuerpos son tan grandes, su movimiento de retroceso es infinitamente pequeño.

Problemas

1. *¿Por qué al bajarnos de un tranvía en movimiento nos inclinamos en sentido contrario?*

2. *¿Por qué para enmangar un martillo lo colocamos arriba y golpeamos sobre un obstáculo firme, con el lado opuesto?*

3. *¿Por qué al chocar dos máquinas que vienen con cierta velocidad, se destruyen, siende tanto más perjudicial el choque cuanto mayor sea la velocidad?*

5. *Colóquese en la yema de un dedo una tarjeta, y sobre ésta una moneda, si se le da un golpe rápido a la tarjeta, en la dirección de su superficie, la moneda quedará sobre el dedo y la tarjeta es lanzada al espacio. ¿Por qué?*

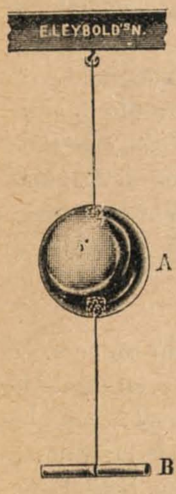


Fig. 69.

6. *¿Qué es más fácil? caminar sobre un tren en movimiento, en su misma dirección, o en sentido contrario.*

7. *¿Por qué salta el polvo de una carpeta, cuando se la sacude?*

8. *Una máquina, después de arrastrar un convoy durante 30 seg, imprime a éste una velocidad de 60* $\left[\frac{cm}{seg}\right]$. *Determinar la fuerza de arrastre de la locomotora para el caso en que ésta posea una masa de 3 000 toneladas.*

9. *Calcular la velocidad de una bala de 20 gr* que *sale disparada de un rifle que pesa 8 Kg produciendo en éste una velocidad de retroceso de* 0,25 $\left[\frac{cm}{seg}\right]$.

10. *Si una bala de 10 gr, sale disparada de una escopeta que pesa 5 Kg, con una velocidad de 400* $\left[\frac{m}{seg}\right]$ *¿cuál es la velocidad del retroceso de la escopeta?*

11. *Si en los bordes de dos copas llenas de agua se afirma una tablita, dando un golpe brusco en el medio ¿qué sucede?*

12. *Suspendiendo un cuerpo A entre dos cuerdas de igual resistencia* (fig. 69) *y tirando del mango B primero lentamente; después bruscamente, ¿dónde se cortan las cuerdas y por qué?*

II PARTE

Mecánica de los líquidos

CAPÍTULO I

Equilibrio de los líquidos

§. 1 **Caracteres generales de los liquidos.**—Los líquidos se caracterizan por la gran movilidad de sus moléculas que, al deslizarse las unas sobre las otras, cambian de forma según sea la del vaso que los contiene. Las sólidos conservan su forma, aunque no estén contenidos en vasijas; los líquidos no. Otra diferencia importante entre sólidos y líquidos, se refiere a la manera cómo transmiten la presión. Los primeros la transmiten en *su propia dirección*. La presión que ejerce una persona al apoyarse en un bastón, se deja sentir sólo en el extremo opuesto, y nó lateralmente, salvo que el bastón sea muy largo. Cuando se golpea un pedazo de fierro o plomo con un martillo, el metal se aplana, por el cambio de una parte de la presión vertical en lateral. En los cuerpos formados de partículas más o ménos pequeñas como arena, harina, etc., se observa mejor la propagación de la presión en todos sentidos:

si a un saquete que contenga arena o polvos se le comprime, éste se rompe por los costados.

Los líquidos, de cualquier naturaleza que sean, transmiten las presiones en *todas direcciones*. Esto se demuestra empleando una esfera de vidrio perforada en su superficie (fig. 70), que lleva como mango un tubo donde se mueve un pistón o émbolo. Si se llena todo el aparato con agua y se ejerce una presión con el pistón, el líquido sale simultáneamente por todas las aberturas de la esfera.

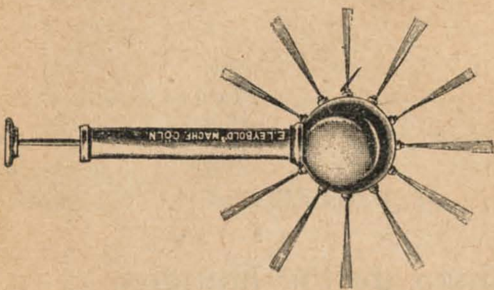


Fig. 70.

§ 2. **Principio de Pascal.**—Las presiones ejercidas en los líquidos se transmiten íntegramente, sin perder su intensidad. Esto se demuestra fácilmente por medio de dos vasos de igual sección, (igual superficie en su corte transversal) comunicados entre sí por uno lateral (fig. 71). Si se colocan sobre los tubos laterales, dos émbolos flotadores de igual masa y se pone sobre uno de ellos un peso adicional cualquiera, el líquido subirá en el otro vaso. Si se desea que su nivel coincida con el primitivo, es necesario colocar un peso igual sobre el otro émbolo.

Fig. 71.

Supongamos ahora dos vasos de secciones distintas unidos entre sí por un tubo lateral y con sus respectivos émbolos (fig 72), siendo la sección, *ab*, del primero, 1 cm^2, y la AB del segundo, 1 000 cm^2; si aplicamos en el primer émbolo la fuerza de 1 kg, para que el equilibrio no se rompa, debemos colocar en el segundo, un peso de 1 000 kg. Esto se explica admitiendo sólo que la fuerza de 1 kg-peso aplicada en *ab*, se ha transmitido a cada cm^2 de la superficie AB.

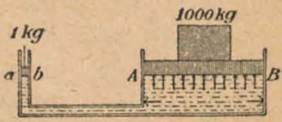


Fig. 72.

BLAS PASCAL (1623-1662)

Célebre filósofo, literato y geómetra francés que, a los doce años, sólo y sin libros, llegó a descubrir 32 proposiciones de la Geometría de Euclides, cuyos términos ignoraba. A los 16 años compuso un notable tratado sobre secciones cónicas. En matemáticas, descubrió su célebre **triángulo aritmético**; en Física, el **principio que lleva su nombre**, y de literatura escribió obras que vivirán mientras exista la lengua francesa.

Basándose en análogas consideraciones, *Pascal* enunció el principio que lleva su nombre, y que dice: «*Toda presión ejercida en un punto cualquiera de la superficie de un líquido, se transmite en todas direcciones e íntegramente, sin perder su intensidad*».

Pascal comprendió que una fuerza se podía multiplicar en el seno de una masa líquida. Un recipiente de agua, o vasos comunicados entre sí, son, en mecánica, *una nueva máquina multiplicadora de fuerzas.*

§ 3. **Prensa hidráulica.**—La presión en un líquido se calcula siempre por cm², de modo que, si se ejerce una pre-

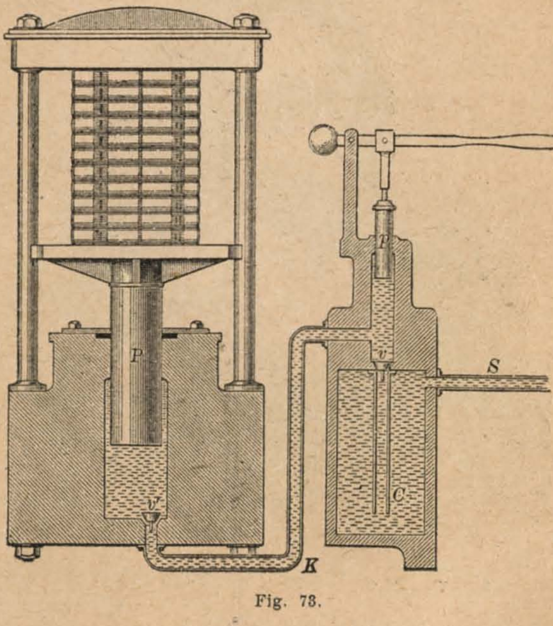


Fig. 78.

sión total de 80 kg-peso sobre una superficie de *4 cm²*, la presión será de $\frac{80}{4}=20\left[\frac{kg\ peso}{cm^2}\right]$ esto quiere decir que cada cm² de la superficie citada soporta una presión de 20 kg-peso.

Basándose en que la presión soportada por la pared de un vaso que contiene a un líquido es *directamente proporcional a la superficie de la pared*, y apoyándose también en el principio de Pascal, es fácil comprender, una aplicación práctica de estos hechos en el aparato llamado *prensa hidráulica*, que en su parte esencial se compone de dos vasos comunicantes de secciones desiguales; en el menor de ellos actúa un pequeño émbolo *p* que, al levantarse, permite que el agua del depósito *C* pase por la válvula **v** a la parte inferior del cilindro citado (1) (fig 73).

Cuando el émbolo *p* baja, la válvula **v** se cierra, y comprime el líquido; entonces la válvula **v'** se abre, el líquido pasa al segundo vaso de mayor sección que el anterior, y levanta al émbolo *P*. Este lleva una plataforma en su parte superior que resbala entre dos soportes, sobre los cuales va una cubierta resistente, sólidamente apernada a los sostenes. Entre la plataforma y la cubierta se colocan los objetos que se quieren comprimir o aprensar.

De acuerdo con las leyes de las palancas y del principio de Pascal, se puede calcular la presión total que soporta el émbolo *P*.

Usos.—La prensa hidráulica se usa para comprimir lanas, fardos de algodón, etc.; en la extracción de aceites y jugo de la caña de azúcar y betarraga; para la perforación de planchas metálicas; en las fábricas de fideos; en la acuñación de monedas; en la fabricación de briquetas de carbón y de baldosas de composición y para probar la resistencia de vigas de acero y calderas. La resistencia de estas últimas se hace llenándolas de agua y poniéndolas en comunicación con el tubo *K* de la prensa (fig 73).

Otra aplicación de la prensa hidráulica la encontramos en

---

(1) *El funcionamiento de las válvulas de este aparato y la entrada y salida del agua se comprenderá mejor al estudiar las bombas.*

los ascensores hidráulicos (fig 74). El agua entra por *m* a un depósito *C* que hace subir el pistón *P*, y con éste al carro *A*. Para hacer entrar el agua, basta abrir la válvula *v* que funciona por medio de la cuerda *t t c c*, quedando en la posición 74 (a) Cuando se quiere bajar, se tira la cuerda *cc* que coloca la válvula v en la posición 74 (b). El agua, por el peso del carro, sale, y este último, baja.

§ 4. Presión y fuerza sobre el fondo.—Si se toma un

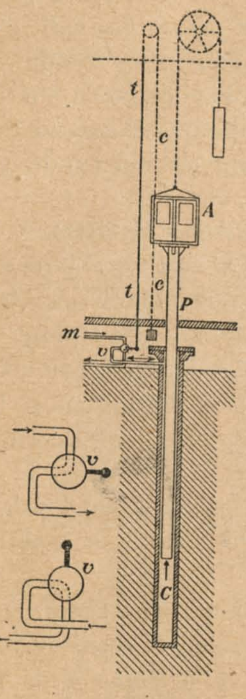


Fig. 74 (a)

Fig 74 (b)

Fig. 74.

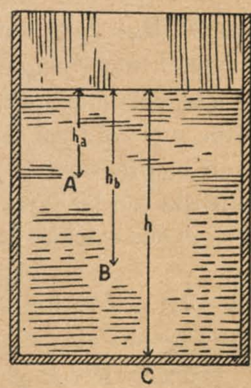


Fig. 75.

vaso de paredes verticales, llêno de agua (fig 75), y se considera un punto *A* de la masa de este líquido, el vaso soportará una presión igual al peso de la columna líquida que tiene por altura la que hay desde este punto a la superficie. Si se considera un punto *B* a mayor profundidad, la presión será igual al peso de la columna líquida que hay de aquí a la superficie, y por fin, si consideramos un punto *C* en el fondo, la presión es igual al peso de la columna total del fondo al nivel. Como consecuencia, resulta *que la presión aumenta proporcionalmente con la profundidad.*

Si tomamos ahora el mismo vaso, lleno hasta la misma altura, pero con otro líquido, como por ej., mercurio, es claro que los puntos *A, B, C,* soportarán presiones mayores, puesto que el mercurio es más pesado que el agua. De esto se infiere que las presiones, además de depender de la altura, son funciones de la naturaleza del líquido. La variación de la presión ocasionada por la naturaleza del líquido, se determina conociendo la *densidad* de él, idea que desarrollaremos en el capítulo correspondiente.

Si se ejecutan las experiencias indicadas, con mercurio, las presiones que soportan los puntos *A, B, C* son 13,6 veces mayores que las que soportaban los mismos puntos en el caso del agua.

Si el mismo vaso se llena con glicerina, los puntos *A, B, C* soportarán una presión 1,26 veces mayor que las sufridas en el caso del agua (1). Si en lugar de considerar un punto, tomamos en cuenta todo el fondo del vaso, la presión que éste soporta será igual al peso total del líquido; luego las presiones que un líquido ejerce a una profundidad cualquiera, son directamente proporcionales *a las profundidades y a las densidades del líquido.*

Puesto que la presión en los líquidos se expresa por cm^2, si consideramos un vaso de paredes verticales, cuyo fondo tiene 1 cm^2 de superficie y llenamos este vaso de agua, hasta una altura de 20 cm a partir del fondo, tendremos una masa de agua de 20 cm^3 que pesará 20 gramos y una fuerza igual que obrará sobre el fondo. Si en vez de agua, se coloca mercurio, los 20 cm^3 de mercurio pesarán 13,6 veces más, o sea $20 \cdot 13,6 = 272$ gr; luego la presión P por cm^2, expresada en *gramo-peso*

---

(1) *13,6 y 1,26 son las densidades del mercurio y de la glicerina respectivamente. En adelante a este valor lo denotaremos por d.*

se obtendrá, en el caso de cualquier líquido, multiplicando la altura h por la densidad d, llegando así a la fórmula general:

$$1) \quad \mathbf{P = hd} \text{ gr-peso}$$

La presión total que soporta un fondo de **q** cm² por una masa líquida de densidad **d**, que se eleva a **h** cm del fondo será

$$2) \quad \mathbf{P_{total} = hdq \text{ gr-peso}}$$

Si se desea expresar la presión en dinas, basta multiplicar la presión expresada en gr-peso, por g=979,5 dinas, que es el número de dinas que tiene un gramo-peso.

La presión expresada en dinas está dada por la fórmula

$$3) \quad P = hdqg \textit{ dinas}$$

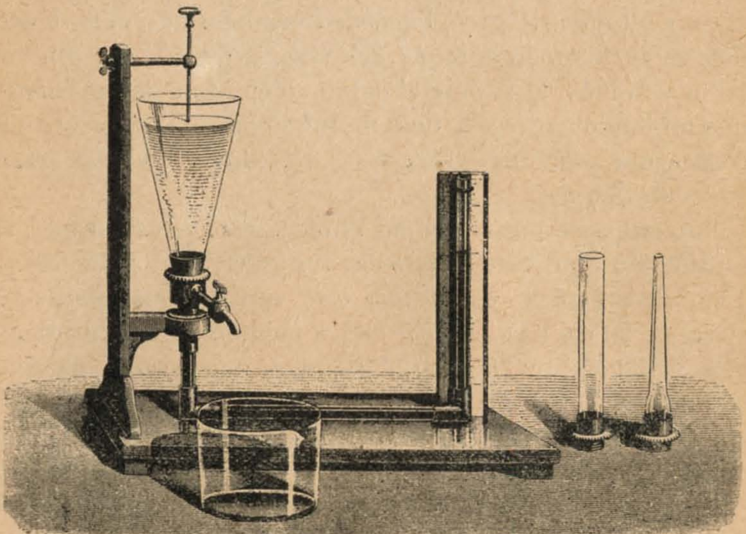


Fig. 76.

De la fórmula 2), se desprende que la presión depende de la altura, de la densidad y del fondo comprimido, siendo *independiente de la forma del vaso,* y por consiguiente de la *cantidad de líquido.* Esto se demuestra experimentalmente por medio del aparato de Haldat (fig 76).

Este aparato se compone de un tubo acodado de vidrio, que termina por una guarnición metálica, sobre la cual se pueden atornillar vasos de distinta forma.

El tubo acodado en ángulo recto, contiene mercurio. En seguida se atornilla sobre la guarnición, uno de los vasos, y se llena de agua hasta cierta altura que se marca con una varilla que existe en la parte superior. La presión de esta agua, hace subir el mercurio en el tubo, y la escala que hay en él, mide la altura a que se eleva el mercurio. Si se reemplaza el vaso que lleva el aparato, por otro de los señalados en el grabado y se coloca agua hasta la misma altura que en el caso anterior, se nota que el mercurio sube en el tubo de la derecha hasta el mismo punto. Resulta de este experimento, que la presión

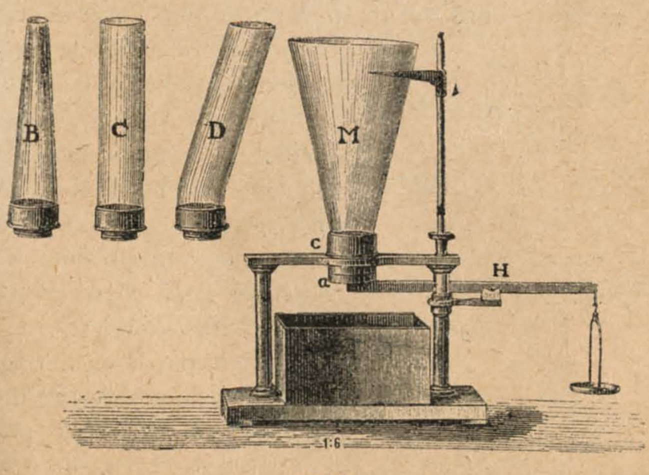


Fig. 77.

ejercida sobre la superficie del mercurio es independiente de la forma del vaso que contiene el agua.

Se puede obtener el mismo resultado, usando el aparato de la (fig 77). En este caso, la presión del agua contenida en el vaso *M*, ya no se ejerce sobre una columna de mercurio, como en el aparato de Haldat, sino sobre un pequeño disco u obturador *a*, que tapa un tubo *C* en el cual está atornillado el vaso *M*. El disco *a* se encuentra en el extremo de una palanca, *H*, y el otro tiene un platillo, sobre el cual se ponen pesas hasta que se equilibren con la presión que ejerce el agua sobre el obturador. Vaciando entonces el vaso *M*, se le desatornilla y se pone en su lugar el tubo *B*, *C* o *D*. Se llena de agua hasta la misma altura, y se ve que la presión es igual a la del vaso *M*.

§ 5. **Presiones laterales.**—Según el principio de Pascal, la presión ejercida en un punto de una superficie líquida, se transmite en todo sentido; de esto se desprende que una pared lateral sufre la misma presión que una horizontal, siempre que tenga la misma superficie y la misma distancia vertical.

En general, si nos imaginamos un líquido encerrado en un vaso de cualquier forma, de paredes planas o curvas, horizontales u oblicuas (fig 78), en virtud del peso del líquido todos los puntos de la pared deben experimentar cierta presión. La experiencia prueba que esta presión *es perpendicular a la pared del vaso* y *dirigida hacia el exterior.*

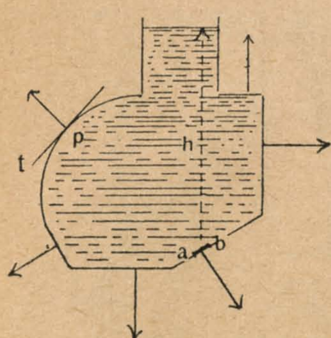


Fig. 78.

Cuando la pared es horizontal, la presión se ejerce verticalmente; si la pared es vertical, la presión se ejerce horizontalmente. Si la pared es curva, como en el punto *P* (fig 78), la presión es perpendicular al plano tangencial a la pared en dicho punto.

Supongamos, por último, una pared oblicua, *ab*, de superficie *s* (fig 78) que esté a una profundidad *h* del nivel del líquido, la presión *P* en esta pared será:

$$1)\ \mathbf{P = hds}$$

Como las presiones aumentan con las profundidades, las paredes tendrán que efectuar una reacción más grande para resistirlas. De aquí se explica el gran espesor dado a las paredes inferiores de los malecones y diques, hechos para resistir grandes presiones.

§ 6. Presiones simultáneas sobre el fondo y las paredes de un vaso.—En un vaso de paredes verticales, la presión sobre el fondo es igual al peso del líquido; en uno de mayor boca que fondo, la presión es menor que el peso del líquido, y en uno de mayor fondo que boca, la presión es mayor que el peso del líquido. Lo expuesto parece a primera vista un absurdo; pero se explica fácilmente, si consideramos las *presiones simultáneas que el líquido ejerce sobre el fondo y las paredes del vaso.*

Los vasos *A*, *B* y *C* (fig 79) tienen el mismo fondo y contie-

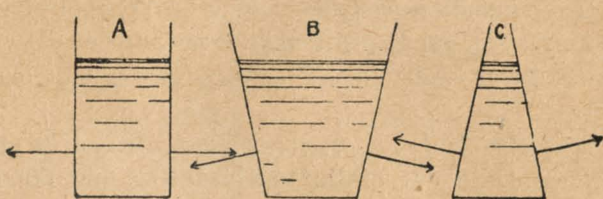


Fig. 79.

nen líquido hasta la misma altura, por consiguiente, la presión sobre el fondo será la misma; como ya lo hemos demostrado experimentalmente (aparato de Haldat). Sin embargo, pesando los vasos, el *B* pesará más, puesto que tiene mayor cantidad de líquido; lo que parece estar en contradicción con la igualdad de presiones que estos tres vasos sufren sobre el fondo, *(paradoja hidrostática)*; pero si pensamos que el peso total, **P**, del líquido, debe ser siempre igual a la suma algebraica **K**, de las presiones sobre las paredes del vaso.

$$\text{I)}\ \Sigma \mathbf{K} = \mathbf{P}$$

Esta aparente contradicción tiene una explicación muy sencilla.

En el vaso *A*, la balanza mide *únicamente la presión sobre el fondo*, que es igual *al peso del líquido*, por cuanto las presiones laterales perpendiculares a las paredes del vaso, se destruyen por la resistencia de aquéllas. En el vaso **B**, la balanza no sólo mide la presión *sobre el fondo*, sino que *agrega* a ésta la *resultante* de las presiones laterales, que van dirigidas hacia abajo, *aumentando* el peso. La presión sobre el fondo, es igual que en el caso anterior, puesto que las presiones laterales se destruyen por la resistencia de las paredes del vaso.

En el vaso **C**, la balanza no mide la presión sobre el fondo, sino un *valor menor*; pues, las presiones laterales van dirigidas hacia arriba, *disminuyendo* así el valor de la presión sobre el fondo. No tomando en consideración estas presiones laterales, que se destruyen por la resistencia de las paredes del vaso, la presión sobre el fondo en este caso es igual a la de los vasos anteriores.

Por la existencia de las presiones laterales se puede explicar el funcionamiento **del molinete hidráulico**, (fig 80), que se compone de un vaso **M** movible en torno de un eje *C* vertical. El vaso lleva en su base un tubo horizontal acodado en distintos sentidos. Si se llena de agua el vaso *M*, se pone en movimiento giratorio en sentido contrario al de la salida del líquido. Para explicar este movimiento, suponemos cerradas las aberturas O y O', ejerciendo el líquido en éstas, presiones perpendiculares p y q equilibradas por las p' y q' iguales y de sentido contrario; al salir el líquido por los orificios, desaparece la acción de la pareja pq, y queda actuando sólo la $p'q'$, que produce la rotación del aparato en sentido contrario la derrame.

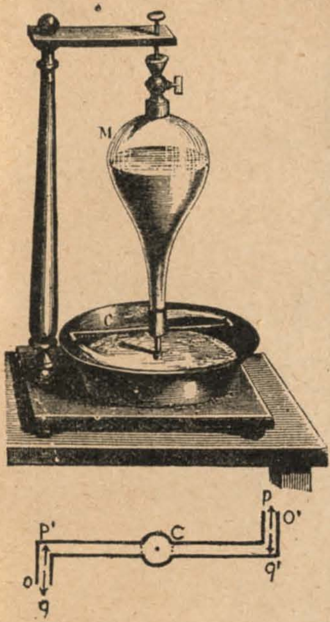


Fig. 80.

Problemas

1. *Se tiene un vaso de latón de 2 kg-peso* (fig 81) *cuyo fondo rectangular es de 50 · 40 · 10 cm y termina por un tubo adicional de 1 m de altura. Se pregunta:*

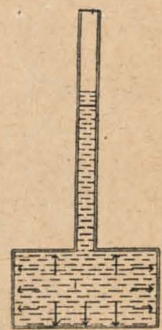


Fig. 81.

a) *¿Cuánto pesa el agua?*

b) *¿Qué presión ejerce ésta sobre el fondo?*

c) *¿Qué cuesta menos sostener, el vaso con agua o la presión que ejerce el líquido sobre el fondo?*

d) *¿Qué presión soporta cada cm^2 de la tapa superior del vaso y que presión soporta el fondo?*

2. *¿Qué presión total soporta un cm^2 colocado horizontalmente a una profundidad de 1, 5, 10, 15 cm de una superficie de agua destilada ($d = 1$)?*

3. *¿Qué presión soporta un* cm^2 *de la pared de un muro vertical en un baño de natación, si su distancia al nivel es de 1,65 m?*

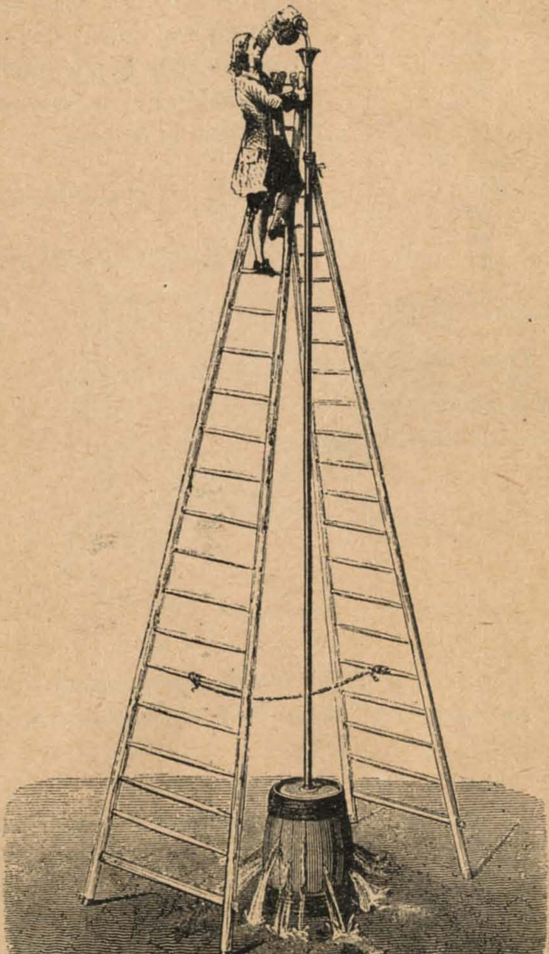


Fig. 82.

4. *¿Que presión soportará el fondo de un barril* (fig. 82) *de 1 m de altura, si su base tiene una superficie de 350 cm², y si el tubo por el que se deja caer agua se eleva sobre la tapa superior a 3,60 m? (Suponemos el barril y tubo lleno de agua).*

5. *El sondaje del mar se hace bajando una especie de bomba de presión. Cuando ésta marca* $1{,}3\left[\frac{kg\text{-}peso}{cm^2}\right]$, *¿a qué profundidad ha llegado el aparato, si la densidad del agua del mar es de 1,026?*

6. *¡Indíquese un método para medir la presión del agua potable que sale de una llave!*

7. *Consideremos una misma casa de varios pisos, con sus respectivas llaves de agua potable en cada piso. ¿En qué llaves saldrá el agua con mayor presión?*

8. *En un edificio de varios pisos hay dos llaves, en que el agua sale con las presiones de* $15\left[\frac{kg\text{-}peso}{cm^2}\right]$ *y* $14\left[\frac{kg\text{-}peso}{cm^2}\right]$, *respectivamente, ¿cuál es la diferencia vertical entre las dos llaves?*

9. *Encontrar la fuerza total con que el agua presiona una compuerta colocada en la pared del muro, que sirve de desagüe a un baño de natación, estando su centro de gravedad a 1 m de la superficie, y siendo sus dimensiones de 30 · 40 cm.*

10. *¿Soportará la compuerta la misma presión, si en igualdad de circunstancias se coloca en un gran lago?*

11. *Una ballena suele sumergirse, cuando es herida por un arpón, hasta 732 m. Si el cuerpo tiene 19 m de largo y una circunferencia media de 6 m de ancho, ¿qué presión total soporta?*

12. *El fondo de un buque ha sido perforado en una extensión de 20 cm². Si la línea de flotación está a 7 m de distancia vertical del orificio, ¿qué fuerza se necesita ejercer sobre un tapón que cierra el orificio, para impedir que el agua penetre?*

13. *Una botella de agua puede reventar, si se le da un golpe fuerte en la tapa, que está en contacto con el líquido, ¿por qué?*

14. *Si la superficie interior de una botella llena de agua es de 200 cm², y la sección del corcho es de 4 cm², ¿qué fuerza total actúa en su superficie interna, cuando a la tapa se le da un golpe de 5 kg-peso?*

15. *Una caja cúbica de 10 cm de arista está llena hasta la mitad de mercurio (d=13,6), y en seguida de agua. Encontrar la fuerza total que soporta el fondo.*

16. *La fig. 83 representa un aparato conocido con el nombre de fuelle hidráulico, el cual puede emplearse para determinar la masa de un cuerpo. Se procede así: se llena el fuelle de agua y el tubo lateral, hasta cierta altura, y en seguida se coloca el objeto sobre la tapa C. Si ésta tiene 100 cm² de superficie y se echa agua en el tubo lateral hasta 80 cm sobre C. ¿Qué peso puede soportar el fuelle?*

Fig. 83.

17. *El pistón del émbolo pequeño de una prensa hidráulica tiene una sección de 8 cm², y sobre este se ejerce, por medio de una palanca, una fuerza de 20 kg-peso. Si el pistón del émbolo mayor soporta, a causa de la palanca, 10 000 kg-peso. ¿Cuál es la sección de este último?*

18. *Un hombre mueve una prensa hidráulica, empleando una fuerza muscular de 15 kg peso; el brazo de la palanca en que hace actuar su fuerza es 6 veces el de la resistencia; y la superficie del émbolo mayor es 60 veces la del menor. ¿Qué presión soporta el émbolo mayor?*

CAPITULO II

Los vasos comunicantes y sus aplicaciónes

Los vasos comunicantes son unos recipientes unidos por conductos, a través de lo cuales pueden pasar los líquidos de los unos a los otros.

§ 1. Equilibrio de un mismo líquido o de líquidos que se mezclan en vasos comunicantes.—Consideramos los vasos comunicantes de la fig. 84 con un mismo líquido hasta alturas que trataremos de determinar. Supongamos que el líquido en estos vasos, después de cierto tiempo, quede en equilibrio. Consideremos los puntos extremos *e* y *o* del conducto de comunicación. Es evidente que el líquido estará en equilibrio, cuando estos puntos *se encuentran igualmente presionados;* por que si así no fuera, el líquido correría del punto de *mayor presión* al de *menor*.

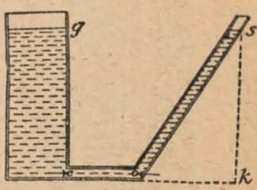


Fig. 84.

De acuerdo con el principio de Pascal y con la fórmula $P = hd$ (§ 4, capt. I), la presión en el punto **e** es: **eg . d**, presión que movería el líquido hacia *O*, obligándolo a subir en el otro vaso si no existiera en **O** una presión igual y contraria. La presión en el punto *O* es: **sk . d**.

La condición de equilibrio se encuentra igualando estas presiones:

$$eg \cdot d = sk \cdot d$$

Ahora como las densidades son iguales, resulta:

$$1) \quad eg = sk$$

La condicion 1), expresada en palabras, dice: para que un mismo líquido se encuentre *en equilibrio en vasos comunicantes, es necesario que sus superficies libres coincidan con un mismo plano horizontal.*

La fórmula anterior también se verifica, cuando se mezclan dos líquidos capaces de formar un líquido de densidad homogénea, por ejemplo: agua y alcohol.

§ 2. Equilibrio de dos líquidos que no se mezclan, en vasos comunicantes.—En un vaso comunicante (fig 85) vertemos mercurio, y después agua, en una de las ramas *AB*. Como la columna de agua *AB* ejerce en *B* una presión sobre el mercurio, el nivel de éste desciende en la rama *AB*, y sube en la otra, cierta cantidad *CD*. Ahora, si suponemos establecido el equilibrio, y consideramos trazado por *B* un plano horizontal *BC*, la columna de agua *AB* equilibra a la de mercurio *DC*. Midiendo entonces las alturas *DC* y *AB* con las escalas fijas que llevan los tubos, resulta que la primera es 13,6 veces menor que la segunda; número que expresa la densidad del mercurio, con respecto a la del agua que tomamos como unidad.

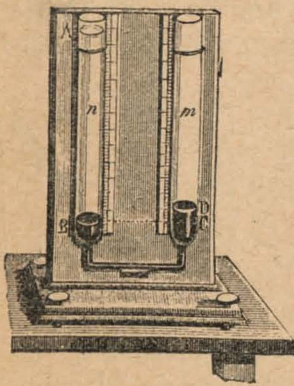


Fig. 85.

El experimento anterior nos dice que dos líquidos de *diferentes densidades sólo están en equilibrio cuando sus alturas están en razón inversa de sus densidades.*

Claro está, pues, que debiendo ser iguales las presiones sobre una misma capa horizontal *BC*, no puede realizarse este resultado mientras no se gane en altura lo que se pierde en densidad.

Si designamos por h_a y h_m las alturas de los líquidos, agua y mercurio, que se hacen equilibrio y por d_a y d_m sus respectivas densidades, tenemos que, la condición de equilibrio expresada matemáticamente es:

$$1)\quad h_a \cdot d_a = h_m \cdot d_m$$

La fórmula 1) también se puede escribir:

$$2)\quad \frac{h_a}{h_m} = \frac{d_m}{d_a}$$

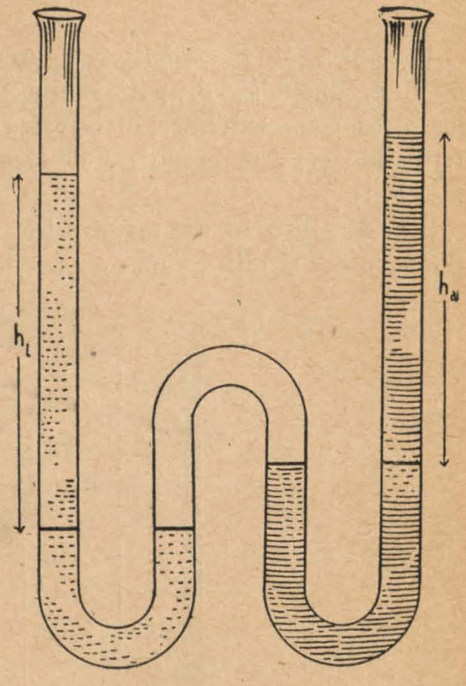


Fig. 86.

Cuando se tienen dos líquidos que se mezclan, y se quiere equilibrarlos sin que se junten, se usa un tubo (fig 86), colocando en uno agua y en el otro alcohol, se tienen dos columnas líquidas; separadas por una de aire, en la curva central. Las alturas libres que se equilibran son h_a y h_l. Basándonos en el principio que dice que las alturas están en razón inversa con sus densidades, tenemos la fórmula

$$\frac{h_a}{h_l} = \frac{d_l}{d_a}$$

Estas fórmulas se utilizan para determinar la densidad de los líquidos, ya sea que éstos se mezclen o nó.

$$d_l = \frac{h_a}{h_l} \cdot d_a.$$

Fórmula que se obtiene de 1) procurando que los factores de un producto, $h_a \cdot d_a$, por ejemplo, queden como medios y los otros como extremos, o viceversa, de la proporción 2) y formando en ésta productos de medios y extremos obtenemos la 1).

§ 3. Equilibrio de un líquido en un solo vaso.— Supongamos al hilo a plomo suspendido sobre una superficie

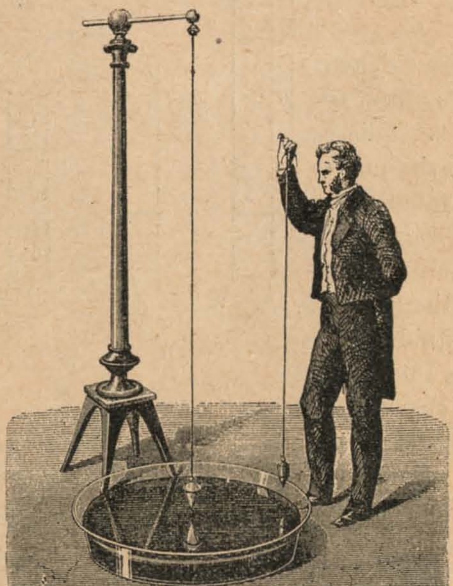


Fig. 87.

líquida en reposo, por ejemplo, sobre un baño de mercurio en el que se refleje la imagen de aquél. Se verá que la plomada y su imagen coinciden en una línea perpendicular o normal a la superficie del líquido (fig. 87).

Además de la demostración experimental que hemos dado, se puede evidenciar teóricamente *que la superficie de un líquido en equilibrio, debe ser perpendicular en cada uno de sus puntos a la dirección de la fuerza de gravedad, es decir, debe ser horizontal.*

Supongamos que la superficie no fuera horizontal, (fig 88), la partícula *m* se encontraría entonces sobre una especie de plano inclinado líquido, y la fuerza *g* vertical que solicita a esta molécula, se podría descomponer en dos fuerzas: una *md* perpendicular a la superficie líquida, y otra *mc* tangencial a esta superficie, que tendría por objeto hacer resbalar la partícula *m* hasta que su pequeña superficie quedara horizontal.

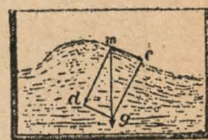


Fig. 88.

Las superficies líquidas de pequeña extensión son planas, porque las verticales de todos sus puntos se pueden considerar como sensiblemente paralelas; no así las superficies de grandes extensiones de agua, como ser los mares.

Además de la condición desarrollada, para que un líquido esté en equilibrio en un vaso, necesita que *cada partícula experimente en todos sentidos presiones iguales y contrarias.*

Esto es evidente, porque si alguna molécula no estuviera igualmente comprimida en todas direcciones, obedecería a la fuerza mayor, y se pondría en movimiento siguiendo la dirección de ésta.

De lo expuesto resulta que una capa *horizontal cualquiera de un líquido*, debe soportar una presión de *abajo hacia arriba* igual al peso de la columna líquida que descansa sobre esta capa; porque, como ya sabemos, esta es la presión que soporta de *arriba hacia abajo* una capa cualquiera de líquido. La existencia de la presión de *abajo hacia arriba* en una capa cualquiera de un líquido, se comprueba fácilmente *suprimiendo* la presión de arriba hacia abajo, por medio de un cilindro de vidrio *A* (fig 89) provisto de un disco u obturador movible que le sirve de fondo. Sujetando aquél al extremo inferior con un hilo *C;* se introduce tubo y obturador en el agua, se suelta luego el hilo, y se nota que para sumergir el cilindro, se necesita hacer alguna fuerza; lo que prueba que el líquido ejerce una presión o *empuje* de abajo hacia arriba que mantiene el obturador adherido a los bordes del cilindro, impidiendo que el agua se introduzca en él. Suprimida así la presión hacia abajo; si pasamos a echar agua en el tubo, el equilibrio persistirá mientras el nivel interior esté más bajo que el exterior; pero en el momento en que haya igualdad entre los niveles, o, mejor dicho, un poco antes de que esto ocurra, el disco cederá a causa de su peso y quedará también roto el equilibrio. Se obtenderá siempre el mismo resultado, cualquiera que sea la profundidad a que se sumerja el cilindro. De aquí se deduce que: *la presión ejercida en un punto cualquiera de la misma capa horizontal de un líquido en equilibrio, bajo la sola acción de la gravedad, es constante, y se mide por el peso de una columna líquida que tenga por base el elemento de superficie comprimido, y por altura la profundidad vertical de la capa.*

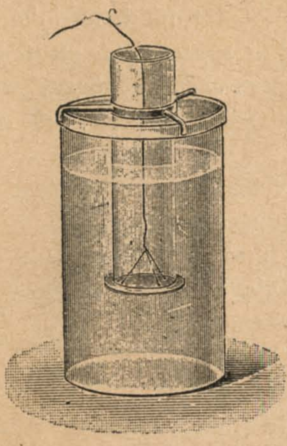


Fig 89.

§ 4. **Equilibrio de liquidos superpuestos en un solo vaso.**—Si en una misma vasija se introducen líquidos de densidades diferentes y no susceptibles de mezclarse, como por ejemplo, mercurio, agua y aceite; estos líquidos se demarcan por orden de sus densidades (fig. 90). Además, cuando se establece el equilibrio, las superficies de separación son planas y horizontales. Este caso práctico podría preverse por el raciocinio, porque requiriendo un líquido aislado para equilibrarse, según hemos visto, que su superficie sea horizontal, este equilibrio no se rompe cuando la superficie soporta además en todos sus puntos las presiones provenientes del líquido superpuesto.

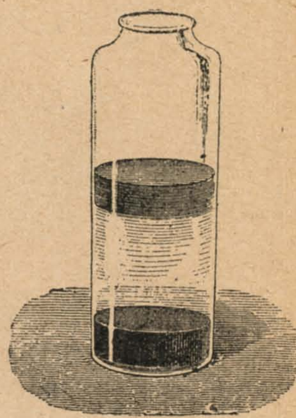


Fig. 90.

Mediantes algunas precauciones se pueden equilibrar dos líquidos de densidad casi igual, poniendo el más pesado en la parte superior; pero entonces el equilibrio es inestable, y la menor agitación restablece el orden de las densidades.

El agua de mar es más pesada que la dulce; este es el motivo de que en los *fiords* o golfos de Noruega se vean masas de agua dulce llevadas por los ríos, manteniéndose sobre el agua salada, sin mezclarse con ella. Algunas de estas masas de agua dulce tienen espesores de 1 m. Semejante fenómeno no es posible sino en los lugares tranquilos, pues la agitación causada por los vientos, mezcla pronto el agua dulce con la salada. Se ha observado el mismo fenómeno en el Támesis, donde las mareas llevan el agua del mar a una distancia bastante grande por el lecho del río.

§ 5. **Aplicaciones de los vasos comunicantes.** — Los vasos comunicantes encuentran numerosas aplicaciones en la práctica, siendo la más importante la distribución del agua potable en las ciudades.

La (fig 91) ilustra la manera cómo una ciudad se provee de agua potable de un manantial lejano. El acueducto del lago *a* puede pasar bajo un camino *r*, una laguna *b*, una colina *H*, y llegar así a un receptáculo *e*, del cual, por medio de una bomba *p*, se hace subir a un depósito *P*, que distribuye el agua entre las diferentes casas de la ciudad.

Si todo el sistema se encuentra en reposo, el nivel del agua

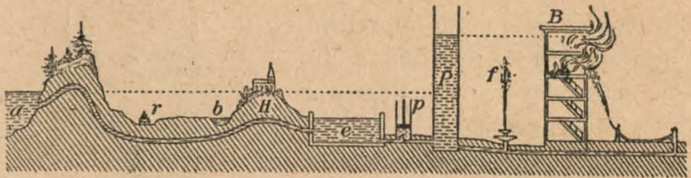


Fig. 91.

en *e* debe ser el mismo que en *a*, y el nivel en los tubos principales del edificio *B* debe ser el mismo que en el depósito *P*. Pero cuando el *agua corre*, ya sea porque se abre una llave o se rompe la cañería principal, para instalar un juego de agua

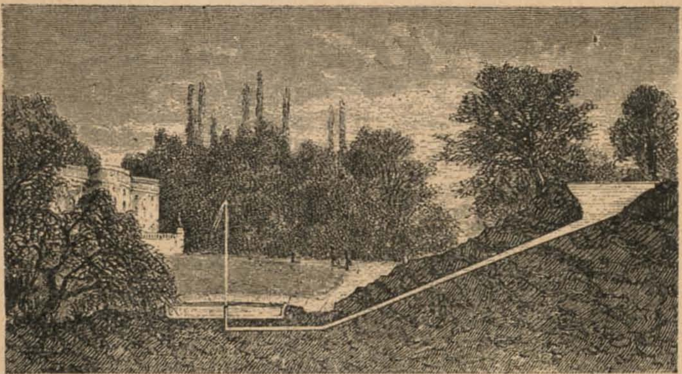
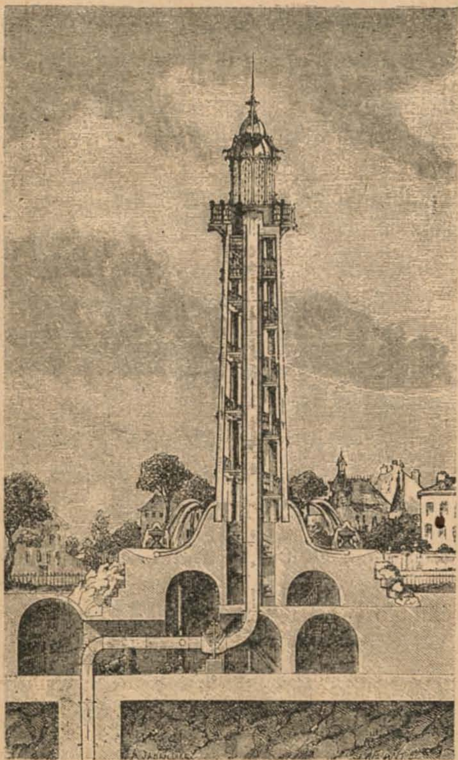


Fig. 92.

cualquiera (fig 92), el nivel no es el mismo, sino un poco más bajo que en el depósito, a causa del roce del agua contra los tubos, del aire contra el chorro de agua y de la energía que se tiene que gastar en dar al agua cierta velocidad.

Otra aplicación de los vasos comunicantes y del Principio de Pascal, la encontramos en los **pozos artesianos,** llamados así por el nombre de una provincia de Francia, el Artoís,



Pozo artesiano de París.

donde, según parece, se dedicaban los habitantes más especialmente a buscar agua subterráneas. El pozo más antiguo de Francia, data del año 1126 y se encontraba en un convento de Cartujos en Lillers (Artois).

Así pues, un pozo artesiano no es más que una perforación de sonda abierta a través de las capas superiores del suelo que, a profundidades variables, según los terrenos, va a encontrar una capa de agua subterránea aprisionada entre capas de rocas impermeables. Para que el agua suba por el pozo, *basta que entre el punto a donde ha llegado la sonda y el nivel de la sábana líquida a cualquier distancia; haya cierta diferencia de altura.* Tenemos un ejemplo en el corte geológico representado en la (fig 93).

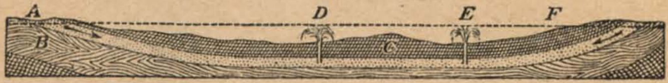


Fig. 93.

La estrata *A* se compone de materiales porosos, tales como arena, ripio, rocas quebradas, a través de las cuales el agua puede penetrar fácilmente.

Encima y debajo se encuentran las estratas *C* y *B*, de materias impermeables, tales como arcilla, pizarra, etc.

El lecho poroso *A* se llena de agua que penetra por las aberturas con que dicha capa termina en la superficie.

Cuando se perfora la capa *C* hasta *A* el agua salta con fuerza a recuperar su nivel. En Leipzig (Alemania) existe un pozo de 1 749 m de profundidad. En el desierto de Sahara existen muchos que sirven de abastecimiento a los viajeros. Los pozos artesianos son de una utilidad inmensa en aquellos países en que falta el agua, donde la lluvia se desconoce, por decirlo así, o donde sus escasos ríos están constantemente secos.

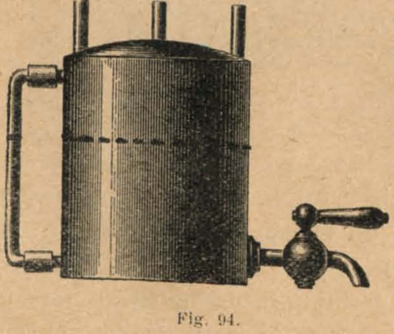


Fig. 94.

Por iniciativa del gobierno francés se han abierto al sur de

Argelia; numerosos pozos que han ido a librar a aldeas que estaban amenazadas de inminente ruina.

Indicador de agua de las calderas.—Este aparatito es un simple tubo adicional, que forma con la caldera un vaso comunicante, e indica el nivel del agua en aquélla (fig 94).

Problemas

1. *En un vaso comunicante se ha colocado agua y aceite; las alturas de las columnas líquidas que se hacen equilibrio son de 35 cm y 38 cm respectivamente. ¿Cuál es la densidad del aceite si tomamos la del agua igual a la unidad?*

2. *En una de las ramas de un tubo en U se echa mercurio hasta una altura de 18 cm, y en la otra se vierte cierto líquido hasta 56 cm, se pide la densidad de este líquido con relación al mercurio y al agua, sabiendo que los líquidos se hacen equilibrio en el tubo.*

3. *Si la presión del agua en la cañería principal de una ciudad es de 30* $\left[\frac{kg\text{-}peso}{cm^2}\right]$ *¿a qué altura sobre la ciudad se encuentra el depósito?*

4. *El diámetro del pistón elevador de un ascensor hidráulico es de 50* cm^2 *y se desliza con un rozamiento del 30% de pérdida de la fuerza que se aplica. ¿Qué carga soportará, si el agua que lo eleva posee una presión de 20* $\left[\frac{kg\text{-}peso}{cm^2}\right]$*?*

Fig. 95.

5. *50 años atrás, los depósitos distribuidores de agua potable en los fundos eran cilindros de igual diámetro, hoy día tienen la forma de la fig 95 ¿qué ventaja tienen éstos sobre los primeros?*

CAPÍTULO III

El principio de Arquímedes y sus aplicaciones

§ 1. Empuje de los cuerpos.—Nadie ignora que cuando se sumerje en el agua un cuerpo más ligero que ella, como ser, un pedazo de madera o de corcho, es menester cierto esfuerzo para mantenerlo bajo la superficie. Esto prueba que el líquido ejerce *una presión o empuje* de abajo hacia arriba. Si a un cuerpo de éstos, a un corcho, por ejemplo, se le deja abandonado a tal presión, casi instantáneamente se eleva en dirección vertical y sale a la superficie, para flotar en ella, en parte sumergido y en parte fuera del agua.

La experiencia diaria muestra que es más fácil levantar una piedra dentro del agua que fuera de ella, y esto, porque en el primer caso nos ayuda el empuje, lo mismo que cuando sostenemos nuestro propio peso en un baño presionando ligeramente el fondo con los pies o apoyándonos en un objeto exterior.

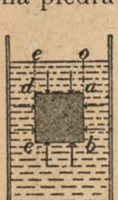
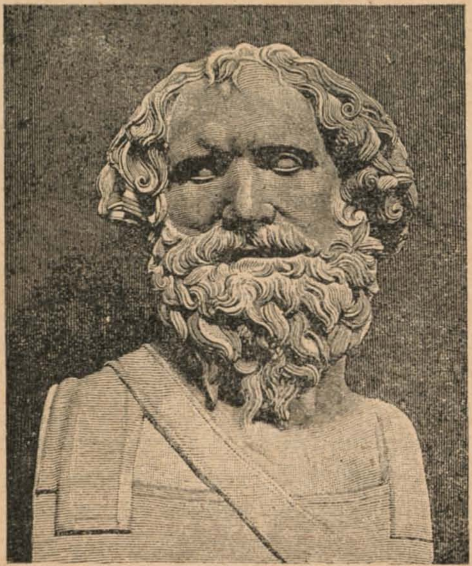


Fig. 96.

Consideremos ahora, para mayor comodidad, que el cuerpo sumergido en el líquido sea un cubo de caras laterales verticales, y estudiemos el valor de las presiones con que el líquido actúa sobre él, (fig 96). Es claro que las caras laterales sufren presiones idénticas, porque *presentan igual superficie a igual profundidad.*

El cubo *abcd*, en su cara inferior *cb* soporta una presión *hacia arriba* igual al peso de la columna líquida *obce* puesto que en este caso, lo mismo que en el experimento descrito en la figura 89, eliminamos la presión hacia abajo que el líquido ejercería sobre dicha cara, al no existir el resto del cuerpo. La cara superior *ad* soporta una presión *hacia abajo,* igual al peso de la columna líquida *oade,* que descansa sobre esta cara.



Arquímedes (287-212 A. J.)
(Busto del Museo de Nápoles)

Célebre geómetra de la antigüedad, que vivió en Siracusa de Sicilia; fué él quien determinó el número π y el area del círculo; descubrió las leyes de las palancas y de la flotación. A propósito de las palancas dijo: «Dadme un punto de apoyo y os moveré el mundo entero». Inventó varios aparatos mecánicos para repeler a los romanos que sitiaban a Siracusa. En la toma de esta ciudad, dibujaba sobre la arena algunas figuras geométricas cuando fué herido por un soldado romano, a quien gritó, antes de morir, «No destruyas mi círculo».

Como la presión hacia arriba es *mayor* que la presión hacia abajo en el peso de la columna líquida *abcd desplazada por el cuerpo,* la resultante de las dos últimas fuerzas consideradas es una fuerza *hacia arriba igual al peso del líquido desplazado por el cuerpo.* Esta fuerza se llama **empuje,** y como se ve, depende sólo del *volumen del cuerpo* que se sumerja *y no de la* *profundidad* a que se encuentra sumergido. Depende también *de la naturaleza del líquido* en que se efectúa el hundimiento. Si en lugar de un cubo, hubiéramos tomado un cuerpo irregular cualquiera, lo habríamos descompuesto en una serie de pequeños cubos para los cuales habría regido la ley anterior, rigiendo también para la suma de ellos.

La resultante de las presiones que sufre un cuerpo sumergido en un líquido, es vertical, dirigida de abajo hacia arriba e igual al peso del volumen del líquido desalojado, encontrándose además aplicada en el centro de gravedad del líquido desalojado. Este punto de aplicación del *empuje* se llama *centro de presión.*

§ 2. **Principio de Arquímedes.**—Hiero, tirano de Siracusa, había ordenado a un joyero la confección de una corona; pero temiendo que éste hubiera reemplazado el oro que le había dado, por plata, en el interior, ordenó a Arquímedes comprobara si en realidad sus suposiciones eran fundadas; pero, sin destruir la corona que era en realidad una obra de arte.

Preocupado Arquímedes en buscar la solución, mientras se bañaba, notó que su cuerpo se sentía más ligero en el líquido, y repentinamente se le ocurrió que *todo cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso igual al peso del volumen del líquido que desaloja.*

Arquímedes, feliz, salió del baño y echó a correr por las calles de Siracusa, gritando ¡«Eureka, eureka»! (¡encontré lo que buscaba!)

Probablemente, Arquímedes, con aquella facultad tan común a los hombres de genio, llegó a la verdad de su conclusión sin pasar por una serie de pruebas lógicas que la posteridad se ha encargado de encontrar teórica y experimentalmente.

Demostración matemática del Principio de Arquímedes.—Ya hemos visto en el párrafo anterior que un líquido actúa sobre un cuerpo sumergido en él, con una fuerza hacia arriba, que aplica en el centro de presión, y que es igual al peso del líquido desplazado por el cuerpo, *el empuje.*

De aquí se desprende que un cuerpo sumergido en un líquido, está sometido a dos fuerzas: el peso P del cuerpo, que es una fuerza que tiende a llevarlo hacia abajo, y el empuje E que tiende a hacerlo subir; luego la resultante total R, estará dada por la fórmula:

$$\text{I)}\quad \mathbf{R = P - E},$$

fórmula que expresada en palabras da el principio de Arquímedes: «Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso, igual al peso del volumen del líquido que desaloja».

Demostración experimental del Principio de Arquímedes.—La demostración experimental de este principio, se

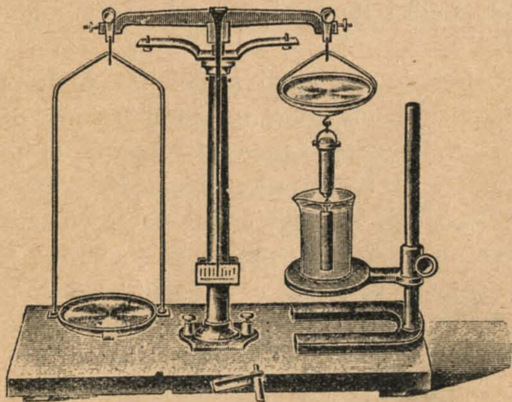


Fig. 97.

hace por medio de la balanza hidrostática (fig 97), que no es otra cosa que una balanza ordinaria. Uno de cuyos platillos lleva un gancho al cual se engarfia un cilindro hueco terminado a su vez por un ganchito del cual pende otro cilindro macizo que cabe exactamente en el primero; de modo que su volumen es igual a la capacidad del hueco.

Se equilibra este sistema y se introduce el cilindro macizo en un vaso de agua.

En el acto se ve que la balanza pierde el equilibrio, inclinándose del lado de las pesas. Si se llena de agua el cilindro hueco, se restablece el equilibrio, quedando así demostrado el Principio de Arquímedes.

De la prueba experimental, se desprende que se puede emplear el Principio de Arquímedes para determinar el volumen de un cuerpo, como lo veremos al tratar de las densidades.

§ 3. **Equilibrio de los cuerpos flotantes.**—De la variación que puedan tener las cantidades P y E en la fórmula $R=P-E$ se deduce:

I) Si $P>E$, es decir, si el cuerpo pesa más que el líquido que desplaza, se irá a fondo con un valor igual a la diferencia entre P y E.

II) $P=E$, si el peso es igual al del líquido desplazado, el cuerpo quedará entre dos aguas, suspendido dentro del líquido.

III). $P<E$. Si el cuerpo es más liviano que el líquido desplazado, entonces la fuerza ascencional $E-P$ hará subir el cuerpo a la superficie, teniendo así un cuerpo flotante.

Si se coloca un pedazo de corcho o de madera en agua, éstos flotan. Si se sumergen, suben a la superficie debido a que la fuerza que aplica en su cara inferior es mayor que su peso. Cuando el cuerpo alcanza a la superficie, la fuerza que aplica sobre su cara superior es *cero;* el cuerpo, sin embargo, continúa subiendo hasta que la fuerza aplicada en su cara inferior sea igual al peso del cuerpo. Como el empuje es igual al peso del líquido desalojado, o sea, al peso de la columna líquida *bcnm* (fig 98) llegamos a la siguiente condición de equilibrio para los cuerpos flotantes: *Un cuerpo flota, cuando el peso del líquido que desplaza es igual a su propio peso.*

Según las posiciones relativas que tengan los centros de gravedad y de presión, se distinguen tres clases de equilibrios para estos cuerpos.

Fig. 98.

1.° *Equilibrio estable.*—Cuando el centro de presión está sobre el centro de gravedad.

2.° *Equilibrio inestable.* — Cuando el centro de presión está bajo el centro de gravedad. Este equilibrio tiende a transformarse en estable.

Si se desvían los cuerpos flotantes de sus posiciones de equilibrio, se forma una pareja que obliga a los cuerpos a jirar. En el primer caso, lo vuelven a su posición de equilibrio; y en el segundo caso, lo invierten hasta dejar el centro de gravedad del cuerpo bajo el centro de presión.

3.° *Equilibrio indiferente.*—Este se verifica cuando los centros de gravedad y de presión coinciden. En cualquier posición que se coloque el cuerpo, permanecerá en ella; pues existen siempre dos fuerzas iguales y de sentido contrario, que se destruyen mutuamente.

El equilibrio estable de las naves, es el caso más importante de equilibrio de los cuerpos flotantes.

Cuando se construye un buque, se calcula que sus centros de gravedad y de presión queden muy cerca. Así, al cargar las bodegas que se encuentran en la parte inferior del buque, el centro de gravedad baja, alejándose del de presión, dando así al buque mayor estabilidad.

El peso del agua desplazada por el buque debe ser igual al peso total del buque con su carga. Se dice que un buque es de 1,000 toneladas, cuando cargado y sumergido hasta la línea de flotación, desplaza 1,000 toneladas de agua.

Problemas

1. *Si una balsa rectangular de 9.4 m se sumerge en 9 cm al subir en ella un elefante. ¿Cuál es el peso de éste?*

2. *¿Cómo es posible que pueda flotar un buque moderno de guerra, si su casco se hace casi enteramente de acero de paredes de 12 a 36 cm?*

3. *¿La línea de flotación de un buque sube o baja, cuando éste pasa del agua dulce a la salada?*

4. *¿Cuál es el volumen de un cuerpo hueco de acero que justamente flota (su superficie superior enrasa con el agua) si pesa 1 Kg?*

5. *¿Cuál es el volumen de una ballena que pesa 30 toneladas?*

6. *Si cada bote de un puente de balsas tiene 4 m de largo y 2,5 m de ancho ¿hasta qué punto lo hundirá una locomotora de 100 toneladas al pasar sobre él?*

CAPÍTULO IV

Densidad de los cuerpos

§. 1. Relación entre masa, volumen y densidad.— Cuando se pesan en una balanza, volúmenes iguales de sustancias distintas, tales como plomo, piedras, madera, etc., se encuentran masas distintas; de aquí la introducción del término *densidad*, para denotar *la masa de la unidad del volumen de una sustancia, en cualquier sistema de pesos.*

En el sistema *C*, *G*, *S*, la densidad del agua a 4° es *1 gr por* cm^3 : $\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$; puesto que se ha tomado como unidad de masa, la masa de agua destilada a 4° que llena 1 cm^3. Por otra parte, el peso de esta masa lleva el nombre de gr-peso.

Si no se expresa el sistema de unidades, debe entenderse como densidad de una sustancia, el *número de gramos que pesa 1* cm^3 *de ella.*

Problema

¿Cuál será la densidad de un bloque de fierro de 3.8.1 cm que pesa 177,6 grs?

Solución

Puesto que el volumen del bloque es de 24 cm^3*, la masa de 1* cm^3 *será igual al número de veces que 24 esté contenido en la masa del bloque 177,6 gr. La densidad es:* $\frac{177,6}{24} = 7,4\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$

De esto resulta que, si designamos la densidad por d, la masa por m, expresada en gramos, y el volumen por v, expresado en cm^3; se tiene la fórmula general:

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}.$$

$$\text{I)}\quad d = \frac{m}{v}.$$

Podemos decir que el volumen de un cuerpo es el número de cm^3 que mide; y la *densidad el número de gramos que pesa 1 cm^3;* luego, la *masa del cuerpo* se obtendrá *multiplicando el volumen por la densidad:*

$$\text{masa} = \text{volumen} \cdot \text{densidad}$$

$$\text{II)}\quad m = v \cdot d$$

La densidad del fierro, que se ha deducido del problema anterior, es 7,4 $\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$; y si se quiere averiguar la masa de un trozo del mismo metal de *100 cm^3*, nos bastará multiplicar, de acuerdo con la fórmula II), el volumen por la densidad: $m = 100 \cdot 7{,}4 = 740$ grs.

§ 2. **Diferencia entre densidad y peso específico.** —El término *peso específico*, lo confunden algunos autores con el de *densidad*, existiendo entre ellos diferencia.

Llámase **peso específico,** *la razón que hay entre el peso de un cuerpo y el peso de un volumen igual de agua a 4°.*

Si un volumen de fierro pesa 7,4 veces lo que uno igual de agua, su peso específico es 7,4.

Hemos visto que la densidad del fierro, en *C, G, S,* es 7,4 $\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$; de lo cual se desprende *que la densidad de un cuerpo expresada en* C, G, S, *tiene el mismo valor numérico que el peso específico;* de donde ha nacido probablemente la confusión entre estos dos términos.

El *peso específico es uno mismo en todos los sistemas de unidades*, puesto que expresa simplemente el número de veces que, en igualdad de volumen, un cuerpo es más pesado o más liviano que el agua.

La *densidad es diferente en los diversos sistemas de unidades*, puesto que expresa el número de unidades de peso por unidad de volumen, en el sistema respectivo. Así, por ejemplo, la densidad del fierro en el sistema *C, G, S*, es $7{,}4\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$, mientras que en el sistema inglés es *461 libras por pie cúbico;* por cuanto en este último sistema, la unidad de peso es la libra, y la unidad de volumen el pie cúbico; y un pie cúbico de fierro pesa 461 libras.

La densidad del agua, en el sistema inglés, es 62,4 ℔; porque un pié cúbico de agua destilada a 4° pesa este valor.

De acuerdo con lo expuesto, los ingleses obtienen el peso específico del fierro, dividiendo el peso de un pie cúbico de fierro por el peso de un pie cúbico de agua, o sea: $\frac{461}{62{,}4}=7{,}4$, valor igual al de la densidad en el sistema *C, G, S*.

Densidad de algunos cuerpos en C, G, S $\left[\frac{gr}{cm^3}\right]$

Al	= 2,58	bronce	= 8,5
Cu	= 8,9	vidrio	= 2,6
Au	= 19,3	corcho	= 0,24
Fe	= 7,4-7,86	glicerina	= 1,26
Pb	= 11,3	alcohol	= 0,79
Ni	= 8,9	ácido muriático	= 1,27
Pt	= 21,5	» nítrico	= 1,53
Ag	= 10,53	» sulfúrico	= 1,82
Sn	= 7,29	aceite de olivo	= 0,91
Zn	= 7,15	agua de mar	= 1,026
Hg	= 13,6	leche	= 1,02-1,04

§ 3. Método para la determinación de las densidades de los cuerpos sólidos en C, G, S. — De acuerdo con la fórmula que hemos desarrollado para la densidad:

$$d = \frac{m}{v}$$

La determinación de d exige el conocimiento de la masa que debe expresarse en gramos, y del volumen que ha de determinarse en centímetros cúbicos.

La determinación de m no ofrece ninguna dificultad; pues basta pesar el cuerpo en una balanza. En cuanto a la determinación del volumen, el método que se emplee *depende de la forma* y, en cierto modo, de la naturaleza del cuerpo (madera, fierro, azúcar, algodón); según esto, distinguimos varios casos:

A) **Cuerpos de forma geométrica.**—La Geometría indica el procedimiento de mediciones que hay que emplear para determinar el volumen; resultando así una fórmula especial para cada cuerpo geométrico.

1. *Un cubo.*—Se mide una arista a, y el resultado se eleva al cubo: $V_{\text{cubo}} = a^3$.

$$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{a}^3}$$

2. *Un cilindro.*—Se mide la altura h y el diámetro d de una de sus bases: $V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 h \left(r = \frac{d}{2}\right)$.

$$\mathbf{D}_{\text{cilindro}} = \frac{\mathbf{m}}{\pi \mathbf{r}^2 \mathbf{h}}$$

3. *Un paralelepípedo.*—Se miden sus tres aristas, a, b y c, que concurren a un mismo vértice: $V_{\text{p}} = abc$.

$$D_p = \frac{m}{abc}$$

4. *Una esfera.*—Se mide su diámetro d ($d=2r$): $V=\frac{4}{3}\pi r^3$.

$$\underset{\text{esfera}}{D} = \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3}$$

B) **Cuerpos de forma (1) irregular.**—1. *Cuerpos más pesados que el agua.*—Para determinar el volumen en este caso nos apoyamos en el *Principio de Arquímedes*, y he aquí una de las aplicaciones más importantes de este principio.

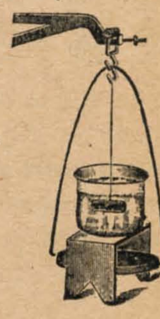


Fig. 99.

Se pesa primero el cuerpo en el aire, en seguida bajo el agua (fig 99); *la diferencia nos da el número de gramos de agua desplazada por el cuerpo* (*Principio de Arquímedes*), *y como cada gramo de agua destilada llena un centímetro cúbico,* el mismo número que se obtiene por la diferencia de pesadas en *gramos*, representa el volumen del cuerpo en cm^3.

Disposición

m_1 = peso del cuerpo en el aire
m_2 = » » » » agua
$m_1 > m_2$

$m_1 - m_2$ = peso del agua desplazada.

$$d = \frac{m_1}{m_1 - m_2}$$

(1) *De acuerdo con el programa de IV año, no indicaremos aquí el procedimiento que se sigue para la determinación del volumen de cuerpos afectados por el agua, como azúcar, sales, algodón, etc.*

II) Cuerpos más livianos que el agua.—Si un cuerpo es más liviano que el agua, como por ejemplo, el corcho, lo *obligamos a sumergirse en el agua*, por medio de un lastre, en seguida procedemos de la siguiente manera: pesamos el cuerpo con el *lastre sumergido en el agua* (fig. 100) luego se levanta el vaso hasta que el cuerpo se sumerja íntegramente. El equilibrio, entonces, se romperá por el empuje del agua *desalojada por el cuerpo* cuyo volumen queremos determinar.

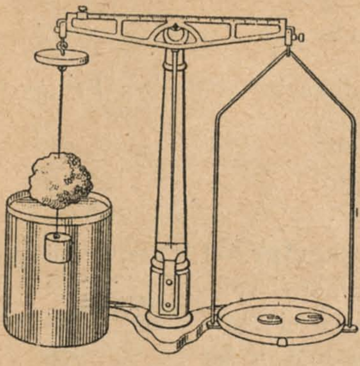


Fig. 100.

Disposición

m = peso del cuerpo en el aire.
m_1 = peso del cuerpo en el aire con el lastre sumergido
m_2 = peso de ambos cuerpos sumergidos en el agua

$m_1 - m_2$ = peso del agua desplazada por el cuerpo.

$$D = \frac{m}{m_1 - m_2}$$

§ 4. Método para la determinación de las densidades de los líquidos.—*A*) **Método del picnómetro.**—La densidad de los líquidos se determina empleando un frasquito *F* especial, llamado *picnómetro*, de boca ancha, cerrado con un tapón hueco *b* de vidrio esmerilado que se prolonga en un tubo delgado y termina en un embutido (fig. 101).

En este tubo hay trazada una señal *a*. De esta manera se consigue que la capacidad del frasco tapado, con líquido hasta la marca de referencia *a*, sea constante.

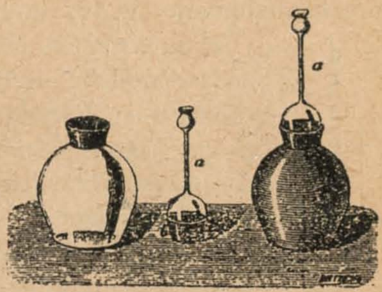


Fig. 101.

Para la determinación de la densidad de un líquido por medio del picnómetro, se procede de la siguiente manera:

Se pesa el picnómetro vacío, en seguida, lleno del líquido cuya densidad se quiere determinar. La diferencia de pesadas nos da la *masa del líquido*. Para determinar su volumen, pesamos el picnómetro con agua, y la diferencia de esta pesada con la del picnómetro vacío, nos da el *peso del agua en gramos*. Ahora, como cada gramo, en peso de agua destilada, llena un volumen de 1 cm^3, el número que nos da la masa del agua en gramos, nos da también la capacidad del picnómetro en centímetros cúbicos.

Disposición

$m_1 =$ masa del picnómetro vacío

$m_2 =$ masa del picnómetro con el líquido

$m_2 - m_1 =$ masa del líquido.

$m_3 =$ masa del picnómetro con agua

$m_3 - m_1 =$ masa del agua

$$D = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1}$$

B) **Método de los areómetros.**—Un areómetro es un tubo de vidrio, lastrado en su parte inferior con mercurio, para que, al flotar, se mantenga en equilibrio estable en un líquido cualquiera (fig. 102) en unos líquidos se sumerge más y en otros menos, debido a que en todos debe desplazar una cantidad de líquido igual a su propio peso. Como éste es constante, y la densidad de los líquidos depende de la naturaleza de éstos, se comprende fácilmente que en líquidos más densos se sumerja menos que en los de menor densidad.

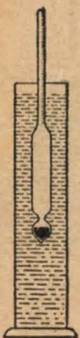


Fig. 102.

Para esto, sirven ciertos aparatos sencillos que dan la relación en volumen y la densidad. Los primeros se llaman *volúmetros* y los segundos *densímetros*.

El **volúmetro**, fué un aparato ideado por Gay-Lussac. Está formado por un tubo de vidrio cilíndrico bien calibrado (de igual sección en toda su extensión) y con el cual se determina indirectamente la densidad de un líquido.

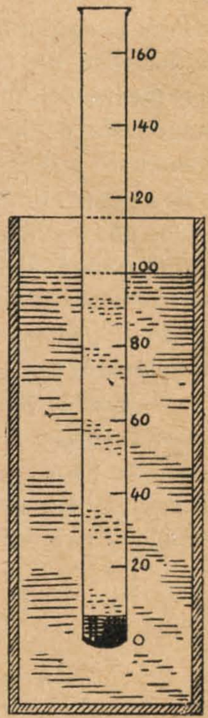


Fig. 103.

Se coloca en agua, y en su punto de enrase se marca 100 (fig 103), se divide entonces el tubo en 100 partes de igual volumen. Si se sumerge en un líquido cualquiera hasta la división 60, por ejemplo, se tiene que: el peso de los 60 volúmenes desalojados de líquido, es igual al peso del volúmetro (cuerpos flotantes) y, además, igual al peso de los 100 volúmenes de agua:

peso volúmetro = peso de los 100 vol. de agua
= peso de los 60 vol. de líquido

Si designamos por V, el volumen comprendido entre dos divisiones del tubo, y por d_a y d_l las densidades del agua y líquido respectivamente, tenemos:

$$100\ V \cdot d_a = 60\ V \cdot d_l$$

$$1)\quad d_l = \frac{100}{60} = 1{,}66\ (d_a = 1)$$

Como el numerador es constante, y el denominador depende de la naturaleza del líquido donde se sumerge el volúmetro, resulta que la densidad de un líquido cualquiera, estará dada en este aparato por la fórmula general:

$$\mathrm{I})\quad d = \frac{100}{n}$$

en que n representa el número de la división del volúmetro, que enrasa con la superficie del líquido de densidad desconocida.

Cuando, al graduar el tubo, se marca en vez de las divisiones *0* a *100*, los cuocientes que se obtienen de la fórmula I) para líquidos diferentes, el aparato se llama **densímetro;** y éste da directamente la densidad del líquido en que se sumerge. Los densímetros, ordinariamente, se fabrican, o para líquidos más densos o menos densos que el agua, para evitar dar al tubo una gran longitud.

En la práctica, muchas veces se necesita saber el grado de concentración de una solución, es decir, el tanto por ciento en que, el alcohol, los ácidos, las sales solubles, etc se encuentran en el agua. Para esto, se usan aparatos semejantes a los anteriores, pero graduados de otra manera, según que la sustancia sea menos densa o más densa que el agua.

El Alcoholímetro.—Este es, justamente, un areómetro especial, (fig 104) destinado, como su nombre lo indica, a medir el grado de concentración de una solución de agua y alcohol. Se puede graduar este aparato de una manera *casi exacta;* para lo cual se sumerge primero en agua destilada a 15°, y se marca **0** en el punto de enrase; en seguida, se sumerge en alcohol puro y se marca 100 en aquel punto del areómetro que coincide con la superficie del alcohol.

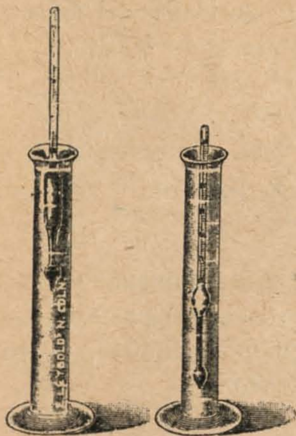


Fig. 104.

El espacio entre *0* y *100* se divide en 100 partes iguales. Si el alcoholímetro, así graduado, se introduce en una solución de agua y alcohol, y se sumerge hasta el punto 30 de la graduación, quiere decir que la mezcla tiene un 30% de alcohol.

Como al mezclar agua y alcohol, resulta una pequeña *contracción en los volúmenes,* es preferible, para tener un aparato más exacto, formar soluciones del 10%, 20%, 30%, 40%, 100% e introducir el aréometro en ellas, marcar en los puntos de enrase 10, 20, 30, 40, 100 y dividir los respectivos espacios en 10 partes iguales.

Si la mezcla de agua con otro líquido, resulta más densa que la primera, el aréometro que indique la concentración de la mezcla se gradúa en forma inversa de como se procedió para el alcoholímetro: se coloca en agua pura y se marca *100;* luego después, se introduce en el otro líquido puro y se marca *0.*

Problemas [1]

1. *Una viga de madera de 30 · 20 · 500 cm, tiene una masa de 150 kg. ¿Cuál es la densidad de la madera?*

2. *¿Cuánto pesa 1 dm^3 de oro, siendo la densidad de éste 19,3?*

3. *¿Cuánto pesa un litro de alcohol, siendo su densidad de 0,79?*

4. *¿Cuántos cm^3 tiene un bloque de bronce que pesa 34 kg, si la densidad de éste es 8,5?*

5. *¿Cuál es el peso, en toneladas métricas, de un cubo de plomo de 2 m de arista, siendo la densidad del plomo 11,3?*

6. *Encontrar la densidad de una esfera de radio 1 cm, y que pesa 32,7 gr* $\left(V_{\text{esf}} = \frac{4}{3}\pi R^3\right)$.

7. *Un vaso cilíndrico contiene alcohol hasta 8 cm sobre el fondo. El alcohol pesa 1 kg. Encontrar la superficie de la sección del vaso* $(V_{\text{cil}} = \pi r^2 h)$.

8. *Un tubo capilar cilíndrico pesa 2 gr. Después de echarle mercurio hasta 10 cm, pesa 14 gr. ¡Encontrar el grueso del tubo capilar!*

9. *¿Qué largo tiene un rollo de alambre de fierro de 1 cm de diámetro, que pesa 5 kg?*

10. *¿Qué fracción del volumen de un bloque de madera flotará sobre la superficie del agua, si la densidad de la madera es 0,5, 0,6, 0,9?*

11. *Si un témpano prismático de hielo se eleva a 20 m sobre la superficie del agua. ¿Qué profundidad tendrá bajo ésta, si la densidad del hielo es 0,9 de la densidad del agua del mar?*

---

(1) *Si en alguno de los problemas no se da la densidad de la sustancia, es porque ella se encuentra en la tabla de densidades,*

12. *¿Cuál es el volumen de una esfera hueca de acero que pesa 1 kg, si justamente flota en el agua? (La superficie del agua es tangencial a la de la esfera en su parte más alta).*

13. *Un trozo de madera de forma prismática de 10 cm de altura se sumerge 6 cm en el agua y 7 cm en el aceite. ¿Que densidades tienen la madera y el aceite?*

14. *¿A qué profundidad se sumergirá un torpedo de 0,87 de densidad?*

15. *Una probeta graduada en cm^3, de forma cilíndrica, contiene 190 cm^3 de agua. Un huevo que pesa 40 gr se deja caer en ella haciendo subir el nivel del agua hasta la marca 225 ¿Qué densidad tiene el huevo?*

16. *Un cubo de fierro de 10 cm de arista pesa 7 500 gr ¿Cuánto pesará sumergido en el alcohol?*

17. *¿Qué fuerza se necesitará para sostener en mercurio un decímetro cúbico de platino?*

18. *Un cuerpo pesa en el aire 7,55 gr, en el agua 5,17 gr y en otro líquido 6,35 gr ¿Cuál es la densidad del cuerpo y la del líquido?*

19. *Una esfera metálica pesa en el aire 84 gr, en el mercurio 22,6 gr. ¿Cuál es la densidad de la esfera?*

20. *Un paralelipípedo de hielo de 7 • 8 • 6 m se sumerge en agua de mar. ¿Qué altura tiene el paralelipípedo sobre la superficie del mar?*

21. *Se fabrican con oro, hojas que tienen un diezmilésimo de milímetro de espesor. ¿Qué superficie se podrá cubrir con 20 gr de oro?*

22. *Un cuerpo de 700 cm^3 y de densidad* 8. *¿Cuánto pesa?*

23. *Un bloque de 0,6 de densidad flota en el agua. ¿Qué parte de él está bajo el agua?*

24. *Un bloque de 1 000 cm^3 y de 0,4 de densidad flota en el agua. ¿Cuántos cm^3 de él quedan bajo el agua?*

25. *A un pedazo de madera que pesa 100 gr y de densidad*

0,5 se le cuelga un lastre que pesa 150 gr. ¿Cuánto pesan los dos cuerpos sumergidos en el agua?

26. *Una esfera de vidrio pesa 100 gr en el aire, 60 gr en el agua y 40 gr en ácido sulfúrico. ¿Cuál es la densidad del vidrio?*

27. *Una nave que pesa 10 000 toneladas métricas ¿qué cantidad de agua dulce y de agua de mar desplaza?*

28. *Un cm³ de mercurio pesa 13,6 gr y uno de corcho 0,25 gr. ¿Qué longitud de un cilindro de corcho se sumergirá en el mercurio, cuando aquel flota sobre éste?*

29. *Aprovechando las experiencias que los alumnos tienen, indicar qué sustancias son más densas y cuáles menos densas que el agua, de entre las siguientes: aceite, queso, papas, húevos, carne.*

III PARTE

Mecánica de los gases

CAPÍTULO I

Propiedades de los gases

§ 1. **La expansibilidad.**—Si se coloca en un extremo de una sala en que no haya corrientes de aire, un poco de cloro, de amoníaco o de cualquier gas de olor penetrante, después de un momento se hará perceptible toda la pieza. Este hecho tiene como única explicación la movilidad de las partículas de estos gases, los cuales, para llegar a nuestro nervio olfatorio, han tenido que recorrer cierto espacio.

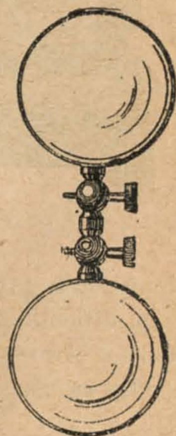


Fig. 105.

Si se toman dos gases distintos, como ser, Cloro y Oxígeno, y se colocan en dos globos (105) que tengan la posición horizontal o vertical, estando el más denso abajo o arriba; al abrir las llaves de comunicación, y a pesar de la gravedad, cuando al aparato se le da una posición vertical, una parte del más denso aparece en el globo superior (Cloro). Haciendo el análisis, se observa que en ambos globos se encuentran los dos gases en la misma proporción.

De lo expuesto resulta que la propiedad más sorprendente de los gases es la de ocupar el *mayor volumen posible*, debido al movimiento de que están dotadas sus partículas. Esta propiedad se llama *expansibilidad*.

Por esta propiedad, una masa gaseosa completamente libre, y no retenida por ninguna fuerza, tendería a llenar los espacios infinitos, y si no lo hace, es por impedírselo la resistencia de los cuerpos que lo rodean, y la presión atmosférica.

La expansibilidad también se puede demostrar por medio de una vejiga de buey, provista de una llave, y que tenga una pequeña cantidad de aire, o de cualquier otro gas. Si se coloca bajo la campana de una máquina neumática (1) se verá que la vejiga se infla cada vez más (fig. 106) a medida que disminuye la presión, y vuelve a su estado primitivo cuando se deja entrar en la campana el aire extraído.

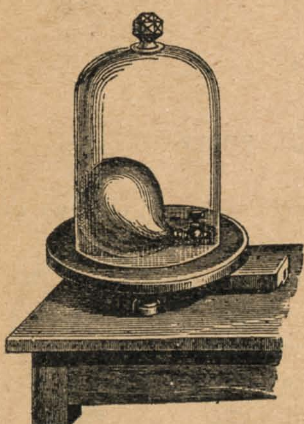


Fig. 106.

§ 2. Difusibilidad y osmosis.—Hemos visto que dos o más gases se mezclan íntimamente, cualesquiera que sean sus proporciones. Esta propiedad se llama *difusibilidad*.

La difusibilidad se puede efectuar a través de membranas o cuerpos porosos, y las velocidades con que estos gases pasan por las *membranas están en razón inversa de las raíces cuadra-*

---

(1) Este aparato se emplea para extraer una parte del aire de un espacio dado. Lo explicaremos detenidamente en el capítulo correspondiente.

dradas de sus densidades. (Ley de Graham, que se trata en Química, este mismo año).

La osmosis, o sea, la difusibilidad efectuada a través de membranas, se demuestra por un aparato formado de arcilla porosa, que se encuentra en comunicación por medio de un tubo, con un frasco que contiene agua coloreada. Este frasco lleva un tubo lateral que penetra hasta el fondo. (fig. 107) Si se coloca sobre el cilindro poroso una campana a la que se le hace llegar hidrógeno, se verá que el líquido salta por el tubo lateral, lo que se explica por el paso del hidrógeno a través del vaso poroso, que ejerce presión sobre el agua del frasco.

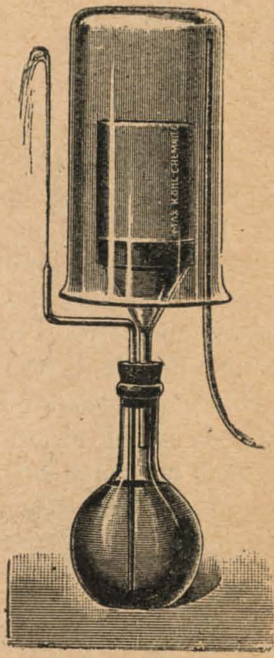


Fig. 107.

§ 3. Compresibilidad. — Si en un tubo de ramas diferentes de entre las cuales la menor es cerrada, se agrega un poco de mercurio, para separar un poco de aire del exterior, y en seguida se vierte más mercurio en la rama libre, se verá que el volumen del aire disminuye poco a poco a medida que aumenta la presión. Este experimento muestra que los gases son *compresibles*.

Los gases, en general, se caracterizan por su *expansibilidad*, *difusibilidad* y *compresibilidad*.

CAPÍTULO II

La atmósfera

§ 1. **Peso del aire.**—La capa gaseosa que rodea a la tierra, la *atmósfera*, es apenas perceptible para nuestros sentidos. Parece que la atmósfera no pesara y que los cuerpos se movieran en ella sin ninguna resistencia. Estamos acostumbrados a decir, *tan liviano como el aire*, para significar el poco peso de un cuerpo. Pero el aire, como cualquier otro cuerpo sólido o líquido, tiene peso.

Esto se demuestra pesando un globo de vidrio, de algunos litros de capacidad, primero con aire y después sin él. En el segundo caso, el globo de vidrio pesa menos que ántes (fig. 108).

Conociendo la capacidad del globo y

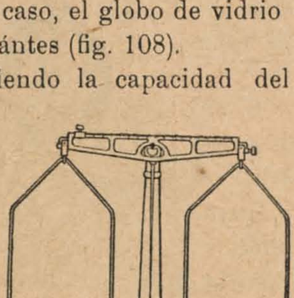


Fig. 108.

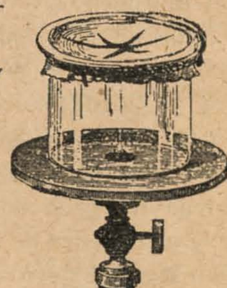


Fig. 109.

haciendo esta operación con gran exactitud, se ha encontrado que a la temperatura de 0° y a la presión de 760 mm *un litro de aire pesa* **1,293 gr.**

§ 2. **Presión atmosférica.**—Si el aire tiene peso, debe efectuar una presión, tal como la de los líquidos, contra cualquier cuerpo sumergido en él. Esto se puede demostrar por el *rompe-vejigas* (fig 109) que es un cilindro de vidrio cerrado herméticamente por su parte superior con un pedazo de vejiga, y aplicado por el otro extremo, de bordes planos y untados con sebo, a la platina de la máquina neumática. Apenas empieza a efectuarse el vacío, dentro del cilindro, se deprime la vejiga por efecto de la presión atmosférica, y a veces estalla con fuerte detonación, a causa de la súbita entrada del aire.

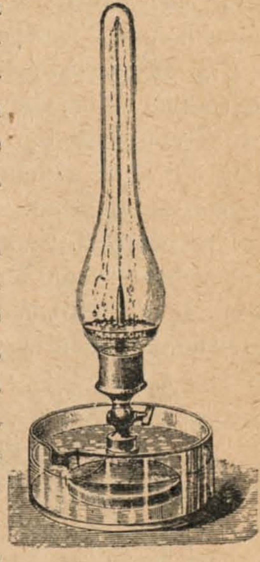


Fig. 110.

§ 3. Ascenso de los liquidos en los tubos sin aire. — Si se extrae el aire de un tubo cualquiera que tenga una llave, y se coloca sobre una fuente de agua, al abrir en seguida, la llave de comunicación (fig. 110), el agua sube en el interior del tubo en forma de un surtidor. Este mismo fenómeno se observa cuando una persona toma limonada o un sorbete por medio de una pajita.

Estos hechos habían sido observados por los griegos y romanos, que explicaban el ascenso de los líquidos en los tubos vacíos diciendo: «*La naturaleza tiene horror al vacío*». Esta explicación estaba en boga en tiempos de Galileo.

En 1640, el duque de Toscana hizo construir un pozo bastante profundo, cerca de Florencia, y notó que, al sacar el agua por medio de una bomba, no subía más que a 9,75 m sobre el nivel del agua en el pozo. Recurrió a Galileo para la explicación de este fenómeno, y éste respondió: «La naturaleza tiene horror al vacío, siempre que éste no pase de 9,75 m». Es muy probable que Galileo haya comprendido que la explicación dada no tenía nada de científico, y que por esto mismo se dedicara al asunto detenidamente, y sospechó que la causa del fenómeno se debía al peso de las capas de aire, o sea, a la *presión atmosférica,* pues él sabía que el aire pesaba.

Estaba ideando un aparato que probara, como él decía, *«el poder del vacío»*, cuando lo sorprendió la muerte, en 1643, antes de haber realizado sus experiencias.

§ 4. **Experimento de Torricelli.**—Torricelli, discípulo de Galileo, fué el continuador de las experiencias de su maestro. Tratando de buscar algo concluyente se dijo: si el agua sube a 9,75, el mercurio, que es más o menos 13 veces más pesado, subirá a una altura 13 veces menor.

Para comprobar su inducción realizó en 1644, el siguiente experimento: tomó un tubo de más o menos 80 cm de largo y 1 cm de diámetro, cerrado en un extremo y abierto en el otro; lo llenó de mercurio y tapándolo con el pulgar (fig 111), lo invirtió en una cuba llena del mismo metal. Al quitar el dedo del extremo abierto del tubo, el mercurio bajó, dejando un espacio vacío sobre él, y

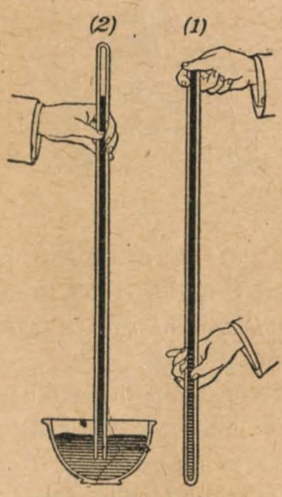


Fig. 111.

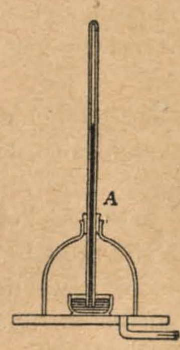


Fig. 112.

la columna de mercurio, en realidad, era la 13 ava parte de 9,75 m. Como consecuencia de este experimento famoso, Torricelli dijo: *la ascensión de los líquidos en los tubos vacíos,* *se debe a la presión exterior ejercida por la atmósfera sobre la superficie del líquido.*

Si la presión atmosférica es lo que equilibra la columna de mercurio en el tubo de Torricelli, quitando esta presión, el mercurio bajará; aserción que es comprobada por la experiencia. La cubeta del tubo con mercurio se coloca dentro de una campana, de la que se extrae el aire (fig 112), la columna de mercurio baja poco a poco, a medida que el aire se extrae; y a la inversa, si se deja entrar el aire, la columna de mercurio sube hasta su nivel primitivo.

Más tarde, Pascal, dedujo otras conclusiones de la presión atmosférica. Fundándose en la disminución de presión que sufre un cuerpo sumergido en un líquido, cuando aquél sube poco a poco a la superficie, se dijo: «*la presión atmosférica debe disminuir a medida que nos elevamos en este gran océano de aire*». Para comprobar su inducción, subió a una de las torres más altas de París, y observó, en efecto, un pequeño descenso en la columna de mercurio. Este mismo experimento fué efectuado, a pedido suyo, por su cuñado Perrier, en las montañas de Puy de Dônne, en el sur de Francia, y observó un descenso de 8 cm en la columna de mercurio, a los 1 000 m de elevación.

§ 5. Valor de la presión atmosférica. —La experiencia de Torricelli nos demuestra que la presión atmosférica tiene un valor bastante grande, puesto que puede elevar una columna de mercurio que, *a orillas del mar es de 76 cm*, valor que se ha tomado como unidad y se llama **presión normal.**

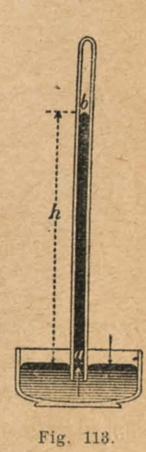


Fig. 113.

De acuerdo con el principio de Pascal, la presión que ejerce la atmósfera de arriba hacia abajo sobre la superficie del mercurio en la cubeta (fig 113), se transmite íntegramente hacia arriba sobre la superficie *a* del mercurio en el tubo del mismo nivel que la exterior de la cubeta; luego la columna h de mercurio está *equilibrada por la presión atmosférica.*

Esta columna h ejercerá una presión, de acuerdo con la fórmula que desarrollamos para los líquidos, de **hd** gr. Como h, al nivel del mar tiene un valor de *76 cm* y la densidad del mercurio es *13,6*, resulta:

$$P = h \cdot d = 76 \cdot 13{,}6 = 1033{,}6 \left[\frac{gr\text{-}peso}{cm^2}\right]$$

$$\mathbf{P = 1{,}0336} \left[\frac{kg\ peso}{cm^2}\right]$$

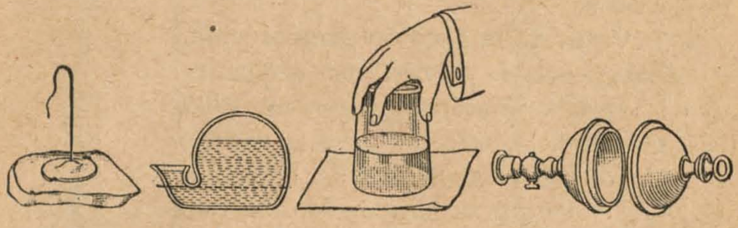
Problemas

1. *¿Cuántas veces el agua es más pesada que el aire?*

2. *¿Cuál es el peso del aire contenido en una sala de 4 · 6 · 5 m?*

3. *¿De qué dependerá la mayor o menor deformación de la membrana del rompe-vejiga?*

4. *¿Qué le pasará a un frasco de hojalata en el que se ha hecho hervir agua, si al taparlo bien durante la ebullición se le deja caer bruscamente agua fría en sus paredes externas?*



a b c d

Fig. 114.

5. *Si se presiona sobre una piedra plana una pieza circular de cuero sostenida en su parte media por un hilo, se puede levantar la piedra tirando del cordel ¿por qué? (fig. 114-a). ¿La piedra es empujada o tirada hacia arriba?*

6. *¿Por qué no se sale la tinta del tintero señalada en la fig 114-b?*

7. *¿Es la misma causa la que impide que el agua se salga de los modernos bebederos para aves?*

8. *Si se echa agua a un vaso y se coloca una hoja de papel en su boca y se invierte, el agua no cae (fig. 114-c) ¿por qué? Explicar la función que desempeña el papel.*

9. *Los hemisferios de Magdeburgo de la fig 114-d tienen un diámetro de 60 cm. Calcular la fuerza que se necesita para abrirlos cuando de su interior se ha extraído el aire.*

10. *¿La altura del mercurio en el tubo de Torricelli depende de la mayor o menor sección del tubo?*

11. *Si en lugar de emplear mercurio, hubiera efectuado Torricelli la experiencia con agua ¿qué altura habría tenido la columna líquida?*

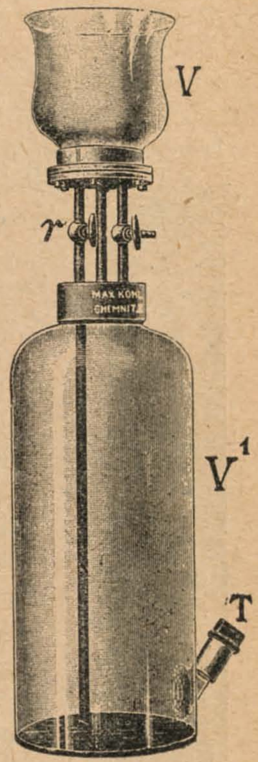


Fig. 115.

12. *Si se echa agua por el vaso V hasta llenar el recipiente V^1 del gasómetro (fig 115) al cerrar la llave r y al quitar la tapa T, el agua no sale ¿por qué?*

CAPITULO III

Los Barómetros

Los barómetros son aparatos destinados a *medir la presión atmosférica*. Se dividen en: *barómetros de mercurio y barómetros metálicos*.

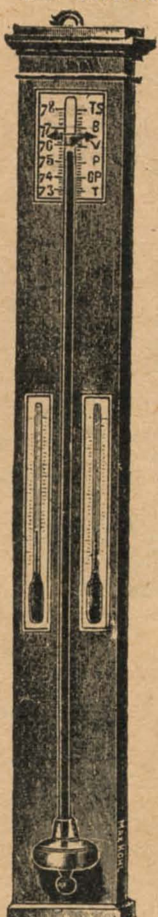


Fig. 116.

§ 1. Barómetro de mercurio. — *a*) **Barómetro de Cubeta o de Torricelli.** —Este barómetro está formado por un tubo unos 80 cm de largo y 1 cm de diámetro, que se llena de mercurio y se introduce en una cubeta del mismo metal. Cuando baja la columna mercurial, deja en la parte superior un espacio vacío, llamado *cámara barométrica*.

No es nada más que el aparato que dejamos descrito con el nombre de tubo de Torricelli.

Para saber el valor de la presión atmosférica, o sea, la altura de la columna barométrica, se coloca el barómetro en una plancheta graduada en centímetros, de tal manera que el cero corresponde al punto de enrase del mercurio de la cubeta con el del tubo. (fig 116) En seguida la columna se divide en centímetros y milímetros. El barómetro de la fig 116 no tiene divisiones en la parte baja porque no las necesita. Este barómetro tiene el inconveniente de que *su cero es movible*. En efecto, cuando la presión atmosférica aumenta, la columna de mercurio que la equilibra se hace mas alta, y entonces se dice que el *barómetro sube;* por el contrario, cuando la presión disminuye, el *barómetro baja*. Estos cambios de la columna barométrica, hacen variar el nivel del mercurio en la cubeta, quedando en el primer caso el *cero sobre el nivel* y en el segundo caso, *bajo el nivel;* ahora, como debe contarse siempre la altura barométrica a partir del nivel de la cubeta, se lee una *presión falsa*. En el primer caso una *presión menor* y en el segundo, una *mayor*.

Este inconveniente se puede salvar en parte, tomando una cubeta de cierta extensión. Además, del inconveniente citado, es *incómodo su transporte*.

b) **Barómetro de Fortin.**—Para salvar los inconvenientes del barómetro de Torricelli, Fortin, construyó uno, con una cubeta especial formada por un tubo de vidrio *V* que, en su parte inferior, lleva una guarnición metálica *E*, provista de un tornillo *T*. En el interior, se encuentra un saquito de piel de gamuza, *G*, que constituye la cubeta propiamente dicha, en la cual se encuentra el mercurio (fig 117).

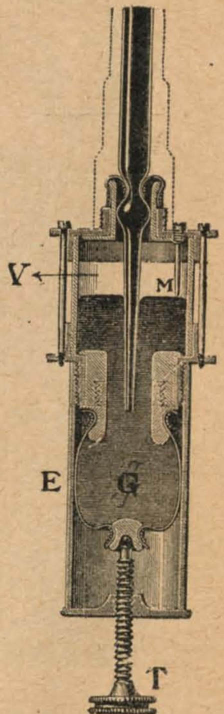


Fig. 117.

El *0* de la graduación está indicado por la punta de un índice de marfil *M*, colocado en la cubierta de la cubeta. Esta, se encuentra formada por un disco de madera que lleva una pequeña abertura por donde se ejerce la presión atmosférica.

El tubo barométrico se encuentra, en el interior de un tubo metálico, en cuya parte superior hay dos ranuras que permiten ver el vértice de la columna de mercurio, cuyo valor se lee en la escala que va al borde de una de estas ranuras.

Al aumentar o disminuir la presión atmosférica, baja o sube el nivel del mercurio en la cubeta, y por medio del tornillo T hacemos que siempre enrase el nivel del mercurio con la punta del índice de marfil.

Para transportar este barómetro, se da vuelta el tornillo has-

Fig. 118.

ta que todo el tubo barométrico se encuentre lleno de mercurio, se invierte en seguida el instrumento y se coloca dentro de una funda.

Cuando se quiere hacer, en una excursión, alguna observaión, se instala el aparato en el suelo por medio de un trípode (fig 118).

c) **Barómetro de sifón.**—Este barómetro fué ideado por Gay Lussac (1777-1850) que estudió principalmente las leyes de los gases y vapores.

Fig. 119.

Consiste este barómetro en un tubo de vidrio encorvado en dos ramas desiguales, la mayor cerrada en su parte alta, se halla llena de mercurio, como en el barómetro de Torricelli, y *la menor, abierta, desempeña el papel de cubeta.*

La altura del mercurio que equilibra la presión atmosférica es la MN (fig 119) puesto que la parte bajo la horizontal nn', constituye un vaso comunicante.

Este barómetro está sometido a los mismos inconvenientes del de cubeta, pues el 0 está en ambas ramas en la línea horizontal nn'. Esto se puede subsanar haciendo la rama corta, que reemplaza a la cubeta, lo más ancha posible, o bien comenzando la graduación en la parte más baja del tubo. La presión atmosférica se obtiene entonces, restando la altura del mercurio en la rama corta de la altura de la rama larga.

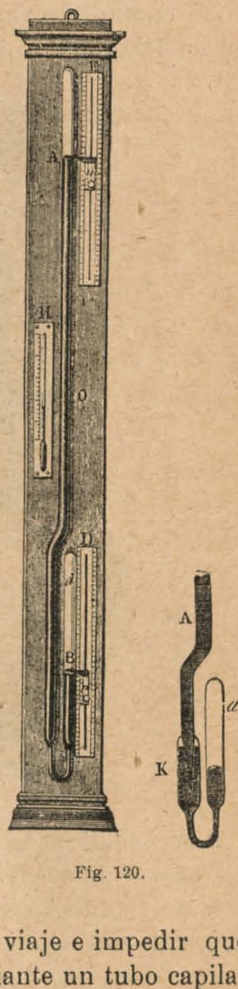


Fig. 120.

Para transportar este barómetro en un viaje e impedir que entre el aire, se unen las dos ramas mediante un tubo capilar que se ve en la parte inferior del barómetro representado en la (fig 120). Para impedir aún más la entrada del aire, en vez de estar soldado el tubo capilar en la rama mayor, lo está a un ensanchamiento *K* de gran diámetro, donde entra esta rama en forma de punta afilada. Mediante tal disposición, si pasan burbujas de aire al tubo capilar, no pueden penetrar en la punta afilada del tubo y van a parar a la parte superior del depósito *K*.

Fig. 121.

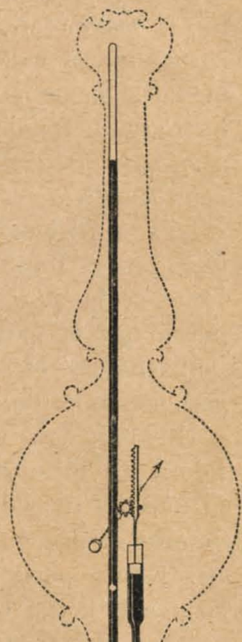


Fig. 122.

Una modificación de este barómetro la encontramos en el **barómetro de cuadrante**, que no es más que un barómetro de sifón con un dispositivo que permite, hacer sentir las variaciones de presión atmosférica a una aguja que se mueve en un cuadrante (fig 121).

Con este objeto, en la rama abierta va un flotador de marfil (fig. 122) que sube o baja, haciendo girar con ayuda de un hilo de seda a una barrita endentada con una polea cuyo eje está unida con la aguja.

El cuadrante se gradúa de acuerdo con un barómetro de Fortín.

El barómetro de cuadrante es el que tiene menor valor científico; no obstante lo cual es muy común en muchas casas, donde se emplea más como objeto de lujo que de utilidad.

Construcción de un barómetro de mercurio.—Un barómetro, para que marque la presión atmosférica exactamente, debe contener mercurio puro y seco, y la cámara barométrica debe estar libre de aire.

Si el mercurio es impuro, su densidad difiere de la del metal puro, y hace variar la columna barométrica. Si está húmedo, el vapor del agua en virtud de su menor densidad, se va a la cámara barométrica, ejerciendo allí una presión sobre la columna de mercurio, y la hace disminuir de altura. Igual cosa sucede, si existe aire.

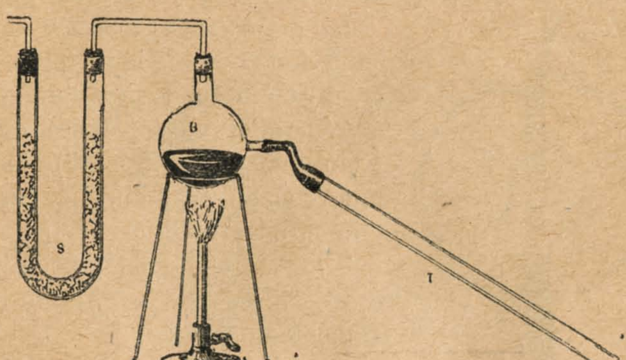


Fig. 123.

Para construir un barómetro de precisión se opera de la manera siguiente: se une el tubo barométrico T por medio de una manguera a un matraz B (fig. 123) cuyo cuello está unido a su vez a un tubo en *U*, *S*, lleno de una sustancia higroscópica (piedra pomez sulfúrica o cloruro de calcio). Por medio de una máquina neumática se extrae el aire de *T*, *B* y *S;* se deja entrar en seguida el aire que, al verse obligado a atravesar el tubo *S*, deja allí su humedad; de modo que en *B* y *T* tendremos aire más o menos seco. Se repite esta operación varias veces, para sacar lo mejor posible el interior de *B* y de *T*. Por fin, se extrae por última vez el aire, y el mercurio que se ha colocado previamente en el matraz *B* se hace hervir, vaciándolo en seguida en el tubo *T*.

§ 2. **Barómetros metálicos o aneroides.** — Como los barómetros de mercurio son un tanto incómodos para su transporte, se han construído barómetros metálicos más sencillos, aunque no tan precisos como los anteriores.

Los aneroides están basados en los movimientos que ejecutan, por influencia de la presión, las paredes más o menos delgadas de cajas huecas, en las cuales se ha hecho el vacío.

Según sea la forma de la caja, distinguimos dos tipos de aneroides: el tipo *Bourdon* y el *Vidi*.

Fig. 124.

La construcción Bourdon es una cinta hueca de sección elíptica, alargada y en forma de herradura, cuyos extremos llevan dos palancas que sujetan una aguja, (fig. 124). Esta se mueve en un cuadrante graduado y gira en un sentido o en otro, según que los extremos del tubo se abran o se cierren por la disminución o aumento de presión.

La construcción Vidi, consiste en una caja de paredes laterales resistentes, y de una tapa delgada y ondulada en círculos concéntricos, que sirven para aumentar la superficie, y por ende, la sensibilidad del aparato. El aparato, así construído, ejecuta movimientos de arriba hacia abajo, según que la presión aumente o disminuya (fig. 125). Estos movimientos de ascenso y descenso se transmiten, por medio de palancas, a una aguja que se mueve en un cuadrante graduado.

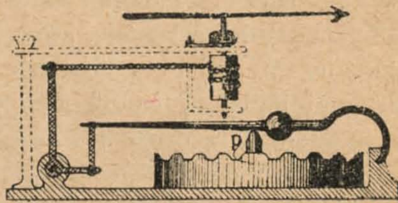


Fig. 125.

Los barómetros metálicos se gradúan tomando como tipo a uno de Fortín.

§ 3. **El barómetro como indicador del tiempo.**—Los barómetros, al nivel del mar, indican una presión de 76 cm. (presión normal), valor que no es constante, porque las variaciones de la atmósfera afectan la presión sobre la superficie de la tierra.

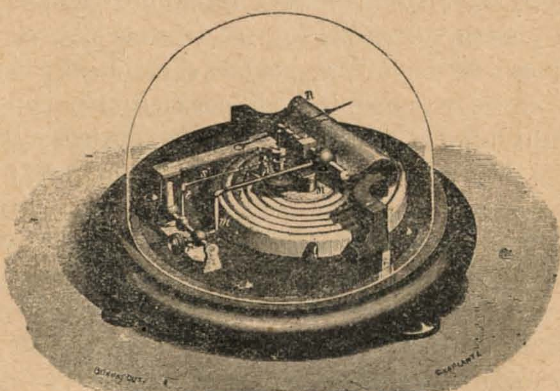


Fig. 126

M, caja en cuyo interior se ha hecho el vacío; *R*, muelle al cual se comunican los movimientos de oscilación de la caja; *l*, *m*, *r*, *t*, sistema de palancas articuladas que trasmiten el movimiento a una cadenilla *s*; *s*, cadenilla que se enrosca en el eje de la aguja indicadora del barómetro.

Muchas personas creen que el barómetro sirve para predecir el tiempo, basándose en que las variaciones barométricas van acompañadas de variaciones atmosféricas,

Esto no carece del todo de razón, pues aunque el barómetro no es un infalible profeta del tiempo; es, sin embargo, un poderoso auxiliar. Es claro que nos referimos a las variaciones accidentales, y no, a las horarias; pues éstas tienen lugar a todas horas del día aun siendo muy pequeñas y diversas para los distintos lugares de la tierra. La oscilación máxima diaria, en Santiago alcanza un máximo de 6,9 mm.

Las variaciones accidentales son las variaciones bruscas que ejecuta el barómetro, y que no están sujetas a periodicidad alguna, por cuanto, generalmente provienen de cambios en los estados atmosféricos.

Las observaciones nos han enseñado que, cuando el barómetro baja, llueve; y en cambio, cuando sube, hay casi siempre buen tiempo.

En Santiago, el barómetro sólo puede predecir el tiempo en invierno, pues en dicha estación tenemos las mayores alturas barométricas; de modo que, cuando el barómetro baja hasta 712 mm. o más, y se mantiene ahí por cierto tiempo, tenemos con seguridad lluvia. A veces, en verano tenemos alturas menores, y el tiempo es bueno, salvo el caso en que se produzca un descenso bastante grande, como el observado hace unos 20 años, más o menos, que fué de 705 mm., el menor valor alcanzado en estos últimos años, pues aquí tenemos como presión media 715 mm.

Debida a la relación entre presión y variación de tiempo, los fabricantes indican los estados atmosféricos entre ciertas presiones, colocando las frases buen tiempo, mal tiempo, etc., observaciones que sólo merecen fe para una localidad dada.

Uno de los barómetros históricos más curiosos, destinados a predecir el tiempo, fué construido por Otto von Guericke de Magdeburgo. Era de agua, y por tal motivo, el tubo que, era de gran longitud, salía sobre el techo de la casa. En la superficie del agua de la cámara barométrica, flotaba un monito de madera que aparecía sobre el techo cuando hacía buen tiempo y se ocultaba cuando iba a llover.

§ 4. **Los altimetros.**—La presión varía con las alturas: a orillas del mar vale 76 cm., si se sube a un cerro, la presión disminuye, y si se baja a una mina, la presión aumenta. Estas variaciones de presión son comparables a las observadas en los líquidos, que aumentan o disminuyen con la profundidad.

Puesto que la presión atmosférica varía con las alturas, conociendo la relación entre las variaciones de aquéllas, se puede aprovechar el barómetro para determinar la altura de un lugar con respecto al nivel del mar.

En muchos aneroides, se han escrito directamente las alturas sobre el nivel del mar, en lugar de la presión. Tales aparatos reciben el nombre de altímetros. Aquí en Chile, por cada 11 m. de diferencia de nivel, corresponde una diferencia de 1mm. de presión. Lo anterior sólo rige para diferencias de alturas no muy considerables; porque, de lo contrario, hay que emplear fórmulas empíricas.

§ 5. **Altura de la atmósfera.**—Ninguna persona se ha elevado en la atmósfera a más de 11 Km que fué más o menos la altura que alcanzaron en 1862 los aeronautas ingleses Glapsier y Coxwell. En tales regiones, la presión atmosférica es más o menos de 15 cm., y la temperatura del aire alcanzaba a —50° C. Estos aeronautas casi perecieron: Glapsier quedó inconsciente, y Coxwell apenas tuvo las energías necesarias para tirar la cuerda de escape y hacer descender el globo.

En 1901, el aeronauta Berson, alcanzó más o menos a la misma altura, sin sufrir las penurias de los anteriores, debido al oxígeno que llevó para hacer inhalaciones.

Por fin, en 1910, se enviaron globos sondas, con aparatos registradores (barómetros, termómetros, etc.), provistos de pequeños paracaídas. Tales globos, alcanzaron a la altura de **30,500** km. Este número se dedujo de las anotaciones dadas por los aparatos registradores.

A pesar de todo, aun no se sabe cuál es la verdadera extensión de la atmósfera. Algunos creen, basados en cálculos astronómicos, en la visibilidad de los meteoros, en las alturas de las auroras boreales, la oscuridad de la superficie de la Luna poco antes de ser eclipsada por la sombra de la Tierra, que la atmósfera tiene como término medio una extensión de **160 km.**

§ 6. **Altura homogénea de la atmósfera.**—Si no se ha podido calcular con exactitud la altura de la atmósfera, se debe a que la densidad del aire en las distintas capas es diferente. Si la densidad del aire, a cualquiera altura, tuviera el mismo valor que tiene al nivel del mar, es decir, si un litro de aire, en cualquier región, pesara 1,293 gr, sería muy fácil saber cuál es la altura de la columna de aire que equilibra a la de mercurio de 76 cm.

Se ha visto que, para equilibrar esta columna de mercurio, se necesita una de agua de $76 \cdot 13{,}6 = 10{,}336$ m, y como el aire es 773 veces más liviano que el agua, la columna de aire sería de $773 \cdot 10.336 = 7\,989{,}72$ m, *casi 8 km.*

De modo que la cima del Himalaya estaría fuera de la atmósfera.

Esta altura, cercana a 8 km, que hemos calculado, es lo que se llama en Física *altura homogénea de la atmósfera.*

Problemas

1. *Cuando el barómetro se encuentra inclinado* (fig 127), *¿cómo se debe leer la presión?*

2. *¿Qué barómetro será más sensible, uno de agua o uno de mercurio?*

3. *Si un barómetro de cubeta se sumerge en agua hasta que la*

superficie del mercurio en la cubeta quede 1 m bajo la superficie del agua, ¿qué presión marcará el barómetro ahora, si antes indicaba 715 mm?

4. *¿Cuánto debe ser aproximadamente la diferencia de pre-*

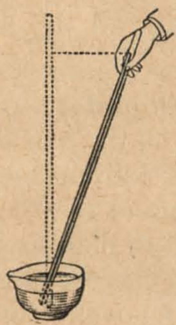


Fig 127.

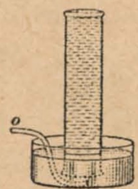


Fig. 128.

sión entre Santiago y Valparaíso, si el primero está a 525 m sobre el último?

5. *¿Por qué cuando una persona sube o baja en un globo, lo mismo que cuando un buzo penetra en el mar, siente dolor de oídos y nariz?*

6. *Si se llena un cilindro de agua y se invierte en una cuba, el agua no se sale, ¿por qué?*

7. *Si se coloca una manguera debajo del cilindro, y se hace entrar, por* O, *aire u otro gas, el agua se sale, ¿por qué?* (fig 128).

8. *¿Por qué se debe quitar el tapón a un barril de vino, si se quiere que el líquido salga por la llave en un chorro continuo?*

9. *Cuando se da vuelta una botella llena de agua, ¿por qué sale el agua a borbotones?*

CAPÍTULO IV

Compresibilidad y expansibilidad de los gases

§ I Incompresibilidad de los líquidos.—Si se toma un vaso cilíndrico de cierta altura (fig. 129) y se echa en él un litro de agua, el nivel de ésta llegará a una altura *h*; si se agrega un segundo litro de agua, el nivel se encontrará a una altura *2h*; si se agrega un tercer litro el nivel llegará a una altura *3h*, a contar desde el fondo, y así sucesivamente. Este sencillo hecho nos dice que los líquidos pueden considerarse incompresibles. Existe, sin embargo, cierta compresibilidad en ellos; pero es tan pequeña que, en la práctica, se puede despreciar. 1 cm^3 de agua, comprimido bajo la enorme presión de 3 toneladas experimenta una disminución de 0,1 cm^3. Debido a esta incompresibilidad de los líquidos ha sido posible aplicar la fórmula, $p=hd$, para calcular las presiones

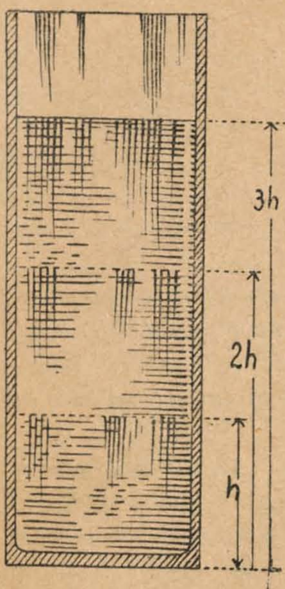


Fig. 129.

que ellos ejercen, o las alturas a que se elevan, debido a que la densidad a diferentes profundidades es constante, cuando no varía la temperatura.

La fórmula, $p=hd$, sirve para conocer la altura de un líquido, una vez sabida su presión y densidad:

$$1)\quad h=\frac{p}{d}$$

Si queremos conocer la altura de la atmósfera, no se puede emplear la fórmula 1), pues, d, en este caso, varía según la altura de la capa atmosférica, debido a que los gases son compresibles, es decir, sus volúmenes son susceptibles de ser reducidos mediante presiones externas.

§ 2. **Ley de Mariotte o de Boyle.**—Dentro de un tubo encorvado de ramas desiguales, en que la corta se halla cerrada y la larga, abierta, aislamos un volumen V_1 de aire en el espacio AC (fig 130) por medio de un poco de mercurio que se vierte de manera que los niveles de éste queden a la misma altura en las ramas del tubo. Este volumen V_1 queda sometido a la presión atmosférica del lugar donde experimentamos. Agregando mercurio en la rama abierta, se ve que el gas disminuye de volumen. Cuando se halla reducido a la mitad A_1C, si se mide la columna de mercurio BD se notará que es igual a la altura barométrica del lugar; por consiguiente, el aire encerrado en A_1C, tiene una presión doble, por una parte la que ejerce la columna BD y, por otra parte, la ejercida por la atmósfera libre. Si se desea continuar experimentando, y reducir el volumen del gas a la tercera parte, es necesario agregar otra columna de mercurio igual a la anterior. De esto se desprende que, doblando o triplicando la presión, el volumen del gas se reduce a la mitad o tercera parte. Generalizando, resulta la ley de Mariotte o Boyle:

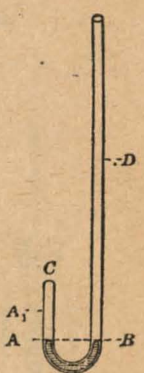


Fig 130.

«*Las presiones que un volumen de aire, a una temperatura constante ejecutan contra las paredes del recipiente que los contiene, están en razón inversa con el volumen que ocupan.*»

Designando por V_1 y V_2 los volúmenes que una masa gaseosa ocupa bajo las presiones p_1 y p_2, se tiene:

$$1)\ \frac{V_1}{V_2} = \frac{p_2}{p_1};\quad 2)\ V_1 p_1 = V_2 p_2$$

Así, por ejemplo, si $V_1 = 100$ cm³ de aire, están sometidos a la presión atmosférica, $p_1 = 715$ mm (presión media de Santiago), y por acción de una presión $p_2 = 2 \cdot 715$, doble de la anterior, el volumen se reduce a la mitad, $V_2 = 50$ cm³.

Sustituyendo los valores en la fórmula 2) tenemos:

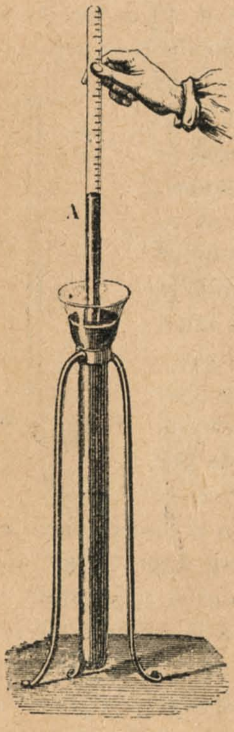


Fig. 131.

$$100 \cdot 715 = 50 \cdot 2 \cdot 715$$

Este ejemplo hace ver, que se puede calcular fácilmente el volumen a que se reduce una masa gaseosa por una presión dada, o la presión que produce una determinada reducción de volumen.

La ley de Mariotte se verifica también para presiones menores de una atmósfera. Para este objeto se toma una cubeta profunda, donde se coloca un tubo barométrico A, graduado, (fig. 131) que contiene un poco de aire y el resto de mercurio, se sumerje hasta que el nivel interior del tubo enrase con el de la cubeta; entonces el aire encerrado estará a la presión atmosférica, y se observa en seguida el número de cm³ que ocupa. Se sube el tubo hasta que, debido a la menor presión, se duplique el volumen de aire; y se ve que en este mismo momento el mercurio del tubo A se eleva a una altura que es igual a la mitad de la del barómetro en el lugar de observación. Esto demuestra que el volumen ocupado por el aire está en razón inversa de la presión.

Doblando o triplicando la presión, se dobla o se triplica la densidad, puesto que, se ha obligado a una masa constante de gas a ocupar volúmenes iguales a la mitad y tercera parte del volumen primitivo; luego, *las presiones que ejerce un gas sobre las paredes de un recipiente, son directamente proporcionales a sus densidades.*

Si designamos por p_1 y p_2 las presiones que ejerce un gas, y por d_1 y d_2 las densidades respectivas, tenemos:

$$3) \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

§ 3. **Densidad de los gases.**—Para determinar la densidad de un gas, se procede de la misma manera que para determinar la de un cuerpo sólido o líquido. Se averigua la masa, en seguida el volumen, y se divide el primer dato por el segundo.

En el caso de los gases, se procede así: se toma un frasco y se pesa con el gas cuya densidad quiere determinarse, en seguida se pesa el frasco vacío, y por último lleno de agua.

Disposición

m_1 = peso del frasco con el gas
m_2 = » » » vacío

$m_1 - m_2$ = peso del gas
m_3 = peso del frasco con agua

$m_3 - m_2$ = peso del agua.

$$D = \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2}$$

Como las densidades de los gases varían con la temperatura y la presión, para poder compararlas entre sí, es necesario referirlas a una presión y temperatura dadas que, en la práctica son de 760 mm y 0° respectivamente.

El volumen y la densidad que tiene un gas, bajo estas condiciones, se *llaman volumen y densidad normal.*

Si la densidad la hemos calculado a 0° y a cualquier presión, es fácil, por medio de la ley de Mariotte, conocer el volumen y la densidad normales.

Problemas

1. *¿En qué volumen se convierten 1 245 cm^3 de aire que se encuentran a la presión normal; si se les somete a la presión de 875 mm?*

2. *¿Bajo qué presión es necesario colocar 1 500 cm^3 de aire que están a la presión de 715 mm, para reducirlo a un litro?*

3. *Dos depósitos de 11 y 7 l respectivamente de capacidad, contienen aire a la presión normal y están en comunicación. Si el de 7 l se llena completamente de agua ¿qué presión tendrá el aire en el otro depósito?*

4. *Tenemos 1 000 l de aire a la presión atmosférica (¿—?) ¿cuántas atmósferas se necesitan para reducirlos a 4,2 l?*

5. *Un cilindro, cuya sección es de 100 cm^2 y que está cerrado por un pistón* P, *de peso despreciable, contiene un volumen de aire de 2 l a la presión normal. Si se colocan 10 Kg sobre el pistón ¿a cuánto se reduce el volumen de aire en el interior?*

6. *Un gramo de aire, a la presión ordinaria (716 mm) ocupa un volumen de 800 cm^3*

¿Qué volumen ocupará en una región de la cordillera de Los Andes en que la presión es de 338 mm?

7. *La densidad del aire al nivel del mar, es de 0,0012 ¿qué densidad tendrá en el mismo punto de la cordillera (prob 6) y a qué altura se encuentra más o ménos esta región de la cordillera?*

8. *Si en el momento de la partida del teniente Godoy, el barómetro marcaba una presión de 716 mm ¿cuántas inhalaciones se vió obligado a hacer para procurarse la misma cantidad de aire que en la superficie cuando el barómetro marcaba una presión de 358 mm?*

9. *1 000 cm^3 de gas están a la presión de 80 cm ¿qué presión se le debe aplicar para reducir el volumen a 600 cm^3?*

10. *Una burbuja de aire de 5 cm^3 se escapa del traje de un buzo cuando este se encuentra a 30 m bajo la suparficie del mar? ¿Qué volúmenes tendrá en la superficie?*

11. *Consideremos el tubo* (fig 131) *de 100 cm de largo. El aire ocupa en su interior una superficie de 76 cm, si se sumerge el tubo hasta que el aire ocupe una longitud de 40 cm ¿cuál pasa a ser la diferencia de nivel del mercurio en el tubo y en la cubeta?*

CAPÍTULO V

Los manómetros

Los manómetros son aparatos que sirven para medir presiones superiores o inferiores a la atmosférica, ya sean éstas ejercidas por gases comprimidos o enrarecidos, por tensiones de vapores, por presiones ejecutadas por los líquidos, etc.

Fig. 132.

Los manómetros se clasifican en: **manómetros de mercurio y metálicos.** Los primeros, a su vez, se dividen en: de *aire libre y aire comprimido.*

§ I. **Manómetro de aire libre.** — Este aparato es un simple vaso comunicante, de ramas desiguales que contienen cierta cantidad de mercurio. La rama corta se pone en comunicación con el recipiente del que se quiere medir la presión; la rama larga se gradúa en milímetros, centímetros o atmósferas (fig 132).

La presión x que se quiere determinar, ejerce sobre el nivel a una presión que se equilibra por el peso de la columna de mercurio h, y 2.º por el peso p de la atmósfera libre, que se ejerce sobre la superficie 2; de modo que tenemos para x la relación siguiente:

$$\text{I)} \qquad \mathbf{x = p + h}$$

Así, por ejemplo, si la presión atmosférica en Santiago es de 715 mm y la diferencia de nivel h es de 500 mm, la tensión x que se *pide* será de: 715 + 500

=1 215 mm de mercurio. En esta operación el manómetro debe estar vertical.

El manómetro de aire libre, aunque muy exacto, se usa poco en la práctica, por la gran longitud que sería menester dar a la rama larga para presiones superiores a tres atmósferas.

Cuando se pide determinar presiones poco diferentes de la atmosférica, que se desean medir con mucha exactitud se reemplaza el mercurio por agua, teniendo presente que, 13,6 mm de agua ejercen la misma presión que 1 mm de mercurio.

Manómetros de esta naturaleza se usan para medir la tensión del gas de alumbrado, las presiones que ejercen los líquidos a distintas profundidades, etc.

En este último caso el manómetro *M* (fig 133), va unido al tubo *K* y al *T* que, termina en un embudo tapado por una membrana *AB*. Cuando se sumerge el tubo *T* con su embudo, en un líquido, la membrana *AB* se deforma bajo la presión de aquél, encorvándose tanto más cuanto mayor sea la presión.

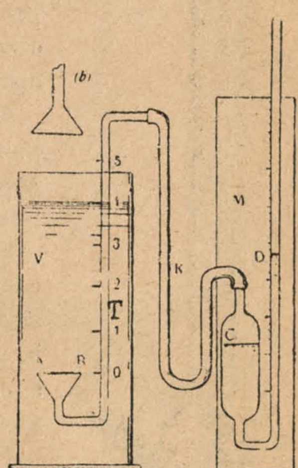


Fig 133.

La membrana *AB*, al deformarse, comprime el aire que existe bajo ella, y transmite la presión por el tubo *T* y la manguera *K* al manómetro *M*. El líquido manométrico bajará en *C* y subirá en *D*, y la presión ejercida sobre *AB* se medirá por la diferencia *CD* de los niveles líquidos.

Por medio de este aparato se ha conseguido demostrar que la presión en los líquidos aumenta proporcionalmente con la profundidad y la densidad, y que es independiente de la forma del vaso V.

Este aparato sirve para verificar experimentalmente la fórmula que hemos ya desarrollado para los líquidos ($p = hd$).

§ 2. **Manómetro de aire comprimido.**—Este aparato se basa en la ley de Mariotte. Consiste en un tubo A (fig 134) lleno de aire de más o menos 40 cm de altura, cerrado en su extremo superior, y sumergido el inferior en un recipiente de fierro fundido lleno de mercurio. Un tubo B, provisto de una llave, comunica con el aire exterior y sirve para adaptarlo al aparato cuya presión se quiere medir.

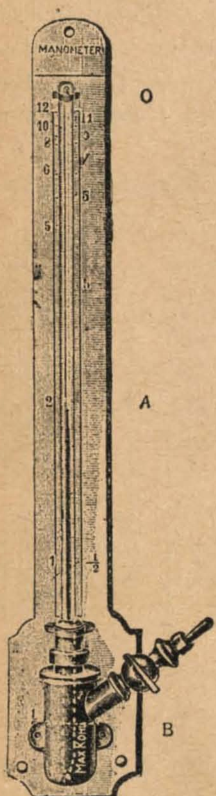


Fig. 134.

Ocupando el mercurio en el recipiente y en el tubo el mismo nivel, se marca el número 1 (presión de 1 atmósfera) de la graduación.

Si ahora se pone este manómetro en comunicación con el aparato cuya presión se quiere determinar, superior a la atmosférica, el mercurio se elevará a cierta altura en el tubo, hasta A por ejemplo.

La presión ejercida sobre el nivel B que se va a determinar es dada por la presión h de la columna de aire comprimido Ao, más la presión de la columna de mercurio AB, lo que nos dice que:

$$2) \quad x = h + d$$

La presión h del aire comprimido se obtiene comparando su volumen actual Ao con su volumen primitivo Bo, según la ley de Mariotte:

$$\frac{h}{b}=\frac{Bo}{Ao} \quad (b \text{ es la presión atmosférica})$$

Ejemplo: La altura $Bo=40$ cm. Aplicando una presión en B, sube el mercurio en $BA=10$ cm. ¿Cuál es la presión x que hay en B?

$x=h+10$ cm.

Se calcula la presión h del aire comprimido:

$Ao=40-10=30$ cm.
$Bo=40$ cm.
$b=76$ cm.

$$\frac{h}{76}=\frac{40}{30}$$

$h=101{,}3$ cm.

luego $x=101{,}3+10=111{,}3$ cm.

En la práctica, estos cálculos no se hacen; porque el tubo va graduado directamente en atmósfera y fracciones de atmósfera.

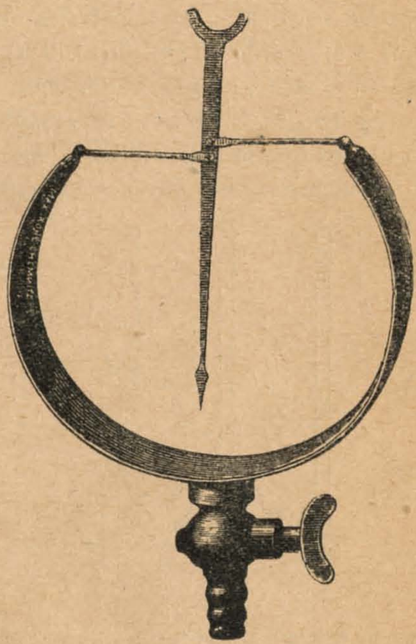


Fig. 135.

§ 3. **Manómetros metálicos**.—El manómetro metálico Bourdon es un instrumento industrial excelente por su sensibilidad y solidez (fig 135). Se compone de un tubo elástico de sección aplanada, en forma de herradura o cerrado en uno de sus extremos y enrollado sobre sí mismo. Si se comunica este tubo con un recipiente en que haya cierta presión, se desenrrolla con una fuerza proporcional a ella, y trasmite su movimiento a una aguja que oscila sobre un cuadrante graduado. La graduación se hace por comparación con un manómetro de aire comprimido.

§. 4. Manómetros para presiones inferiores a una atmósfera—El manómetro que se usa aquí es el barómetro *llamado de sifón.*

Se sabe que cuando la presión sobre el mercurio, en la rama abierta, es igual a la atmosférica, la diferencia de niveles es más o menos de 76 cm (fig. 136 (a). Si la presión es nula, como en el vacío, los niveles del mercurio están a la misma altura (fig. 136 (b). Si se tiene una presión x (fig. 136 (c) cualquiera menor que la atmosférica b, habrá entre los dos niveles una diferencia cd que mide directamente la presión. Este manóme-

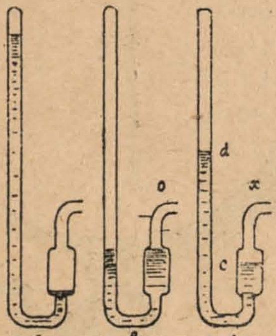


Fig. 136.

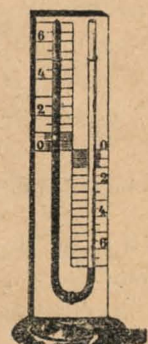


Fig. 137.

tro se usa en la máquina neumática (fig. 137) con la diferencia de que el tubo largo no pasa de 20 a 30 cm, conservando el corto la altura normal.

Como se comprende, el mercurio llenará totalmente el primer tubo, y principiará a descender cuando la presión sea menor que esta altura de mercurio. Este manómetro va dentro de una probeta de cristal atornillada al canal de aspiración de una máquina neumática, para que las presiones sean iguales en la probeta y en el recipiente.

CAPÍTULO VI

Las máquinas neumáticas

Las máquinas neumáticas son aparatos que se emplean para extraer el aire o un gas de un recipiente dado.

Las hay de varias clases: *a*) Máquina neumática de llave (1); *b*) Máquinas neumáticas de válvulas; *c*) Máquinas neumáticas de mercurio; y *d*) Trompas hidráulicas.

§ I. **Máquina neumática de válvulas**.—Este aparato

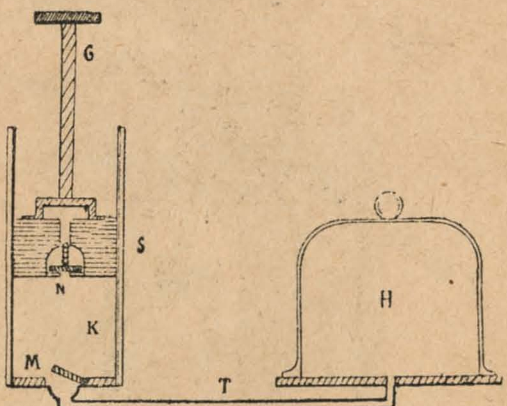


Fig. 138

consta de tres partes: *a*) de un cuerpo de bomba *K* que lleva un émbolo o pistón *S*; *b*) de las válvulas *M* y *N* que se abren de abajo hacia arriba; y *c*) de un disco llamado platina, en cuyo centro se abre un tubo de comunicación *T* que une la campana *H* al cuerpo de bomba *K* (fig. 138).

(1) Las máquinas de llave son muy incómodas, y por tal motivo no se usan en la práctica.

Funcionamiento.—Supongamos que el pistón se encuentre en el fondo. Al levantarlo, se producirá un vacío, más o menos perfecto, bajo él. El aire o gas de la campana *H*, debido a su fuerza elástica, abre la válvula *M* y se espande en el cuerpo de bomba. Si se baja el pistón, se comprime este aire en K, cerrando la válvula *M* y abriendo la *N*, y da salida al aire del interior. En cada pistonazo sale a la atmósfera una fracción del aire de la campana *H*; de aquí proviene la *imposibilidad* de obtener un *vacío perfecto* y sólo sirve esta máquina para efectuar cierto grado de enrarecimiento del aire o del gas.

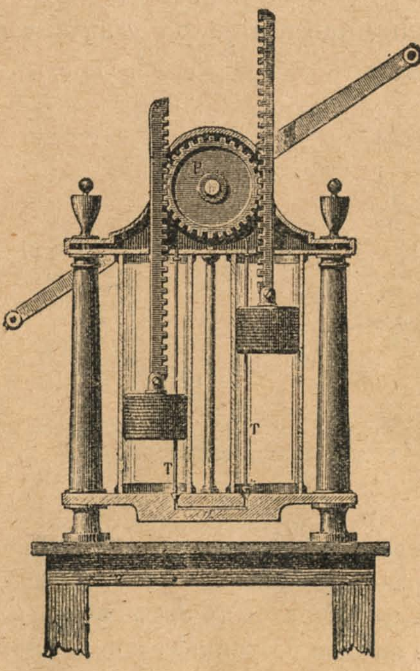


Fig. 139.

Una buena máquina neumática (fig 139) está formada de dos cuerpos de bombas que funcionan alternativamente por medio de una palanca. Las válvulas del fondo funcionan por medio de unas varillas *T* que atraviesan el émbolo con roce muy fuerte, permitiéndole un pequeño movimiento hacia arriba cuando el émbolo sube, y haciéndolo bajar inmediatamente, cuando éste baja.

§. 2. **Máquina neumática de mercurio.**—Esta má-

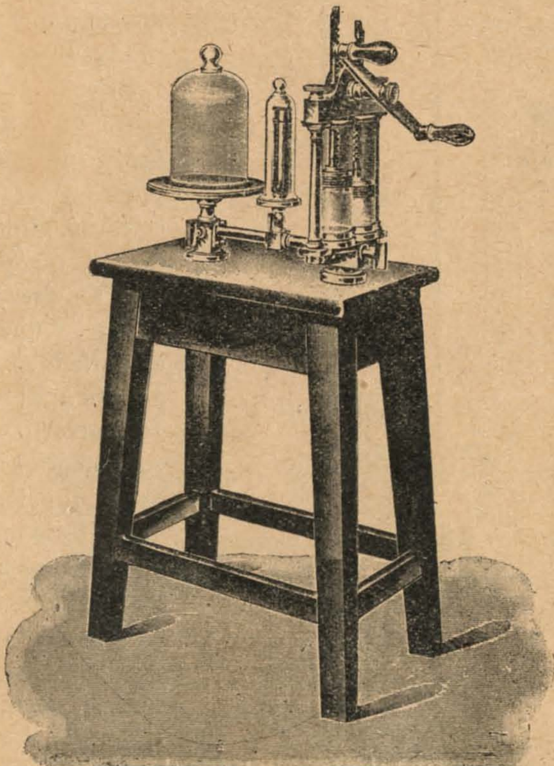


Fig. 140.

quina fué ideada por Geissler y perfeccionada por los hermanos Alvergniat.

Este aparato está fundado en el vacío que se produce cuando el mercurio baja en el tubo de Torricelli.

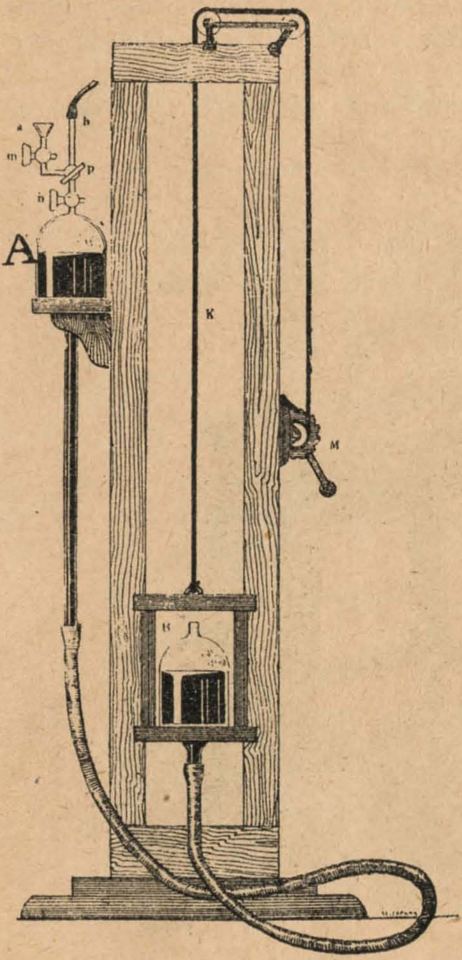


Fig. 141.

La máquina neumática de mercurio está formada por dos recipientes *A* y *B* que contienen mercurio, unidos por una manguera (fig. 141).

El vaso *A*, está fijo, sobre un soporte vertical que, comunica por la llave *p*, ya sea con la atmósfera o con el recipiente del cual se quiere extraer el aire, y que debe ir enchufado a la manguerita *h*. El recipiente *B* es abierto y movible por la correa *K* que se hace funcionar por medio de la manilla *M*.

Funcionamiento. — Supongamos las llaves *n*, *m* y *p* del recipiente *A* abiertas; se hace subir el recipiente *B* hasta una altura tal que el mercurio alcance a llenar el embudito *s*, expulsando así todo el aire encontrado en su camino; se cierran, en seguida, las llaves *m*, *n* y *p* y luego se hace bajar el recipiente *B*. En estas condiciones el aparato constituye un verdadero *barómetro de sifón*, produciéndose así un vacío en la parte superior del recipiente *A*. En este momento, se hace girar la llave *p*, de modo que ponga en comunicación la manguerita *h* con *A*. Se abre, en seguida, la llave *n*, para que el aire del recipiente, del cual se quiere extraer, en virtud de la fuerza expansiva, pasa a la parte superior de *A*, donde presiona un poco al mercurio, obligándolo a bajar en cierta cantidad. Para expulsar este aire, hacemos girar la llave *p*, de manera que establezca la comunicación entre *A* y *s*. Se sube el tubo *B* hasta la altura primitiva y se abre la llave *m* que comunica a *A* con la atmósfera. Se restablece la igualdad de niveles en las dos ramas y el aire es expulsado por *s*. Se repiten en seguida las operaciones indicadas.

Esta máquina, aunque no muy cómoda de manejar, debido al peso del mercurio y al movimiento de las llaves, es la que produce el vacío más perfecto; pues alcanza hasta *0,008 mm.*

Problemas

1. *En la máquina neumática de válvulas, la longitud del tubo T* (fig. 138) *¿influye algo en el enrarecimiento?*

2. *Si el cilindro de una máquina neumática tiene el mismo tamaño que el recipiente ¿qué parte del aire se saca por un golpe de pistón? ¿Qué parte se saca después de 3, 4, 5, 10 golpes de pistón?*

3. *Si el cilindro de una máquina neumática es la* $\frac{1}{3}$ *parte del recipiente ¿qué parte del aire quedará en él después de 5 golpes de pistón?*

4. *¿Qué presión marcaría un barómetro colocado en el interior del recipiente* (prob. 3), *si afuera marca 716 mm?.*

5. *El volumen del aire en el manómetro de una máquina de compresión es igual a 152 litros. Por el funcionamiento de la máquina se reduce a 37 litros y el mercurio se eleva en el tubo* *manométrico a 48 cm. ¿En qué proporción se ha aumentado la cantidad de aire en el recipiente de la máquina?*

6. *Un manómetro de aire comprimido está dividido en 110 partes de igual capacidad. Cuando la presión exterior es de 76 cm, el mercurio en el interior del tubo y de la cubeta permanece en el cero de la escala. Se lleva el manómetro bajo el recipiente de una máquina de compresión, y se ve que el mercurio se eleva hasta la división 80* (fig 142) *y la altura del mercurio en el tubo es entonces de 450 mm ¿Cuál es la presión de la máquina?*

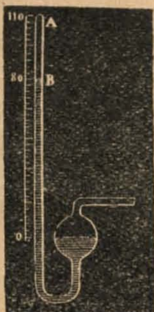


Fig. 142.


Fig. 143

7. *La campana de una máquina neumática contiene 3,17 litros; un barómetro que comunica con la parte superior de la campana* (fig. 143) *marca cero cuando ésta se halla en comunicación con la atmósfera. Se ajusta la campana y se hace funcionar la máquina, el mercurio se eleva entonces en el barómetro a 650 mm. Un barómetro de referencia marca 720 mm. Se pide determinar el peso del aire extraído y el que queda en la campana.*

8. *Está funcionando el émbolo de una máquina neumática; la capacidad del recipiente que se haya lleno de aire y a la presión normal es de 7,53 litros. Determinar* a) *el peso del aire cuando la presión se reduce a 21 mm;* b) *el peso del aire extraído por el émbolo.*

CAPÍTULO VII

Aplicaciones de la presión atmosférica

Debido a la presión atmosférica, los líquidos tienen la propiedad de precipitarse en los espacios donde el aire o gases se encuentran enrarecidos; por esto nos aprovechamos de la presencia de dichas condiciones, cada vez que necesitamos poner en movimiento los líquidos.

§ 1. **El sifón.**—El sifón está formado por un tubo de vidrio o una manguera de caucho. Se usa para trasvasar un líquido de un recipiente que no puede volcarse a otro. El sifón se emplea también para decantar, o sea, para separar la parte clara de un líquido, de su precipitado, sin enturbiar el contenido.

Para hacerlo funcionar, se comienza por cebarlo con el líquido que se quiere trasvasar; esto se hace, llenándolo previamente o aspirando por *b*, (fig 144). Para que se establezca una corriente de líquido en el sifón, es necesario que las presiones en sus extremos sean desiguales; pues, sabemos que un líquido corre de un punto de alta presión a uno de baja presión.

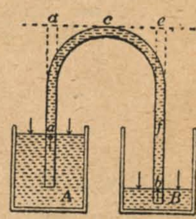


Fig. 144.

Analizando las presiones en los puntos *a* y *b*, se observa que la presión en *a* es igual a la presión atmosférica que se ejerce en la superficie del líquido, disminuída en el peso de la columna líquida *ad*; por su parte, la presión en *b*, es igual a la presión atmosférica disminuída en el peso de la columna *be*.

Como en los dos casos se les resta a una misma cantidad, la presión atmosférica, valores distintos, quedará mayor en el primer caso; pues, restamos un valor menor; y la presión en *a* excederá a la ejercida en b en el peso de la columna fb, y el líquido pasará del vaso A al B, hasta que, fb se haga igual a O; pues, sólo entonces las dos fuerzas serán iguales.

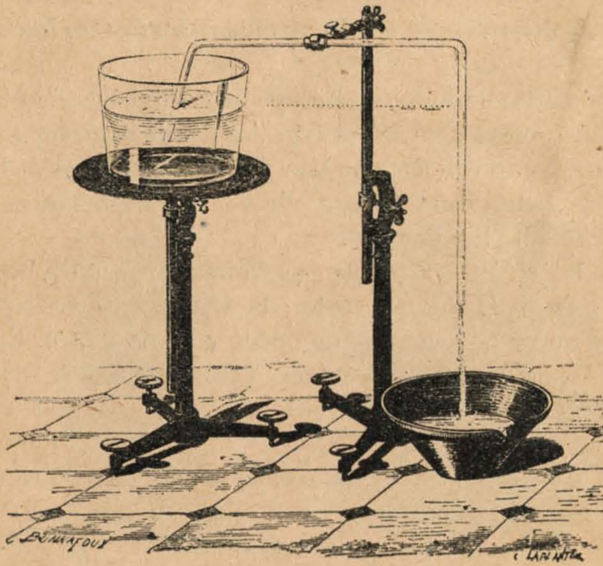


Fig. 145.

Si el vaso B se coloca en un nivel inferior al vaso A, se conseguirá transvasar todo el líquido (fig 145).

Cuando el líquido es corrosivo, ácido sulfúrico por ejemplo, se usa el *sifón de seguridad* que no es otra cosa que un sifón ordinario con un tubo adicional en la rama más larga (fig 146).

§ 2. **La pipeta.**—La pipeta consiste en un tubo abierto en sus extremos y más ancho en la parte central. Este tubo, graduado generalmente en cm^3, se usa en Química para sacar muestras de licores.

Para hacerla funcionar, se introduce en el líquido el extremo inferior y se aspira por el superior; en seguida se tapa con un dedo la abertura superior (fig 147) y se levanta el aparato; hecho esto, el líquido no cae, debido a que la presión atmosférica *b*, ejercida en el extremo inferior, es mayor que el peso de la columna líquida *hd* más el peso de la columna de aire que queda en la parte superior *ha da*.

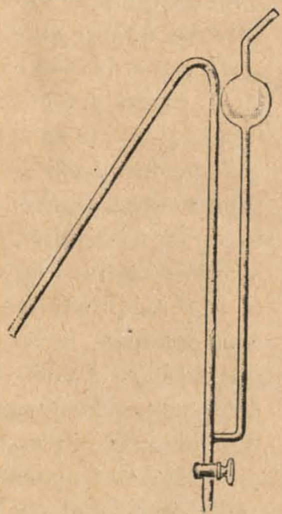


Fig. 146.

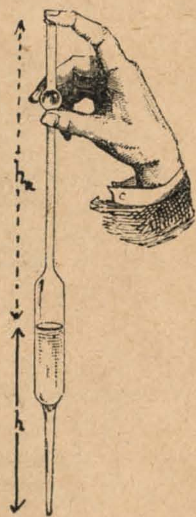


Fig. 147.

§ 3. **Las bombas.**—Las bombas son aparatos que *utilizan la presión atmosférica* para elevar el agua u otro líquido sobre su nivel.

Existen numerosos modelos que podemos clasificar en cuatro grupos: *a*) *Bombas aspirantes*; *b*) *Bombas impelentes*; *c*) *Bombas aspirantes-impelentes*; y *d*) *Bombas rotativas o centrífugas*.

Bombas aspirantes.—Estas bombas se conocían desde los tiempos de Aristóteles (siglo IV A. de J.).

Cualquiera que sea la bomba aspirante, debe constar: 1) de un tubo de aspiración *A* (fig 148) que llega al depósito *R* del cual se quiere extraer el agua; 2) de un cuerpo de bomba cilíndrico *B* en el cual se mueve un pistón *P* por medio de una palanca *L*; y 3) de un sistema de dos válvulas que se abren hacia arriba, una de ellas colocada en el fondo del cuerpo de bomba y la otra en el pistón.

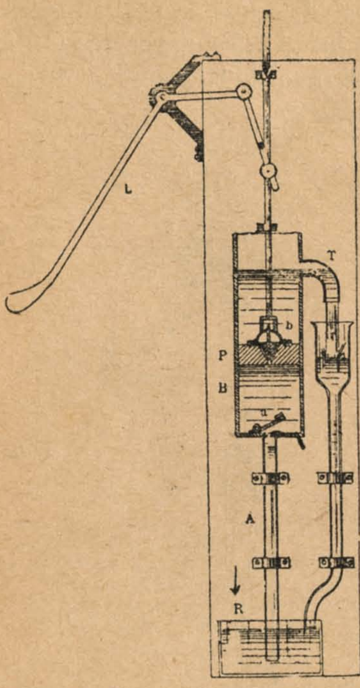


Fig. 148.

Funcionamiento. — Para comprender el funcionamiento de esta máquina, que no es otra cosa que una variante de máquina nemática; consideremos una bomba que no haya funcionado, es decir, que sólo contenga aire. Supongamos el pistón en la parte inferior, aplicado contra el fondo del cuerpo de bomba. Al levantar el pistón, se produce un vacío bajo éste; la válvula *a* se abre por la fuerza elástica del aire contenido en el tubo de aspiración, y la presión atmosférica ejercida sobre la superficie del recipiente *R*, hará subir en el tubo *A*, cierta cantidad de agua. Cuando el pistón desciende, la válvula *a*, se cierra, por su propio peso, ayudada además por la compresión del aire, que sale junto con abrir la válvula *b*.

Al segundo pistonazo, se extrae una nueva cantidad de aire del aparato, que es reemplazado por una nueva cantidad de agua; y así, sucesivamente hasta que el agua llegue al cuerpo de bomba. Decimos entonces que la bomba está cebada. Desde este instante, es el agua y no el aire el que pasa por la válvula del pistón, cada vez que éste desciende, para salir después por el tubo lateral *T*.

Una bomba bien construída debe siempre permanecer cebada, es decir, debe suministrar agua inmediatamente que se necesite; pero, como el pistón y las válvulas no ajustan herméticamente en los conductos, el aire penetra en ellos y las desceba, contrayéndose el cuero del piston por la desecación.

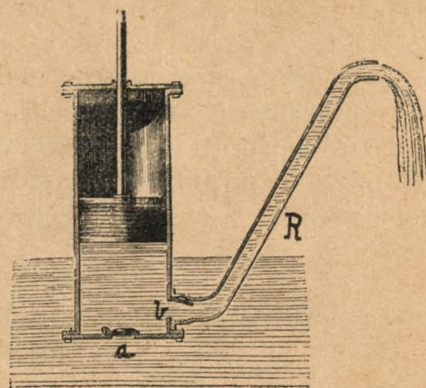


Fig. 149.

Por este motivo, cuando se quiere hacer funcionar una bomba que ha estado sin uso durante largo tiempo, se debe agregar agua por la parte superior, con el fin de hinchar la suela.

La altura del tubo de aspiración *A* debe ser siempre menor de 10,336 m, valor medio de la presión normal equilibrada con agua. La longitud de este tubo depende también de la altura sobre el nivel del mar donde se encuentre la bomba, y de la mayor o menor perfección de las válvulas.

Bombas impelentes.—Estas se distinguen de las ya descritas, por la ausencia del *tubo de aspiración* y de la válvula del pistón, macizo, en el presente caso. (fig 149). El cuerpo de bomba se sumerge directamente en el recipiente. Las válvulas *a* y *b* se abren hacia arriba.

Funcionamiento.—Cuando el pistón se levanta, *a* se abre, y el agua penetra, por la acción de la presión atmosférica, en el cuerpo de bomba. Cuando se baja el pistón, comprime el agua que cierra la válvula *a*, y abre la *b*, haciendo subir el agua por el tubo de lanzamiento.

La altura a que puede subir el agua en tal bomba, depende de la resistencia de las válvulas.

Para economizar fuerza, es necesario que la sección del pistón sea pequeña por estar sometido, en su base inferior, a la presión del líqido del tubo de lanzamiento.

Bombas aspirantes-impelentes. Estas son sólo una combinación de las dos bombas descritas anteriormente (fig. 150).

En todas las bombas descritas hay salida de líquido sólo cuando se baja el pistón, lo que produce un chorro intermitente. Si se quiere obtener un chorro continuo, se hace uso de una cámara de aire que se coloca en el camino de la válvula *b* (fig. 151), se obliga a penetrar en ella al agua. Ésta, al comprimir el aire en la parte superior, lo obliga, por virtud de su reacción, a producir el chorro continuo.

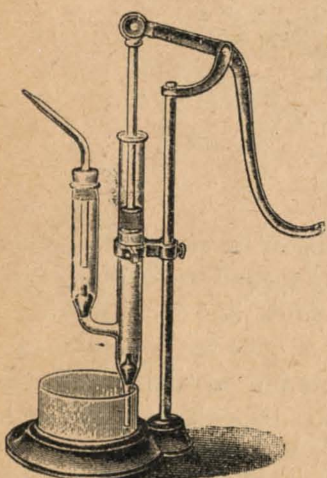


Fig. 150.

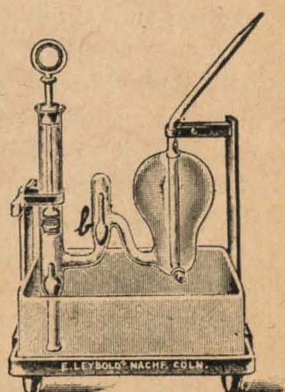


Fig. 151.

La fig. 152 es un modelo completo de una doble bomba aspirante - impelente con cámara de aire, que fué usada antiguamente como bomba de incendio y funcionaba por la acción de dos hombres colocados en los extremos de la palanca superior.

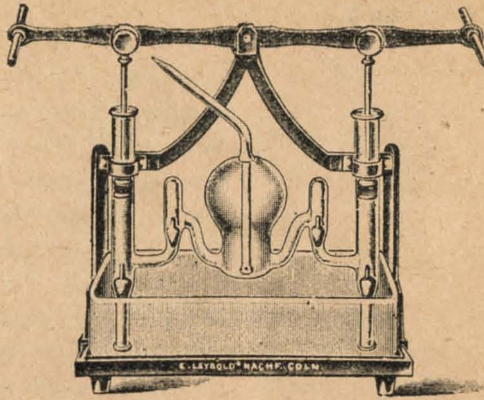


Fig. 152.

Bomba rotativa o centrífuga.—Esta bomba está formada por una caja (fig. 153) en cuyo interior hay un eje *A* provisto de una serie de paletas inclinadas que giran rápidamente movidas por un motor. Al girar absorben el agua por el tubo *B* y la impelen tangencialmente por *C*. Estas bombas se usan, principalmente, para enfriar los motores de automóviles.

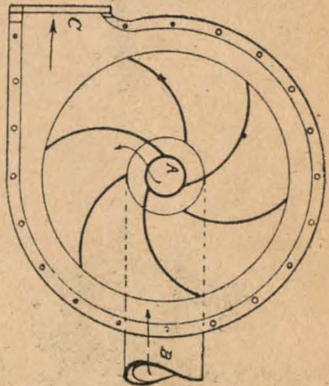


Fig. 153.

Problemas

1. *¿Por qué se coloca una llave en el extremo de la rama más larga del sifón de seguridad?* (fig. 146).

2. *¿Puede funcionar el sifón en el vacío?*

3. *¿Qué altura máxima debe tener la rama más corta del si-*

fón, aquí en Santiago, para transvasar a) agua, b) mercurio, c) glicerina, y d) alcohol?

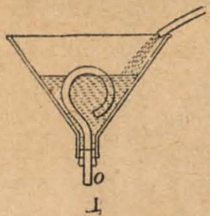


Fig. 154.

4. *Si se llena el vaso* (fig. 154) *hasta que la superficie líquida cubra el pequeño sifón, el vaso se vaciará hasta cierto punto. ¿Cuál es éste y por qué?*

5. *¿Qué fuerza hace correr por un sifón de 1,5 cm.^{2} de sección, ácido sulfúrico, si la diferencia de nivel entre las dos ramas es de 20 cm?*

6. *La fuente intermitente* (fig. 155), *formada de un globo de vidrio C, cerrado herméticamente con un tapón esmerilado, tiene dos o más tubitos D para la salida del líquido. Un tubo de cristal A, abierto por sus extremos, penetra en el globo C y el otro extremo termina cerca de un orificio central de una cubeta B, de modo que aquél deje salir menos agua que la que proporcionan los tubitos D.*

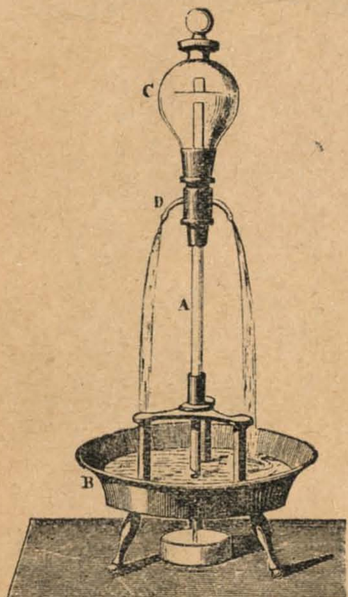


Fig. 155.

a) *¿Por qué si se llena de agua el globo C, sale el líquido por los orificios D hasta que el nivel del agua en la cubeta B tape el extremo inferior del tubo A?*

b) *¿Qué principios demuestra el funcionamiento de la fuente intermitente?*

c) *¿Por qué se restablece nuevamente la salida del líquido por los tubos D, cuando queda descubierto el extremo inferior del tubo A, a causa de la salida del líquido por el orificio central de la cubeta B?*

7. *El vaso abierto de la fig. 156 tiene un orificio O situado a una profundidad h ¿qué fuerza hace salir el líquido por el orificio O?*

8. *Si se tapa herméticamente el vaso (fig. 156) el líquido saldrá hasta cierto momento ¿por qué?*

9. *Si la altura del aire encerrado dentro del vaso (fig. 156) es a, al estar el vaso lleno hasta la altura h ¿qué altura x tendrá el líquido en el momento en que deja de salir del vaso, cuando aquel se cierra herméticamente?*

10. *Se desea sacar agua de un pozo en que el líquido se encuentra a 5 m, por medio de un sifón, siempre que esto sea posible. ¿Qué longitud mínima deberá tener el tubo que se emplee?*

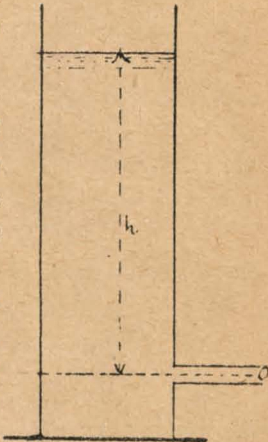


Fig. 156.

11. *Pascal demostró que un sifón no funcionaba si la rama más corta se doblaba a una altura vertical mayor de 10,33 en caso de hacer el experimento al nivel del mar. ¿Por qué sucede esto?*

12. *Tómese un sifón de la forma indicada en la fig. 157, llénese el matraz hasta la mitad de agua e inviértase. Entonces tendremos una corriente de agua en el sentido indicado por las flechas. ¿Por qué sucede esto? ¿Debe haber alguna relación entre la longitud de las dos ramas?*

13. *¿Por qué en una bomba aspirante hay que hacer más y más fuerza a cada golpe de pistón hasta que el agua comienza a salir?*

14. *¿Qué fuerza se necesita para levantar el pistón de una bomba aspirante (fig. 158), si la altura de su tubo de aspiración es de h cm y la superficie de la base del émbolo es S cm², con-*

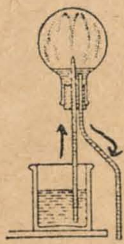


Fig. 157.

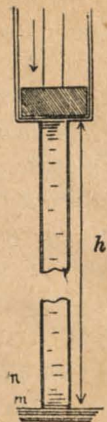


Fig. 158.

siderando: **a**) *el pistón en la parte inferior de su curso y el tubo de aspiración lleno de agua;* **b**) *la bomba está llena de agua hasta el orificio de salida?*

CAPITULO VIII

El aire comprimido y sus aplicaciones

§ I. **Máquinas de compresión.**—Una máquina de compresión no es otra cosa que una máquina neumática con las válvulas invertidas: la válvula que se cerraba cuando el pistón subía, en una máquina neumática, aquí se abre, y viceversa.

La máquina de compresión más sencilla se compone de un

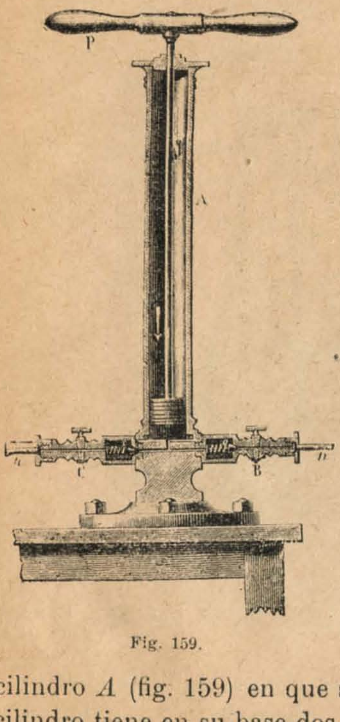


Fig. 159.

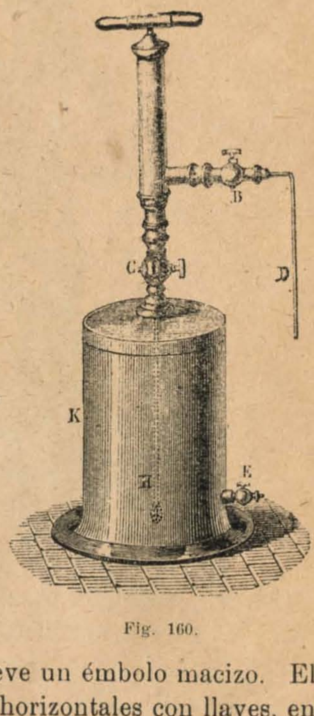


Fig. 160.

cilindro A (fig. 159) en que se mueve un émbolo macizo. El cilindro tiene en su base dos tubos horizontales con llaves, en los cuales hay dos válvulas *O* y *s* que se abren en sentido opuesto, sirviendo la primera para la aspiración y la segunda para la impulsión. Esta máquina se emplea principalmente para disolver anhidrido carbónico en agua y formar, así, el agua de Seltz artificial.

Con este fin, se atornilla la máquina en la misma vasija y se coloca la válvula de compresión en la base del cuerpo de bomba; puesto en comunicación el tubo *D* con el depósito que contiene el gas que se quiere absorber, la bomba lo aspira y lo impele a la vasija *K*, donde se disuelve (fig. 160).

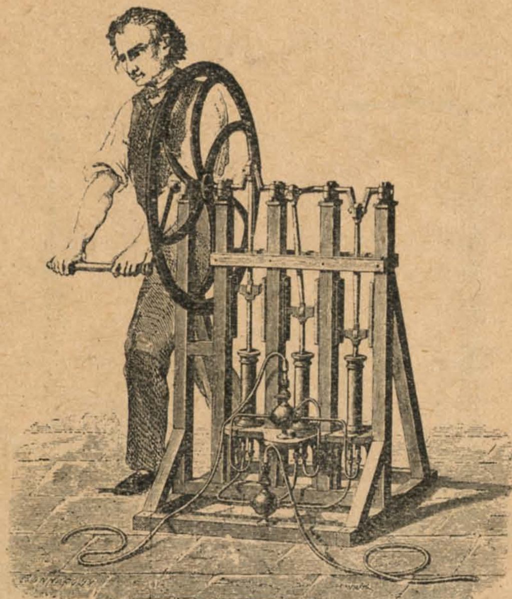


Fig. 161

Con bombas de compresión acopladas (fig. 161) se fabrican las aguas gaseosas artificiales.

Pero la máquina de compresión más sencilla, la encontramos representada en las bombas que se emplean para inflar los neumáticos de las bicicletas y automóviles: una válvula se reemplaza por una pieza de cuero de un diámetro mayor que el interior del cilindro, atado flojamente a un pistón metálico. Cuando éste se levanta, el aire pasa entre el cuero y el cilindro;

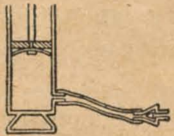


Fig. 162.

Fig. 163.

cuando el émbolo baja, el cuero se comprime en el sentido de las paredes del cilindro (fig. 162).

En los neumáticos de bicicletas y automóviles, la bomba lleva sólo una válvula, y la otra va en el neumático mismo.

§ 2 **Matraz lavador.**—Este aparato está formado por un frasco cuyo gollete lleva un tapón con dos aberturas (fig. 163);

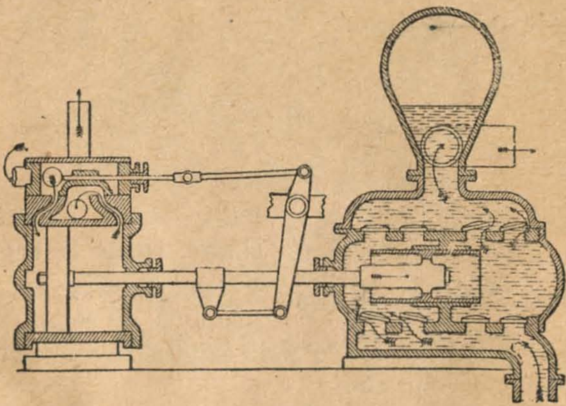


Fig. 164.

por una pasa un tubo que llega hasta el fondo, y por la otra, un tubo corto por el que se sopla, con el objeto de ejercer una presión sobre la superficie del líquido, obligándolo a subir por el primer tubo, y a salir en forma de un chorro fino.

§ 3. **Bomba de incendio.**—La bomba moderna de incendio se compone de una gran cámara de aire comprimido, donde penetra el agua, empujada por un émbolo poderoso que se mueve debido a un motor a vapor o bencina. La inspección de la sola fig. 164, basta para comprender el funcionamiento de esta máquina.

§ 4 **Campana de buzo.**—Esta se compone de una gran campana pesada, de paredes resistentes, que se sumerge mediante su propio peso, y lleva en su interior los trabajadores y los materiales (fig. 165).

En un principio, los hombres que iban en el interior de la campana disponían sólo de la cantidad de aire encerrada por ella, y a medida que la campana comenzaba a bajar, el agua penetraba en el in-

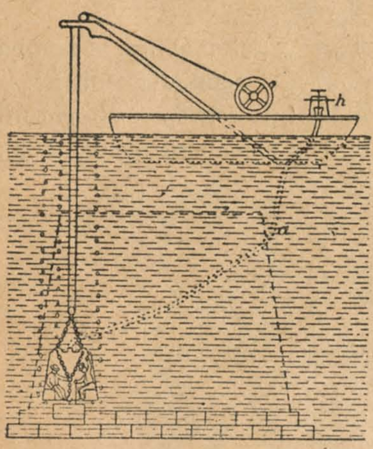


Fig. 165.

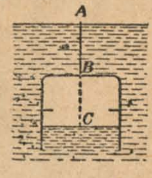


Fig. 166.

terior de ésta y comprimía el aire. Desde la superficie, por un tubo *a* y por una máquina de compresión *h*, se proporcionaba aire fresco y se expulsaba completamente el agua que había entrado.

Estando la campana anclada, el exceso de aire subía en forma de burbujas. La presión del aire en el interior de la campana es igual a la presión del agua a esa profundidad. Así, por ejemplo, si en la distancia $AC = 10,336$ m, (fig. 166) la presión será igual a un poco más de una atmósfera, si la campana se sumerge en el mar. Las campanas de los buzos se usan para trabajos submarinos. Estos han llegado hasta una profundidad de 61 m.

El aire comprimido ha encontrado aplicaciones, para expeler el agua de los cajones metálicos destinados a formar los cimientos de los pilotes de los puentes.

La fig. 167 representa la instalación de una de estas obras de

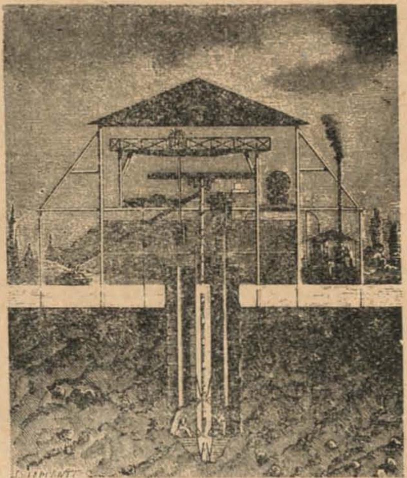


Fig. 167.

cementación. En el interior de uno de estos cajones, se ve a los trabajadores extrayendo escombros. La cámara, gran campana de buzo, está abierta en su base inferior, al paso que la superior, tiene tres aberturas que rematan en otras tantas chimeneas de hierro. Las laterales comunican simplemente con el interior de la caja, y la central desciende hasta más abajo de la base inferior de la cámara. Con ayuda de máquinas insuflantes (se ven instaladas en un buque a la derecha del grabado) se hace penetrar el aire en las dos chimeneas laterales que rechazan poco a poco el agua de que está llena la caja. La chimenea central es, pues, la única que contiene agua. Los trabajadores bajan por las chimeneas laterales por unas cámaras que forman esclusas.

Cuando se trata de efectuar trabajos más o menos sencillos, se reemplazan los aparatos descritos por la escafandra, que consiste en un casco de metal que forma parte de un traje de goma (fig. 168) puesto a veces en comunicación con la superficie por medio de un tubo que conduce el aire comprimido. Por lo general el buzo queda independiente del tubo, y lleva el aire comprimido en un saco, sobre sus hombros, a una presión más o menos de 40 atmósferas. Este aire es susceptible de escapar por la válvula *v*, a voluntad.

Fig. 168.

Si el buzo quiere subir a la superficie, abre una llave que posee el saco y que intercepta la comunicación con la escafandra. El aire al pasar a la escafandra la infla poco a poco, y el buzo sube a la superficie.

En todos los casos, los buzos están sometidos a las presiones que existen en las profundidades donde se hallen. La profundidad máxima, sin peligro, es de 30 m.

Los buzos sienten dolores en los oídos y en los ojos cuando suben o descienden; pero no cuando están en reposo, debido a que se necesita cierto tiempo, para que penetre o salga el aire de las cavidades internas del cuerpo, con el fin de igualar la presión interior con la exterior.

§ 5. **Frenos automáticos.**—El diagrama representado por la fig. 169 señala las partes esenciales de los frenos Westinghouse, destinados a detener en pocos segundos un tren que corre a gran velocidad. Estos frenos se hallan en uso en los ferrocarriles chilenos; y por este motivo los describiremos: *P*, es un tubo que va a la locomotora, donde una máquina de compresión mantiene el aire en el cilindro principal a una presión de más o menos $5\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$, *R* es un depósito auxiliar que va debajo de cada carro y está unido con *P* por una válvula triple *V*, es decir, una válvula que ejecuta tres movimientos automáticos. Mientras la presión de la máquina actúa en *P*, la válvula *V* se abre de tal manera que establece una comunicación directa entre *P* y *R*. Pero tan pronto como la presión en *P* disminuya, ya sea por voluntad del maquinista o por la ruptura accidental de la unión *K* que une *P* de carro a carro, el aire comprimido en *R*

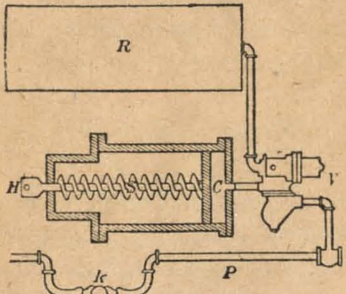


Fig. 169.

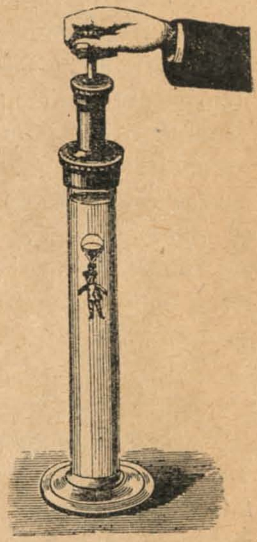


Fig. 170.

abre la válvula *V* e interrumpe, al mismo tiempo, la comunicación entre *R* y *P*, estableciendo la que existe entre *R* y el cilindro *C*.

El pistón *H*, es entonces, empujado hacia la izquierda fuertemente, y aprieta los frenos contra las ruedas. Cuando se desea quitar los frenos, se manda aire comprimido por *P*, operación que abre la válvula triple *V*, en tal forma que perm te escaparse al aire comprimido en *C*, y hace que el resorte *S* empuje hacia atrás los frenos separándolos de las ruedas.

§ 6. **Flotador cartesiano.**—Es un aparatito inventado por Descarte (1596-1650) que sirve para ilustrar al mismo tiempo el principio de Pascal, el de Arquímedes y la compresibilidad de los gases.

Es simplemente una figurita hueca de vidrio (fig. 170) que lleva una abertura en su parte inferior y flota en un cilindro con agua. Presionando la parte superior del vaso por medio de un émbolo, el monito desciende, junto con penetrar en su interior cierta cantidad de agua que hace aumentar su peso. Si se quita la presión, el aire comprimido del interior de la figurita expulsa el agua que había penetrado y el aparato alivianándose sube a la superficie. Este aparatito sirve de base a los submarinos, enormes flotadores cartesianos provistos de ciertos estanques en los cuales se hace entrar el agua cuando se quiere sumergir a la nave, después, por medio de poderosas bombas de aire comprimido, se expulsa esta agua del interior de los estanques y el submarino vuelve a flotar..

Problemas

1. *En una máquina de compresión, el volumen del cuerpo de bomba es de 100 cm*^{3}*, y el de un neumático, que se comprime con tal bomba, es de 8 l. ¿Cuántos pistonazos es necesario dar para que resulte en el neumático una presión de 4 atmósferas?*

2. *Los correos neumáticos son tubos por los cuales va un carrito que lleva la correspondencia del correo central a las sucursales. Se mueve por bombas de aire comprimido y enrarecido, que se colocan en los extremos del tubo. Si la densidad del aire en un lado del carrito es la* $\frac{1}{4}$ *parte de la que tiene el aire en el otro lado ¿qué fuerza mueve al carro, si su sección es de 50 cm*^{2}*?*

3. *Si el cilindro C del freno automático (fig. 169) tiene un diámetro de 20 cm., ¿cuál es la fuerza que aplica en H, siendo la presión en C de 30 libras por cm²?*

4. *Si una campana de buzo (fig. 166) se sumerge a 30 m, bajo la superficie del agua del mar ¿a qué fracción del aire primitivo se ha reducido el aire en su interior?*

5. *Si una cámara de buzo tiene el volumen de 2 m³ y contiene aire a 40 atmósferas ¿a qué volumen se espanderá el aire cuando se lleva la campana de la profundidad en que estaba, a una de 10 m?*

6. *Se lleva una campana de buzo a 10,33 m. de profundidad bajo el nivel de un lago ¿cuál será la densidad del aire en su interior, si en la superficie del mar, era de 0,0012? ¿Qué presión marcaría un manómetro colocado dentro de la campana?*

7. *¿De qué manera el flotador cartesiano (fig. 170) ilustra los principios de Pascal, de Arquímedes y de transmisión de presión de los gases?*

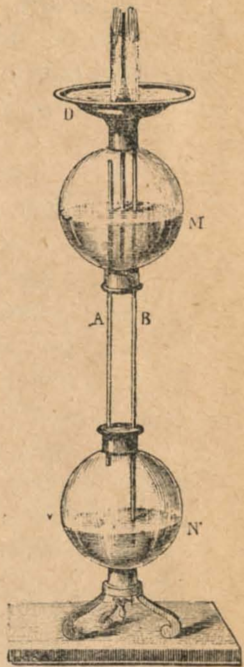


Fig. 171.

8. *La fuente de Herón, se compone de una fuente D y dos globos de vidrio M y N, comunicado por sus partes superiores por el tubo A (fig. 171). El tubo B comunica la fuente D con el extremo inferior del globo N. Por fin, existe un tercer tubo que penetra hasta el fondo del recipiente M, y su extremo superior termina en un orificio un poco más alto que él.*

Si se vierte agua en la cubeta D hasta que cubra el orificio inferior del tubo en el globo N, y quitando el tubo central se *agrega agua al vaso M hasta más de la mitad, ¿por qué si entonces agregamos agua a D, veremos que por el orificio central salta el agua en forma de surtidor?*

Fig. 172.

¿A qué altura se elevará el chorro de agua a partir de M?

9. *Se tiene un matraz con un poco de agua (fig. 172), si se sopla por el tubo, ¿qué sucede después de retirar la boca?*

CAPÍTULO IX

Los globos aerostáticos

§ 1. Principio de Arquimedes aplicado a los gases. —El principio de Arquímedes estudiado en los líquidos rige también para los gases:

Un cuerpo sumergido en un gas, pierde una parte de su peso igual al peso del volumen de gas que desaloja.

Esto se demuestra por el baroscopio (fig. 173) que es una palanca de primera clase, provista en un extremo de un globo de vidrio de gran volumen, equilibrado en el otro extremo por una pesa metálica de pequeño volumen. Si se coloca el aparato bajo la campana de una máquina neumática y se extrae el aire, se notará que el equilibrio se rompe a favor del globo. Esto nos dice que el globo perdía en el aire mayor peso por desplazar mayor cantidad de gas.

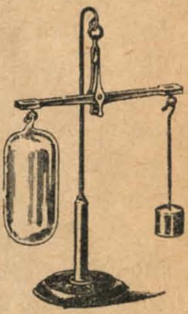


Fig. 173.

§ 2. Los globos aerostáticos.—La invención de estos aparatos data de más de un siglo.

Llamamos globos aerostáticos a los aparatos destinados a elevarse en la atmósfera, en *virtud del exceso de empuje sobre el peso de ellos.* La altura a que los globos pueden llegar depende, naturalmente, de la diferencia anotada más arriba. Algunos tripulantes han pasado de 9 000 m.

Los globos aerostáticos se dividen en mongolfieres o *globos de aire caliente, globos de hidrógeno* y *de gas de alumbrado.*

A) **Los Mongolfieres,** fueron ideados por los hermanos Mongolfier, de Annonay (Francia). La primera ascensión pública se efectuó el 5 de Junio de 1783. Como el aire caliente es menos denso que el aire frío, resulta que un globo de tejido liviano, inflado de aire caliente pesará menos que el aire atmosférico desplazado por el globo; el cual se elevará, si se tiene cuidado de mantener esta diferencia de temperatura, con ayuda de una esponja empapada en alcohol que se enciende bajo la abertura inferior del aparato. A pesar de ser peligroso este procedimiento, se usa por la facilidad y rapidez con que se obtiene la inflación.

B) **Globos de hidrógeno.**—Estos fueron inventados poco después de los mongolfieres, por el físico Charles.

El hidrógeno, por ser 14,44 veces más liviano que el aire (a presión y temperaturas iguales) aumenta considerablemente la fuerza ascencional del aerostato; pero tiene el inconveniente de su gran difusibilidad; es decir, atraviesa rápidamente los poros de la envoltura del globo. Por eso se le reemplaza generalmente por *el gas de alumbrado* (1) menos liviano, es verdad, pero también menos difusible.

§ 3. **Partes esenciales de un globo.**—En todo aerostato se distinguen (fig. 174):

a) La envoltura: De seda o algodón, barnizada o forrada en caucho, de forma esférica o compuesta de husos verticales bien unidos entre sí. Hacia abajo, la envoltura se prolonga en una *manga* cilíndrica que sirve para la inflación. Durante la ascensión, esta manga permanece abierta, a fin de dar salida al gas dilatado por la disminución de la presión externa.

Los globos dirigibles han adoptado formas variadas, generalmente son alargados en sentido horizontal y comprimidos lateralmente.

b) La red: que cubre la envoltura y se liga a la barquilla

---

(1) *El primer globo de gas de alumbrado se elevó en Héverlé, cerca de Lovaina, el 21 de Noviembre de 1783, bajo la vigilancia del descubridor del gas, Minkelers, profesor de la Universidad de Lovaina.*

o mejor a un círculo de suspensión, interpuesto entre el globo y la barquilla.

Su papel principal consiste en distribuir uniformemente el peso en la parte superior del aerostato.

c) *La barquilla:* canastillo de mimbre en donde van los aeronautas, el lastre y los accesorios.

d) *El lastre:* compuesto de sacos de arena que se dejan caer a medida de las necesidades para alivianar el globo y hacerlo

Fig. 174.

subir. La cuerda-guía es una larga cuerda de unos 140 ms. suspendida libremente en el espacio. Al descender el globo, la cuerda toca tierra, amortiguando la velocidad del aterrizaje.

e) *La válvula:* dispuesta en la cima de la envoltura y cerrada firmemente por un resorte. Esta válvula funciona por medio de una cuerda, el gas se escapa por ella y el globo desciende.

f) *Los accesorios*: consisten en cierto número de instrumentos, tales como: barómetros para saber la presión de las capas de aire que se atraviesan y, por lo tanto, su altura; el termómetro, higrómetros, brújulas, una ancla, anteojos, cronómetros, etc.

§ 4. **Dirección de los globos.**—Los globos ordinarios llamados también «esféricos», dotados únicamente de fuerza ascensional y no de una potencia motriz propia, son arrastrados por las corrientes atmosféricas.

Muchos ensayos se han hecho para imprimir a los aerostatos, por medio de diversas clases de motores, de una hélice y de un timón, una velocidad y una dirección propia.

Desde la adaptación de motores livianos a esencia, en los globos dirigibles, estos han dado en manos hábiles resultados notables. Las preferencias de los especialistas se dividen entre los dirigibles desmontables y desinflables y los *rígidos* (sistema Zeppelin), de armazón de aluminio con un gran número de globos pequeños en el interior. Estos últimos son menos manejables, pero más potentes que los primeros.

§ 5. **Fuerza ascensional.**—Esta fuerza es igual al empuje del aire P' disminuído en el peso P del globo.

$$F = P' - P.$$

Si V (m^3) indica la capacidad del aparato y l el peso del m^3 de aire (1,30 kg más o menos). Vl será el peso del aire desplazado. Si l' representa el peso de gas por m^3 tendremos que Vl' será el peso total del gas que encierra el globo. Si designamos por K el peso de la envoltura y los accesorios, tendremos:

1) $F = Vl - (Vl' + K) = V\ (l - l') - K$.

Para el uso de esta fórmula vamos a dar algunas indicaciones numéricas:

El valor medio $l - l'$ diferencia entre los pesos por m^3 del aire y del gas del globo, es de **200 grs** para el aire caliente; de **650 grs** para el gas de alumbrado, de **1 100 grs** para el hidrógeno. En cuanto a la envoltura, el peso por metro cuadrado de tela encerada es: **400 grs** para tela de *algodón*, **200 grs** para tela de *seda* de la China y **150 grs** para *tafetán*.

Problemas

1. *En las regiones inferiores de la atmósfera la presión disminuye alrededor de 0,1 mm de mercurio por cada metro de elevación. ¿Qué dilatación experimentará un globo de hidrógeno por cada metro de elevación?*

2. *¿De qué depende la altura máxima a que puede alcanzar un globo en su ascensión?*

3. *¿Cuál es el poder ascensional de un globo de hidrógeno que tiene un volumen de 1 000 l. si pesa 40 kg con sus accesorios?*

4. *¿De qué tamaño debe ser un globo de hidrógeno que debe elevar 30 kg (incluyendo el peso del globo?)*

BANDERA 130
IMP. UNIVERSITARIA