

Shes 4° 1°

NOCIONES

Mediones de Onimica Tangala DE con sprincipa de dabotarorio

FISICA

Moriant de Van Commis Organ Paris de Commis de Van Commis

EXPERIMENTACION

DEL MISMO AUTOR

- Nociones de Química Inorgánica con prácticas de laboratorio, 1 tomo de 533 páginas (2ª edición), agotada.
- Nociones de Química Orgánica con prácticas de laboratorio, 1 tomo de 428 páginas (3ª edición), agotada.
- Nociones de Química para Escuelas de Comercio, 1 volumen de 210 páginas (2ª edición).
- Elementos de Física para Escuelas de Comercio, 1 volumen de 222 páginas.

EN PREPARACION:

Nociones de Física y su Experimentación. (2ª Parte). Optica - Magnetismo - Electricidad.

Sala

LICURGO PIAZZA

PROFESOR TITULAR DE QUIMICA, FISICA Y QUIMICA INDUSTRIAL

NOCIONES

DE

FISICA

Y SU

EXPERIMENTACION

RESPONDE AL PROGRAMA OFICIAL

PARA USO DE ESCUELAS NORMALES, COLEGIOS NACIONALES

E INSTITUTOS SECUNDARIOS

Dibujos originales del autor

20-24

DISTRIBUIDOR: M. TATO
LIBRERIA "LA NENA"

Callao 410

150 492011

LICURGO PLAZZA

NOCIONES

FISICA

EXPERIMENTACION

Es propiedad del autor. Queda hecho el depósito de ley. Dibujos originales registrados.

PROLOGO

La estructura de este libro, ha sido trazada, teniendo por base el programa de Física que rige en Escuelas Normales, Colegios Nacionales y demás institutos secundarios.

Sea por razones de tiempo, o más seguramente por incomprensión, generalmente se descuida el estudio de la Física en lo teferente a concepto y luego se apela a la memoria para salir airoso en el trance de la prueba final. Olvida el estudiante y a su vez el profesor de recomendarlo, que las nociones del conocimiento de los fenómenos físicos, significan acervo inexcusable como evidencia de mediana cultura.

El fenómeno físico es de apariencia diaria, tan consecuente que muchos llegan a ser caudal de empirismo en los seres de escasa educación intelectual.

Estudiar Física, debe ser pues, un afán de enriquecimiento cultural y no, como sucede, una obligación para estar en condiciones de apropiada respuesta.

Sobre este criterio, se ha procurado ser elementalmente claro y concreto en la exposición de los temas, sin cientifismo estricto o excesivo; en referencia inductiva y deductiva, asociando en lo posible el estudio con la observación de los hechos que diariamente acontecen a nuestro alrededor.

No obstante ser la Física una ciencia matemática, alentando el criterio de que, no todos los alumnos han de tener igual predisposición a su estudio, y que los afectos al mismo tendrán oportunidad de profundizar el conocimiento científico en cursos más superiores o de especialización, se han evitado los razonamientos esencialmente

matemáticos, usando de ellos únicamente en casos imprescindibles, como norma para alejar la antipatía que su estudio pudiera generar.

No es éste, pues, un libro de consulta. Tampoco un texto que pudiéramos llamar completo. Es sencilla y modestamente el desarro-llo elementalísimo del programa, cuidando los detalles de tiempo y exacta posibilidad de clara comprensión del alumnado.

Como en obras anteriores, se ha cuidado la limpieza del dibujo lineal semiesquemático, con sentido de la realidad, dando, diremos, la visión materializada de la expresión, como complemento valioso de adquisición de concepto y de recordación.

Las experiencias de gabinete, en número reducido, en correspondencia y al final de las exposiciones, son, en base a la práctica las posibles de efectuar por parte del alumno en trabajo individual.

Conforme a las manifestaciones que anteceden, son éstas las páginas de un relato elemental de estudio físico, cuyo único anhelo es llegar a ser simpáticas acompañantes del alumnado que se inicia en la asignatura.

A la aceptación y valioso juicio de los mismos, quedan.

Enero 1940

EL AUTOR.

INTRODUCCION Y GENERALIDADES

La materia. — Propiedades fundamentales. — Física y Química. Hipótesis. — Teoría. — Ley. — Fórmulas. — Física y sus relaciones.

Todo lo que sea capaz de impresionar nuestros sentidos, con la condición de que ocupe un lugar en el espacio, puede ser considerado como materia (1). Todos los cuerpos de la Naturaleza están constituídos por materia y se denominan cuerpos por ser una porción determinada o limitada de materia.

Un mismo cuerpo puede estar constituído por distintas clases de materias y cada una de éstas tener propiedades que las caracterizan.

Así, un terrón de azúcar es un cuerpo, un caramelo también lo es, pero las substancias son distintas. Nos referimos a materia cuando hablamos en términos generales; decimos substancia al hablar de una clase de materia. Por ejemplo: todos los metales son materia. La sal, el azúcar, el alcohol, cobre, plata, plomo, etc., son substancias.

La materia tiene propiedades esenciales o fundamentales y generales.

Son propiedades fundamentales:

La extensión, o sea el lugar que ocupa un cuerpo en el espacio;

la impenetrabilidad, en virtud de la cual es imposible

⁽¹⁾ Definición debida a Descartes.

que un mismo espacio sea ocupado por dos cuerpos simultáneamente.

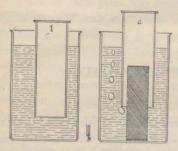


FIG. 1. — Impenetrabilidad.

Cuando el agua es recibida por el vaso, aunque no se vea, desaloja igual volumen de aire. Se hace visible la propiedad de impenetrabilidad, como lo enseña la figura 1, introduciendo un vaso vacio, invertido, en una vasija donde se encuentra un sólido sumergido. Apenas el sólido comienza a entrar en el vaso desaloja igual volumen de aire que

se hace visible en forma de burbujas.

Podemos considerar como propiedades generales:

La movilidad por la cual puede variar la posición de un cuerpo en el espacio con respecto a otro considerado fijo.

La inercia, propiedad general, definida por Galileo, en virtud de la cual los cuerpos no pueden de por sí ponerse en movimiento, y una vez en este estado no pueden modificarlo.

La compresibilidad y la dilatabilidad, propiedades en relación con la presión y la temperatura.

Un cuerpo sometido a la presión disminuye de volumen, se comprime; calentado, aumenta de volumen, se dilata. Estas propiedades de disminuir o aumentar de volumen comprueban la existencia de poros. La porosidad es también una propiedad general de la materia; debida al hecho de que ésta no es un todo continuo, sino que está formada por pequeñas partículas y entre las mismas existen espacios, que son los mencionados poros.

La divisibilidad es otra propiedad general de la materia. En efecto, la experiencia nos demuestra que, la materia es divisible. Un ladrillo, una barrita de tiza, un terrón de cal o de azúcar, etc., colocados en un mortero y machacados pueden ser reducidos a fragmentos muy pequeños y aun a polvo impalpables, es decir, que escapen al tacto por su pequeñísimo volumen.

Una gota de esencia vertida en un pañuelo es capaz de perfumar un ambiente vastísimo durante algún tiempo y trasladada a otro lugar puede originar los mismos efectos; esto se explica admitiendo que las partículas desprendidas del cuerpo odorífico y que impresionan nuestro olfato son infinitamente pequeñas.

Con las substancias colorantes sucede algo semejante. Una pequeñísima porción puede colorear una gran cantidad de líquido al ser diluída. La tinta roja se prepara con sólo 3 gramos de croseina brillante por litro, y una gota de tinta puede teñir de rosa a otro litro. Podemos así, por disoluciones sucesivas, establecer relaciones de uno a millones. Ocurre ahora preguntar: ¿Podemos continuar indefinidamente estas divisiones o debemos aceptar que exista un límite más allá del cual no es posible ninguna división? Es probable que estos límites aparentes a los que llegamos dependan únicamente de lo imperfecto de los medios de observación a nuestro alcance. Lo importante es la conclusión a que arribamos: la materia es divisible, y la experiencia dice el resto, o sea, que la divisibilidad debe considerarse como límitada.

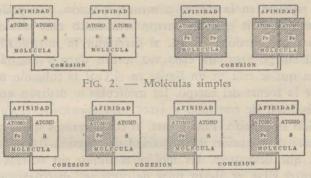


FIG. 3. — Moléculas compuestas

A estas partículas tan pequeñas que constituyen la materia le damos el nombre de átomos. Pero los átomos no existen permanentemente en estado libre, se unen para formar las moléculas y al así hacerlo pueden originar moléculas en cuya constitución intervengan átomos iguales o distintos. En el primer caso las moléculas

son simples, en el segundo, cuando los átomos que se unen son diferentes, las moléculas son compuestas (figs. 2 y 3).

Cohesión. Afinidad. Todas las substancias constituyentes del Universo están sujetas a la atracción de una fuerza central. la gravedad. Si las moléculas estuvieran sueltas, cada una separadamente respondería a la acción de la gravedad y una determinada cantidad de substancia no podría, por ejemplo, ser suspendida por un solo punto. Es que hay otras fuerzas que actúan. La cohesión que mantiene unidas a las moléculas y que por su mayor o menor intensidad hace que el cuerpo sea sólido, líquido o gaseoso. Dijimos que las moléculas eran las partículas formadas por la unión de los átomos. Como los átomos no se encuentran al estado libre, debemos considerar un ejemplo con moléculas. Supongamos que en una pared construída con ladrillos, éstos se encuentran unidos con cemento, con mezcla caliza, o con argamasa de barro, ¿Puede existir alguna duda sobre cuál será la más sólida, o sea la más fuerte? Todos, sin duda, responderíamos: la de cemento. Así, en el orden le seguiría la de mezcla de cal y, por último, la de barro. Si estas mezclas representan la mayor o menor cohesión, ino podemos semejantemente decir que un cuerpo será tanto más sólido cuanto mayor sea su cohesión? Y así, al disminuir la intensidad de esta fuerza el cuerpo resultará cada vez menos duro y llegará el momento en que se está en un límite en el cual la cohesión no puede mantener la forma del cuerpo, las moléculas se deslizan unas sobre otras, obedecen de continuo a estos movimientos y el cuerpo así constituído es líquido. Finalmente, si consideramos que avanzando aún en esta disminución de intensidad de cohesión llegamos al instante en que desaparece, las moléculas libres, sin fuerzas que las atraiga entre ellas, se alejan unas de otras se "desparraman", diseminándose entre las del aire que las rodea. Si las moléculas del gas considerado son más pesadas que las que constituyen el aire quedan en la parte inferior, caen; si por lo contrario, las del aire son más pesadas, inversamente, el cuerpo gaseoso resulta ser liviano.

El paso del estado sólido al líquido por efecto del calor se llama fusión; del líquido al gaseoso, vaporización. Los procesos inversos, de vapor a líquido o de líquido a sólido se denominan condensación y solidificación, respectivamente.

Damos el nombre de propiedad específica cuando nos referimos a las propiedades que caracterizan una substancia. Estas propiedades son determinadas e invariables para cada substancia.

Ejemplo: el color, el olor, el sabor, el punto de ebullición, el punto de fusión, etc.

Física y Química. — Fenómenos. Las substancias de la Naturaleza se transforman de continuo y esta transformación puede ser transitoria y cesar apenas deja de actuar el agente que la produce, o ser definitiva y originar la formación de una substancia nueva. Llámase fenómeno a todos los procesos por los cuales se modifican las propiedades de las substancias. Los fenómenos pueden ser físicos y químicos:

Fenómeno físico es todo aquel que modifica transitoriamente las propiedades de la substancia.

Ejemplo: una varilla de hierro se dilata al calentarla y vuelve a su primitivo estado al enfriarla; el agua se evapora por el calor y se solidifica por enfriamiento, pero no deja nunca de ser agua.

Fenómeno químico es todo aquel que cambia fundamentalmente las propiedades de las substancias que intervienen dando origen a substancias nuevas.

Es una transformación definitiva, estable.

Ejemplo: el azufre que se quema origina un gas llamado anhidrido sulfuroso al combinarse con el oxígeno del aire.

Mezclando azufre con hierro y calentándolos se combinan y originan un compuesto nuevo llamado sulfuro de hierro. El azufre y el hierro perdieron definitivamente sus propiedades características y apareció un cuerpo nuevo, con propiedades distintas de las de aquéllos que lo componen.

Hipótesis. Teoría. Ley. — La explicación de los fenómenos, de cualquier clase que sean, requiere conocer la causa que los produce. Para llegar a ese conocimiento es necesario observarlos y esta

observación supone la existencia de un mundo exterior objetivo, y un sujeto, en cuyo sistema cerebral obra ese mundo mediante las sensaciones.

Hacer una observación significa fijar la atención en un fenómeno del mundo exterior y de las condiciones en que se ha producido.

La Física es una ciencia experimental. En Física no existen como en matemáticas axiomas y postulados, o sea, verdades intuitivas de las que derivan las demás. En Física no hay más verdad que la que resulta de la observación y la experimentación.

Hacer un experimento es observar un fenómeno en condiciones expresamente dispuestas por el observador.

Observación y experimentación son, pues, la base del estudio de los fenómenos. La observación estudia al fenómeno en las condiciones espontáneamente naturales en que se presenta; la experimentación produce el fenómeno provocándolo en condiciones conocidas y por inducción procura explicar la causa.

Hipótesis. — Llámase hipótesis a toda conjetura o suposición. lógicamente aceptable, que se emite a fin de explicar un fenómeno.

Las hipótesis son útiles, pues establecen una relación de dependencia, en agrupaciones ordenadas, aparentemente lógicas, entre otros fenómenos y el que se trata de explicar.

"Sin hipótesis, en el sentido amplio de la palabra, es decir, sin suposiciones, no puede concebirse ningún progreso en la ciencia". Chwolsron. Tomo Iº.

Para ser aceptables, las hipótesis deben reunir las siguientes condiciones:

1º Ser posibles, vale decir, no estar en contradicción con principios fundamentales como ser la conservación de la materia, de la energía, la inercia, etc. 2º Estar de acuerdo con los fenómenos que se explican y abarcan el mayor número posible de éstos.

"Se hace la ciencia con los hechos, como una casa con piedras; pero una acumulación de hechos no es una ciencia, como un montón de piedras no es una casa". (Henri Poincaré: LA CIENCIA Y LA HIPÓTESIS).

- 3º Ser sencillas.
- 4º Ser comprobables.

"Una idea anticipada o una hipótesis, es el punto de partida necesario para todo razonamiento experimental y sin ella no se podría hacer ninguna investigación ni instruirse" (Claudio Bernard: INTRODUCCION A LA MÉDICINE EXPERIMENTALE).

Teoría. — La deducción es un complemento de la inducción, que traducida en razonamiento y experimentación, pone de relieve la verdad o la falsedad de la hipótesis.

Toda hipótesis razonada y experimentada es una hipótesis comprobada y entonces deja de llamarse así, para convertirse en teoría. Teoría es pues, la explicación de un hecho natural fundado en hipótesis comprobada y generalizada.

Ley. — Es una preocupación constante del hombre coordinar, relacionándolos, todos los fenómenos naturales que se le van presentando.

Todo fenómeno físico depende de la variación de cierta magnitud, denominándose magnitud todo lo que es susceptible de aumentar o disminuir.

Una gota que cae, varía, con el aumento del tiempo de caída, su distancia del suelo.

Una barra de hierro, calentada, aumenta su longitud, se dilata.

El estudio cualitativo de un fenómeno, que permite emitir una hipótesis y establecer una teoría, no basta para dar una idea completa sobre el mismo y obtener de ello aplicaciones prácticas. Se hace necesario estudiarlo cuantitativamente y establecer las variaciones de magnitudes que lo determinan.

Así, no es suficiente, saber que el hierro u otros cuerpos se dilatan por el calor, sino que debemos establecer cuál es la dilatación que acusa a las distintas temperaturas.

Cuando se llega a establecer una relación constante para todos los fenómenos de igual clase entre estas magnitudes o cantidades variables, se dice que se ha enunciado una ley.

Es objeto de la Física, estudiar todos los fenómenos físicos e indagar las leyes que los rigen.

Fórmulas y su interpretación. — Cuando se estudian cuantitativamente los fenómenos físicos, en cualquier caso llega a establecerse que una de las magnitudes adquiere diversos valores al variar otra. Se dice que la primera está en función de la otra llamada variable y esto se expresa mediante una fórmula que establece las relaciones de dependencia entre una y otra magnitud.

Supongamos haber establecido la ley de un fenómeno por la fórmula:

$$a = \frac{b \cdot c \cdot d}{e \cdot f}.$$

Cada letra representa un valor numérico y la fórmula nos dice que para resolver el valor de a, se debe multiplicar b, c y d y al producto de ellas dividirlo por el producto que resulte de multiplicar e por f.

Por comparación de a con las otras, se llegan a establecer las siguientes leyes de dependencia:

- 1º La cantidad a es directamente proporcional a cada una de las cantidades b, c y d, que son factores en el numerador.
- 2º La cantidad a es inversamente proporcional a los factores del denominador e y f.

Por último, de conformidad a lo anteriormente expresado, diremos que la Física es una ciencia esencialmente positiva, porque todas las cantidades que en ella intervienen son susceptibles de ser medidas y sometidas a las reglas del cálculo, lo que permite prever fenómenos futuros o desconocidos.

Física y sus relaciones. — Ciencia - Arte - Industria. — El ser humano procura siempre obtener el máximo del beneficio como producto de la observación y estudio de los fenómenos de la Naturaleza. Cuando reúne muchos conocimientos bien estudiados y comprobados, los clasifica y relaciona estableciendo condiciones de dependencia entre ellos, y cuando como consecuencia de ese estudio conoce las propiedades inherentes ha formado una Ciencia. La Zoología que estudia los animales, la Botánica que se refiere a los vegetales, son ciencias.

Si el hombre en conocimiento de los fenómenos naturales, construye medios para aprovecharlos hace —en el sentido estricto del vocablo— Arte. La Mecánica que construye máquinas, la Hidráulica, son artes.

Por último, el hombre hace Industria cuando aprovecha las creaciones de su arte con fines lucrativos.

La Física, o mejor los fenómenos físicos en su amplia diversidad de origen: calor, luz, electricidad, magnetismo, etc., etc., es la rama del saber humano más vinculada a las ciencias, artes e industrias.

RESUMEN

- 1. Todo lo que ocupe un lugar en el espacio, tenga peso e impresione nuestros sentidos es materia. Cuerpo es una porción limitada de materia.
- 2. Son propiedades fundamentales de la materia la extensión y la impenetrabilidad. Son propiedades generales la movilidad, inercia, compresibilidad, dilatabilidad, porosidad y divisibilidad.
- Las moléculas están constituidas por átomos. Cuando los átomos son iguales las moléculas son simples; si son diferentes entonces son moléculas compuestas.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 2.

- 4. La fuerza que une los átomos se denomina afinidad y la que une las moléculas, cohesión. La mayor o menor intensidad de cohesión modifica los estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso.
- Fenómeno físico es todo aquel que modifica transitoriamente las propiedades de la substancia y fenómeno químico el que lo hace definitivamente.
- 6. Hipótesis es toda conjetura o suposición lógicamente aceptable. Teoría es la explicación de un hecho natural fundado en hipótesis comprobada. Ley es la relación constante de las magnitudes físicas.
- Para estudiar cuantitativamente los fenómenos físicos se usan las fórmulas que establecen relaciones de dependencia entre las magnitudes.
 La Física es una ciencia positiva.
- B. El conocimiento especializado de los fenómenos naturales ordenados por el hombre en relación de dependencia, constituyen una ciencia. Ej.: Zoología. Botánica.

Aprovechados por el hombre que construye, crea, en base a los mismos, un Arte. Ej. Mecánica, Hidráulica.

Es industria, cuando se aprovecha las creaciones del Arte con fines lucrativos.

PRIMERA PARTE

MECANICA

CINEMATICA.

COMPRENDE EL ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DEL PUNTO DE VISTA GEOMÉTRICO.

ESTATICA.

ESTUDIA LAS FUERZAS EN ESTADO DE EQUILIBRIO O DE REPOSO.

DINAMICA.

ESTUDIA LAS FUERZAS EN ACCIÓN DE MOVIMIENTO, O SEA, ESTABLE-CE LAS RELACIONES ENTRE LOS MOVIMIENTOS Y SUS CAUSAS.

GRAVEDAD.

SE REFIERE A LOS FENÓMENOS PRODUCIDOS EN VIRTUD DE LA ATRACCIÓN TERRESTRE.

CAPITULO I

A) MAGNITUDES ESCOLARES Y VECTORIALES

El metro. — Unidades derivadas de superficie y de volumen. — Vernier. — Tornillos micrométricos: Palmer.

Medir significa comparar, valorar. Todas las cantidades físicas tienen un cierto valor, que apreciamos midiéndolas con otra cantidad fija de la misma clase que llamamos unidad. La cantidad se aprecia, entonces, por el número de unidades que contiene.

Ejemplo: Para medir una longitud utilizamos otra longitud tipo llamada metro y hallamos cuantas veces está contenida.

Puede resultar un número entero o además, haber fracciones. Debemos en toda medición considerar dos partes:

- a) el número abstracto llamado valor numérico que indica la cantidad de veces que la unidad está contenida;
- b) el nombre de la unidad empleada.

Ejemplo: 25 metros, 4 kilos, 10 litros.

No decimos 25, 4, 10, pues los números solos no expresarían lo que deseamos significar.

Hay tantas clases de unidades como clases de cantidades o magnitudes físicas haya para medir. La unidad tipo establecida por la costumbre, o por la ley resultado de la experiencia, se denomina unidad patrón.

Entre el conjunto de magnitudes físicas que encontraremos en nuestro estudio, muchas de ellas quedan claramente determinadas por un número y su unidad.

20 litros, 28 kilos, 17 metros.

A todas estas magnitudes, susceptibles de ser representadas por números, las denominamos magnitudes escalares.

Otras magnitudes, para ser expresadas, no basta con un número y su unidad, sino que debe fijarse la dirección, el sentido, y el punto de aplicación, sin lo cual no quedarían determinadas. Se las conoce como magnitudes vectoriales. Llámase vector a la línea que indica la dirección, el sentido y el punto de aplicación, y módulo, al valor numérico del vector.

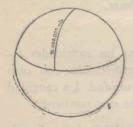


FIG. 4. — Cuadrante terrestre.

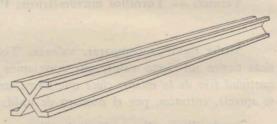


FIG. 5. — Metro patrón.

El metro (1). — El metro es la unidad de medida de longitud y equivale a la diez millonésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre (fig. 4).

Esta longitud se halla representada por un metro patrón construído en platino iridiado (90 % de platino, 10 % de iridio) y que tiene la forma de X (fig. 5) para ofrecer el máximo de resistencia a la flexión evitando errores.

⁽¹⁾ Por iniciativa del gobierno de Francia, en Abril de 1795, a fin de establecer una unidad fija de medida, se comisionó a Machain y Delambre para que midieran un arco de meridiano terrestre, partiendo de Dunkerque. La operación duró cuatro años, al cabo de los cuales se depositaba el metro tipo o metro patrón.

Múltiplos del metro

Decámetro	3					Dm	no e nt er	10	metros
Hectómetro						Hm	=	100	
Kilómetro						Km	=	1000	**
Miriámetro			118	-		Mm	=	10.000	**

Submúltiplos del metro

Decimetro	dm =	0.1 metro
Centímetro	cm =	0.01 ,,
Milimetro	mm =	0.001 ,,
Micrón	$\mu =$	0.000.001 ,, = 0.001 mm

Unidades derivadas de superficie y de volumen

La unidad de superficie es el metro cuadrado (m²), o sea un cuadrado cuyo lado mide 1 metro.

MULTIPLOS DEL M2

Decámetro	cuadrado				Dm ²	=	100	m^2
Hectómetro				1	Hm ²	=	10.000	m^2
Kilómetro	**	-			Km ²	=	1.000.000	m^2

En la medición de los campos se acostumbra a usar la hectárea, el área y la centiárea, cuyos equivalentes son:

Hectárea	×						=	Hectómetro
Area			1	-	4		=	Decámetro
Centiárea		13.	In		m.	1700	=	Metro cuadrado

Como unidad de volumen se emplea el metro cúbico (m³), que es un cubo cuya arista mide un metro.

Los múltiplos son muy poco usados; los submúltiplos son:

Decimetro cúbico	$dm^3 =$	0.001	m^3
Centímetro cúbico	$cm^3 =$	0.000.001	m^3
Milímetro cúbico	$mm^3 =$	0.000.000.001	m^3

Litro (1t), medida de capacidad; es el contenido de 1 dm³ o sea un cubo cuya arista es de 1 dm.

Kilo, o más propiamente kilogramo (kg) medida de peso, es el peso de un decímetro cúbico de agua destilada a cuatro grados de temperatura que es cuando alcanza su mayor densidad; como unidad de peso se usa el gramo (gr) que equivale a la milésima parte de un kilo.

Por ser de uso común, impuestos por la costumbre del comercio, damos a continuación la tabía de medidas inglesas (1) de longitud, superficie y volumen.

Long	itud	Superficie
Pulgada	2.54 cm.	Pulgada cuadrada.
Pie	30.48 cm.	Pie cuadrado.
Yarda	91.44 cm.	Yarda cuadrada.
Milla	1609.3 mts.	Milla cuadrada.
Volume	n comment	Peso
Cuarto 946	.3 centilitros Onza .	28.35 grs.
Galón 3.7		453.6 grs.
Bushels 35.	23 hectólitros	

Nonius o Vernier (2). — Puede ser Vernier rectilineo o circular.

El primero se emplea para medir más exactamente longitudes, el segundo —sobre el mismo principio— arcos de círculo.

El Vernier rectilineo consiste en una pequeña reglilla con corredera que puede deslizarse fácilmente sobre otra regla mayor cuyas divisiones corresponden a las del metro (fig. 6). La regla pequeña está dividida en 10 partes, las que en total corresponden a sólo 9 divisiones de la regla mayor; vale decir, que cada parte de la regla pequeña es menor en 1/10 de una división de la regla mayor, lo que se observa bien en I de la figura 6.

⁽¹⁾ El P. E. de la Nación ha prohibido su uso en el comercio, pero el tráfico internacional de mercaderías lo hace aún obligatorio.

⁽²⁾ Del latín Nonius o Nonio que significa Núñez. Se atribuye su invento a Pedro Núñez, matemático portugués. Se dice Vernier, de Pedro Vernier, francés, a quien también se le considera inventor.

Para medir la longitud de un objeto utilizando el Nonius, se hace coincidir un extremo de éste con el cero de la regla mayor

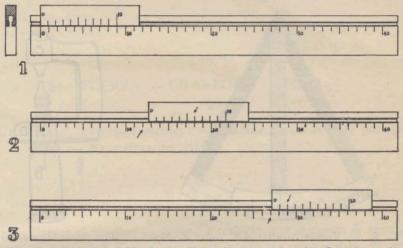
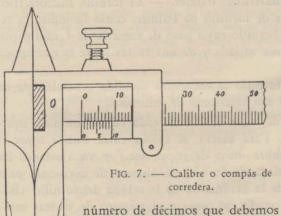


FIG. 6. — Nonius o Vernier rectilineo de uso escolar. 1) Compárense las divisiones de la reglilla. 2) léase: 12.5. 3) léase: 27.2.



habiendo corrido el Vernier (regla menor). Hecho esto, se arrima el extremo del Vernier y se observa qué graduación de éste coincide con una graduación de la regla mayor y se lee directamente el

número de décimos que debemos agregar a la cifra de enteros leída en la regla mayor.

Sobre la base del Nonius se construyen los llamados calibres o también, menos usualmente, compa-

ses de corredera, tan utilizados en la industria mecánica (fig. 7).

El Vernier circular se utiliza para medir ángulos, y su disposición y uso (fig. 8) es análogo al Vernier rectilíneo.

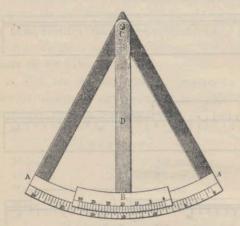


FIG. 8. — Vernier circular: AA, regla; B, No- FIG. 9. — Micrómetro nius; C D, dispositivo de movimiento de Palmer.

Tornillos micrométricos: Palmer. — El tornillo micrométrico de Palmer, o compás de tornillo de Palmer, como lo indica la figura 9 consta de un tornillo cuyo paso de rosca es de 1 milímetro, de un soporte de forma variada y de una tuerca sobre la que apoya el tope del tornillo.

La cabeza del tornillo se encuentra dividida generalmente en 10 o más partes que son fracciones de milímetro.

Siendo el paso de rosca de 1 mm. cada vuelta completa equivale a esta cantidad. Para usarlo, se coloca entre ambos topes el objeto (lámina, alambre, hoja de papel, etc.) y ya ajustadas las puntas se lee en la línea de fe (A) el número de divisiones para colocarlo en el cero de la graduación de la cabeza del tornillo (B). Retirado el objeto a medir, se cuentan el número de vueltas completas hasta poner en contacto los topes: son los milímetros. Por ejemplo: divisiones hasta llegar al 0 de la línea de fe, 6. Vueltas completas, 4. La medida será 4 mm 6/10 de mm.

B) FUERZA — GRAVEDAD — PESO

Unidades — El peso específico. — Medida de las fuerzas por los pesos. — Representación gráfica.

FUERZA

Damos el nombre de fuerza a todo lo que es capaz de modificar en velocidad o en dirección el estado de movimiento de un cuerpo.

Si sostenemos un bulto impidiendo su caída haremos más fuerza cuanto más pesado sea. Un elástico de espiral se reducirá más en longitud cuanto mayor peso soporte. El pistón de una máquina de vapor, al mover el volante, acusa una fuerza expansiva del vapor. En estos tres ejemplos hay una cualidad común: la fuerza.

Representación gráfica de la fuerza. — Podemos representar gráficamente una fuerza y diremos que ha sido determinada cuando se conozcan los cuatro elementos siguientes:

- 1º PUNTO DE APLICACIÓN.
- 2º DIRECCIÓN.
 - 3º INTENSIDAD.
 - 4º SENTIDO.

Punto de aplicación. — Es el lugar donde la fuerza actúa, sea por presión o por tracción. Se representa generalmente por una pequeña crucesita y la letra O.

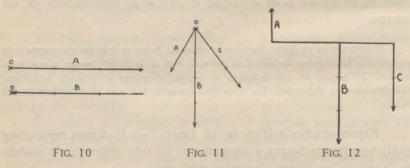
Dirección. — Es la línea recta que ha de recorrer el cuerpo por acción de la fuerza.

Intensidad. — Se representa por el largo de la línea dividiéndola en un cierto número de partes, que indican convencionalmente unidades de fuerza.

Sentido. — Es la indicación mediante una flecha, de cómo actúa la fuerza.

Las figuras siguientes aclaran estos conceptos:

- a) Tienen la misma dirección puesto que son paralelas. La misma intensidad por tener igual número de divisiones convencionales. Distinto sentido: la fuerza A actúa por tracción, y la B por presión. Los puntos O indican los correspondientes puntos de aplicación (fig. 10).
- b) Las fuerzas A, B y C tienen un mismo punto de aplicación O, distintas direcciones, pues cada una haría seguir un reco-



rrido diverso, y los mismos sentidos, pues todos obran por tracción (fig. 11)

En cuanto a las intensidades A es un tercio menor que C y B es el doble que A.

c) La fuerza A tiene la misma dirección que B y C pero distintos sentidos. Las tres tienen distintos puntos de aplicación y mientras A=1, B=2 y C=3, respecto a la intensidad (figura 12).

Unidad de peso. — Un kilo es el peso de un litro de agua pura, o sea el peso de un dm³ de agua pura. Como unidad de peso se considera la milésima parte de un kilo, vale decir, un gramo.

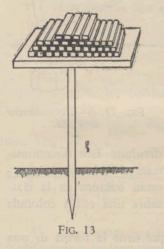
Peso específico. — Llámase peso específico de una substancia a la relación entre su peso y su volumen. Si este último es igual a la unidad, resulta que el peso específico es el peso de la unidad de volumen.

Si P = peso, y V = volumen, tenemos:

$$P. E = \frac{P}{V} \quad o \text{ sea: } \frac{Kg}{m^3} \text{ o } \frac{gr}{cm^3}$$

El peso específico puede ser absoluto y relativo.

Medida de las fuerzas por los pesos. — A las fuerzas las medimos apreciando su valor en kilos.



Si sobre un cuerpo determinado colocamos pesas llegará el momento en que ese cuerpo se deforme por la fuerza que hacen esas pesas. La fuerza en ese caso tendría la dirección y el sentido de la gravedad (fig. 13).

De la misma figura surge el concepto que si aumentamos el peso, colocando mayor cantidad de lingotes sobre el plano de sostén, la fuerza

ejercida por el peso irá introduciendo cada vez más la punta en el terreno.

En el ejemplo de la figura 14 la fuerza B debe ser en kilos, por lo menos igual a la A, que representa el peso del cuerpo (no considerando resistencia por el roce). Las direcciones de ambas fuerzas son distintas.

APARATOS DE MEDIDA. — La medición de las distintas magnitudes físicas exige el uso de muy diversos instrumentos. Algunos muy sensibles y exactos como los que se emplean en los laboratorios, otros menos precisos, empleados en el comercio.

Existen aparatos de diversos tipos llamados dinamómetros, entre los que citaremos el de Leroy, conocido en el comercio bajo la denominación de romana (fig. 15) y el de Regnier (fig. 16),



FIG. 15. — Dinamómetro de Leroy

FIG. 17. — Dinamómetro de Peson.

de uso médico en exámenes físicos de individuos. Los dinamómetros son, pues, aparatos destinados a apreciar el valor de las fuerzas en peso. Cualquiera sea el sistema, están basados en la elasticidad del acero que se acusa en kilos sobre una escala colocada convenientemente.

El dinamómetro más común es el que tiene la forma de una V (fig. 17), llamado de Peson o de resorte, que en cada rama sujeta un arco metálico que se deslizan uno sobre otro.

C) COMPOSICION Y DESCOMPOSICION DE FUERZAS CONCURRENTES

La regla del paralelógramo. — Composición de fuerzas paralelas de igual sentido y de sentido contrario. — Composición de fuerzas aplicadas en diferentes puntos de un cuerpo rígido. Centro de gravedad.

Llámase fuerzas concurrentes a las que tienen el mismo punto de aplicación. Componer fuerzas es hallar su resultante. Pueden presentarse varios casos:

1º Las fuerzas son iguales, tienen la misma dirección y distinto sentido. El resultado es nulo.

Ejemplo: la cinchada (fig. 18).

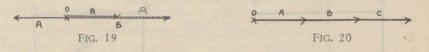
Fig. 18

Ejemplo: la cinchada (fig. 18).

2º La fuerza A es menor que la B, tiene la misma dirección y

distinto sentido. La resultante es igual a la diferencia de ambas fuerzas (fig. 19).

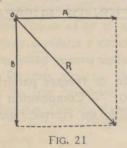
3° Tienen igual dirección y sentido. La resultante es la suma (fig. 20).

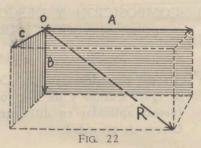


4º Las fuerzas son iguales, actúan en un mismo plano, pero las direcciones forman ángulo. La resultante corresponde a la bisectriz del ángulo si éste es recto y las fuerzas son iguales (fig. 21). En otro caso, a la diagonal del paralelógramo que se forme.

5° Actúan en distintos planos y distintas direcciones.

El punto de aplicación (fig. 22) es O, pudiendo observar claramente que las fuerzas A y B se encuentran en un plano. La fuerza C con la B determinaría otro plano (rayado vertical) que forma ángulo diedro con el anterior.



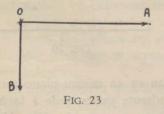


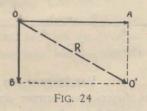
Siguiendo la dirección de la resultante de estas tres fuerzas, se ve en la figura que R viene desde la izquierda (en oposición al lector) arriba, y atrás, hacia la derecha, abajo y adelante.

La resultante es pues la diagonal del paralelepípedo. (Ver problemas).

La regla del paralelógramo. — Sean las fuerzas OA y OB. Para hallar la resultante trazamos las paralelas correspondientes y unimos el punto en que las paralelas a las fuerzas se cruzan, con el punto de aplicación: AO' \parallel OB BO' \parallel OA R = OO'.

La figura originada es un paralelógramo y la resultante, la diagonal del mismo (figs. 23 y 24).





Este enunciado debe ser considerado como un postulado, esto

es, como el resultado de pruebas experimentales. Puede ser verificado haciendo uso del aparato indicado en la figura 25.

Según se observa, sobre un bastidor se encuentran fijas dos poleas P P' por las cuales se desliza un hilo en cuyos extremos

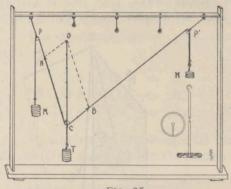


FIG. 25

se encuentran las pesas M y N. Otra pesa en el punto T se encuentra suspendida libremente. En cualquier caso, estas pesas se hallan subordinadas a la condición que una cualquiera sea menor que la suma de las otras dos y mayor que la diferencia. El hilo tomará una cierta posición y quedará en reposo; decimos que el sistema de las tres

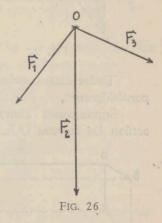
fuerzas se encuentra en equilibrio.

La fuerza T, puede ser considerada como equilibrante de las fuerzas M y N y por lo tanto la resultante debe ser una fuerza

igual y contraria (C.O). Los segmentos AC y BC representan a las fuerzas M y N, respectivamente.

Si las fuerzas concurrentes son más de dos, no interesa si se encuentran en un mismo plano o en planos diversos; bastará encontrar la resultante de dos de ellas y luego resolver a la vez la resultante entre ésta y otra fuerza y así sucesivamente. Sean las fuerzas:

F₁, F₂ y F₃ (fig. 26). Son fuerzas concurrentes de distinta dirección y queremos encontrar la resultante.



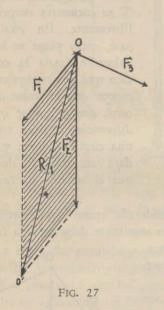
Procedemos por partes. Por la regla del paralelógramo ya men-

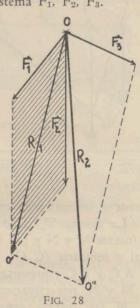
Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 3.

cionada (pág. 32, fig. 24) encontramos primero la resultante a las fuerzas 1 y 2 (fig. 27).

Trazadas las correspondientes paralelas y unidos los puntos de cruce y de aplicación, tenemos R_1 correspondiente a F_1 y F_2 , que es ahora considerada con F_3 (fig. 28).

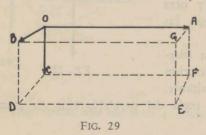
La resultante R2 es la final del sistema F1, F2, F3.





Todas estas resoluciones se conocen como procedimiento del paralelógramo.

Supongamos ahora un punto de aplicación O, en el que actúan las fuerzas O A, O B y O C es evidente que lo hacen en



distintos planos (fig. 29). Consideraremos que la fuerza O A actúa independientemente: el móvil llegará hasta A. Si entonces entra en acción la fuerza O B, llega hasta G, lo que es lo mismo que si al trazar las paralelas correspondientes a O A

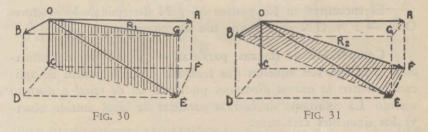
|| BG y OB || AG uniéramos el punto O con el G indicando la resultante.

Sin consideramos ahora la fuerza O A con referencia a la O C el móvil trasladado previamente hasta A, por acción de O C, llegaría a F, vale decir, que la resultante sería O F. En iguales condiciones O B con O C tendrían como resultado O D.

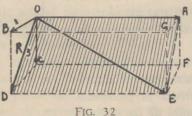
Las resultantes serían, pues, resueltas las fuerzas dos a dos para:

$$OA y OB = R_1 = OG$$
 (fig. 30).
 $OA y OC = R_2 = OF$ (fig. 31).
 $OB y OC = R_3 = OD$ (fig. 32).

 R_1 elimina del problema a las fuerzas O A y O B. Considerada con O C, con la resultante llegamos a E (fig. 30).



En igual forma, R₂ elimina a OC y OA, actuando con OB su resultante llega a E (fig. 31).

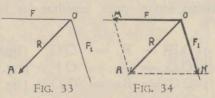


Por último R₃ elimina del sistema a OB y OC, considerada con OA la resultante llega a E (fig. 32).

La resultante es la diagonal del paralelepípedo, cuyas aristas son los vectores.

Descomposición de fuerzas concurrentes. — Descomponer fuerzas concurrentes es lo inverso de hallar la resultante, o sea, dada ésta y la dirección de los componentes, determinan las correspondientes intensidades.

Sea la resultante R de intensidad O A y las rectas F y F₁, que indican la dirección en que actúan las componentes cuya intensidad

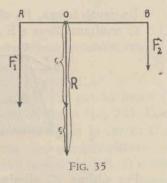


se desea determinar (fig. 33). Desde el punto A se trazan las paralelas $AM \mid\mid F_1 \mid AN \mid\mid F$ (fig. 34).

El encuentro en los puntos M y N determinan los vectores OM = F y $ON = F_1$, que son las componentes.

Composición de fuerzas paralelas. — Como su denominación lo indica, son aquéllas que teniendo diversos puntos de aplicación tienen la misma dirección, pudiendo ser de igual o distinto sentido. La resultante de fuerzas paralelas de igual sentido observa los siguientes caracteres:

- a) es paralela a las fuerzas componentes;
- b) tiene el mismo sentido;
- c) su intensidad es igual a la suma;
- d) el punto de aplicación divide a la recta en dos segmentos consecutivos inversamente proporcionadas a las intensidades de las componentes (a menor fuerza mayor segmento).



En el ejemplo de la figura 35, tenemos:

$$F_1 > F_2$$
 AO < OB $R = F_1 + F_2$

—Sobre los puntos A y B actúan las fuerzas F_1 y F^2 , respectivamente (1, fig. 36).

Para resolver la resultante y el punto de aplicación de la misma procedemos de la siguiente manera: desde los puntos A y B trazamos dos fuerzas a y b que son de igual intensidad pero de distinto sentido; (2) el sistema no se altera. Hecho esto, de acuer-

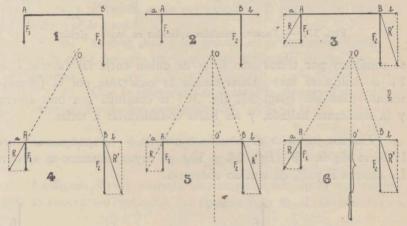


FIG. 36. — Resultante de fuerzas paralelas

do a lo que sabemos encontramos las resultantes R y R' (3). Luego, prolongando las mismas, encontramos un punto de cruzamiento O (4) desde el cual bajamos la perpendicular hasta cortar en el punto O' (5) que será el punto de aplicación de la resultante de ambas fuerzas F_1 y F_2 y que es la suma de ellas (6).

Otro método para determinar el punto de aplicación de la resultante es dividir el espacio comprendido entre los puntos A y B en tantas partes como sea la suma de las intensidades de ambas fuerzas y luego a partir del punto de aplicación de una de ellas contar un número de espacios igual a la intensidad de la otra fuerza.

Cuando son varias fuerzas paralelas de igual sentido, se empieza por hallar la resultante de dos de ellas y luego, considerando a ésta con otra componente, se encuentra otra resultante y así sucesivamente. Por ejemplo: sea el sistema de fuerzas paralelas:

$$F - F_1 - F_2 - F_3 - F_4$$
 (fig. 37).

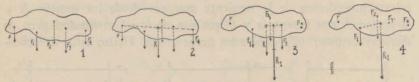


FIG. 37. — Fuerzas paralelas aplicadas en cuerpo rígido.

se comienza por trazar una línea de unión entre las fuerzas F y F₄, o cualquiera otra. Determinada la resultante por el procedimiento conocido (pág. 37, fig. 36) se continúa con otra fuerza y la resultante hallada, y así hasta considerarlas a todas.

Fuerzas paralelas de sentido contrario. — Supongamos tener la barra rígida AB (figs. 38 y 39) en cuyos extremos se aplican las fuerzas F y F₁ de sentido contrario.

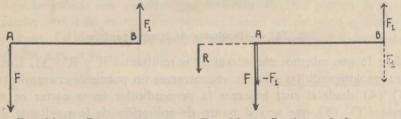


FIG. 38. — Fuerzas paralelas de sentido contrario.

FIG. 39. — Resultante de fuerza pararalelas de sentido contrario.

Tenemos que $F > F_1$. Imaginemos que F sea la resultante de un sistema de fuerzas paralelas de igual sentido y a la vez que $F_1 = F_1$ (punteado).

Ahora bien. Si F es la resultante de dos fuerzas paralelas de igual sentido, sabemos que el punto de aplicación de la misma debe encontrarse entre ambas fuerzas, y también que su intensidad es igual a la suma de ellas. De acuerdo a esto R se encuentra en la prolongación de A y su intensidad es igual a F — F₁. Pero F₁ es

igual a F_1 y por lo tanto, encontrándose aplicados en un mismo punto, siendo de sentido contrario se anulan, de modo que la única fuerza capaz de producir efecto es R; por lo tanto R es la resultante de las fuerzas F y F_1 .

De esto se deduce que la resultante en un sistema de fuerzas paralelas y de sentido contrario es:

- a) Paralela a los componentes y del mismo sentido que la mayor.
- b) Que el punto de aplicación se encuentra fuera de la recta que une los puntos de aplicación de los componentes.
- c) Que la intensidad es igual a la diferencia de las intensidades de los componentes.

Composición de fuerzas aplicadas en diferentes puntos de cuerpo rígido

La figura 40 - 1 muestra un cuerpo rígido en el que suponemos se encuentran aplicadas las fuerzas A y B. Trazamos las co-

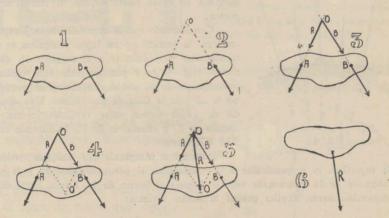


FIG. 40. — Resultante de fuerzas aplicadas.

rrespondientes prolongaciones hasta determinar un punto O, donde se encuentran (2). Se transportan entonces las fuerzas A y B (3) por el procedimiento del paralelógramo (4) se determina el punto O' hasta el cual se trazará la resultante R (5). En el punto de encuentro de la línea resultante o de su prolongación con el cuerpo rígido se aplica la resultante final encontrada y se hace su transporte (6).

GRAVEDAD

No podemos definir claramente lo que es fuerza de gravedad. Cuando hablamos de atracción de los astros empleamos la palabra gravitación; si hablamos de los cuerpos y de la atracción que ejerce la tierra decimos gravedad. Ya habíamos hablado (pág. 12) de la atracción entre molécula y molécula: la cohesión.

Un ejemplo ayudará a aclarar el concepto. Un objeto colocado sobre la mano ejerce una fuerza vertical que obliga a hacer un determinado esfuerzo para sostenerlo; abandonado, cae. Si horadamos la tierra en el sitio que debe caer el cuerpo, seguirá cayendo, y así sucesivamente llegará el momento que, en virtud



FIG. 41

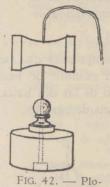
de la redondez de la Tierra el cuerpo siguiendo la dirección de caída habrá llegado al centro de la misma.

Considerando que la superficie de la Tierra es convexa, la vertical en un lugar cualquiera es necesariamente perpendicular a la tangente en dicho punto (fig. 41), y por lo tanto esas verticales convergen hacia el centro. En distancias pequeñas no se advierte la falta de paralelismo. Una distancia de 1860 metros entre verticales forman un ángulo de 1' y cuando es de 1º, la distancia es de 111 kilómetros.

Fácilmente se comprende que cualquier vertical a la superficie, es perpendicular a la tangente en el punto considerado y la prolongación de la mencionada vertical llegaría al centro de la Tierra. Esto, dicho esquemáticamente, explica porqué al hablar decimos:

Gravedad es la fuerza de atracción en virtud de la cual los cuerpos tienden a caer hacia el centro de la Tierra.

La dirección de la gravedad nos es indicada por la plomada (figs. 42 y 43), que consiste sencillamente en un hilo en uno de cuyos extremos se ha colgado un peso. La dirección resultará ser



mada de albañil.

la vertical que forma ángulo recto con la línea del horizonte. La dirección de la horizontal (tangente en nuestro ejemplo de la figura 41) nos es dada por la superficie de las aguas en reposo y como aparato para determinarla se usa el nivel (fig. 44).

El nivel consiste en un tubo ligeramente encorvado, lleno de agua o alcohol en el que se ha dejado

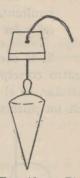


FIG. 43. - Plomada de mecánico.

una pequeña burbuja de aire. Este tubo se encuentra sostenido rígidamente por







un macizo, de madera o metal, de diversa construcción, cuya superficie inferior es perfectamente plana, Estando el nivel colocado sobre una superficie horizontal la burbuja deberá encontrarse entre las dos rayas marcadas.

Centro de gravedad. — Admitimos anteriormente (pág. 11) que todos los cuerpos están formados por una gran cantidad de

partículas que llamamos moléculas. Cada molécula, por su condición de materia, pesa. Suponiendo que representáramos gráficamente un sistema de fuerzas paralelas (son todas verticales) nos encontraríamos en el caso de tener que determinar la resultante (fig. 45) de todas estas fuerzas de gravedad aplicadas a cada molécula. Dicha resultante no

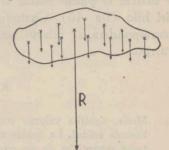


FIG. 45. — Resultante de fuerzas de gravedad.

es más que la suma de todas las pequeñas fuerzas de gravedad inherentes a cada molécula del cuerpo considerado. Por esto decimos que:

Centro de gravedad es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad correspondientes a las moléculas de un cuerpo.

Si el cuerpo es de forma regular es fácil comprender que ese centro corresponde al centro del cuerpo: en un cilindro de base circular, en el medio de la recta que une el centro de las dos bases. En un prisma recto de base cuadrada en el centro de sus ejes.

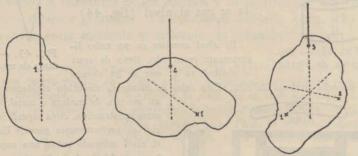


FIG. 46. - Determinación del centro de gravedad.

Si la forma del cuerpo es irregular, para determinar el centro de gravedad basta supenderlo dos o más veces de distintos puntos y marcar el punto donde se cruzan las prolongaciones de la línea del hilo (fig. 46). Cualquiera otra prolongación que se practique corresponderá al mismo punto, o sea el centro de gravedad del cuerpo.

RESUMEN

 Medir, significa valorar, comparar, con una cantidad fija de igual clase llamada unidad. La unidad tipo se llama unidad patrón, Todas las magnitudes susceptibles de ser representadas por números se denominan magnitudes escalares. Llámase vectoriales, aquellas en que debe fijarse la dirección, el sentido y el punto de aplicación.

- La unidad de longitud es el metro, que equivale a la diez millonésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre.
- El metro tiene múltiplos y submultiplos y de él derivan todas las unidades de superficie y de volumen.

La unidad de volumen es el litro y de peso el kilo.

- 4. El Vernier puede ser rectilíneo o circular. Consiste en una pequeña reglilla dividida en 10 partes, que en total corresponden a 9 partes de las divisiones de otra regla mayor, sobre la que corre. Los calibres están basados en el mismo principio.
- El tornillo micrométrico de Palmer consta de un tornillo cuyo paso de rosca es 1 mm., estando la cabeza dividida en 10 o más partes que son fracciones de milímetro.
- 6. Se llama fuerza a todo lo que es capaz de modificar en velocidad o en dirección el estado de movimiento de un cuerpo. Para determinar las fuerzas debemos conocer: Punto de aplicación, dirección, intensidad, sentido.

Las fuerzas se miden por los pesos, apreciando su valor en kilos. Existen aparatos de medida llamados dinamómetros.

 Llámase fuerzas concurrentes a las que tienen el mismo punto de aplicación. Comparar fuerzas es hallar la resultante.

La regla del paralelógramo consiste en trazar las paralelas a cada fuerza y luego unir el punto de cruce de las paralelas con el punto de aplicación.

Descomponer fuerzas es determinar las componentes conociendo la resultante. Se hace necesario conocer las vectoras.

8. Gravedad es la fuerza de atracción en virtud de la cual todos los cuerpos tienden a caer hacia el centro de la Tierra.

La dirección de la gravedad está indicada por la plomada.

Centro de gravedad es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad correspondientes a las moléculas de un cuerpo.

PROBLEMAS

- —Dos fuerzas concurrentes cuyas intensidades son, respectivamente, de 15 y 37 kilos, forman ángulo de 45°. ¿Cuál será el valor de la resultante?
- —Tres fuerzas concurrentes, cuyos ángulos comprendidos son de 38° y 56° valen 12, 8 y 19 kilos. ¿Cuál será el valor de la resultante entre las fuerzas de 12 y 8; entre las de 19 y 8, y cuál el de la resultante final?
- —Dos fuerzas concurrentes que valen 6 y 14 kilos con un ángulo de 83º entre las mismas, quedan anuladas en su esfuerzo por una fuerza contraria. ¿Cuál será el valor de esta fuerza?
- —Tres fuerzas concurrentes en planos distintos valen 7, 11 y 18 kilos. Se sabe que forma ángulos de 90° entre ellas. ¿Cuál será el valor de la resultante?
- —Una chapa de hierro cuyos lados miden 0.90, 0.68, 0.72 y 0.56 pesa 14 kilos. ¿En qué lugar se encuentra colocado el centro de gravedad?
- —Estando suspendida de una cuerda que pasa por el orificio practicado en ese punto y que tiene 4 metros de longitud entre puntas forma ángulos de 43°. ¿Qué peso soporta cada pedazo de cuerda?

CAPITULO II

A) MOMENTO DE UNA FUERZA

Equilibrio de la palanca. — Balanza. — Equilibrio de las poleas fija y móvil, del torno y del plano inclinado. — Cuplas.

Momento de una fuerza. — Se da el nombre de momento de una fuerza al producto de la intensidad por su brazo de palanca.

Supongamos la palanca AB cuyo punto de apoyo es c y las fuerzas P potencia y R resistencia (fig. 47).

El brazo de palanca de P será Ac y el de R será Bc. El momento de la potencia sería:

FIG. 47. — Momento.

Ahora bien, el equilibrio de dos fuerzas que actúan sobre los extremos de una palanca se rige por el principio siguiente enunciado por Arquímedes:

"Dos fuerzas que actúan sobre una palanca se equilibran cuando sus intensidades son inversamente proporcionales a sus brazos de palanca". Es decir que para que exista equilibrio debe verificarse que:

$$\frac{P}{R} = \frac{Bc}{Ac}$$

$$P \times Ac = R \times Bc \qquad (1)$$

o sea

lo que se expresa diciendo que el equilibrio se restablece cuando los momentos son iguales, esto es, que su suma algebraica es igual a cero.

Si en la ecuación (1) buscamos A c = B c, lo que equivale a ubicar el punto de apoyo en el centro, es decir construir los brazos de la balanza de igual longitud, resultaría:

P es igual a R

Equilibrio de la palanca. — Antes de estudiar el equilibrio de la palanca nos referiremos a la misma como máquina simple.

Las máquinas son aparatos destinados a transformar las fuerzas que sobre ellas actúan en trabajo. Llámanse máquinas simples, como su nombre lo indica, aquellas cuyo mecanismo es único, o sea que la fuerza que actúa sobre la misma, llamada potencia, se trasmite directamente a través de una sola pieza para vencer a otra fuerza contraria llamada resistencia.

Consideraremos entre otras, a la palanca, polea, torno y plano inclinado.

Palanca. — Denomínase palanca a una barra rígida, móvil, alrededor de un punto llamado punto de apoyo, sobre la que actúan dos fuerzas, una en cada extremo, que se llaman, respectivamente, potencia y resistencia.

Resistencia es el obstáculo o peso que se desea vencer o levantar, y potencia la fuerza que se aplica para conseguirlo.

Las distancias comprendidas entre el punto de apoyo y la potencia o entre ésta y la resistencia se denominan brazo de potencia, y brazo de resistencia, respectivamente.

Las palancas pueden ser de tres géneros, que se distinguen por primero, segundo y tercero.

PRIMER GÉNERO. Punto de apoyo en el medio; potencia y resistencia en los extremos.

Recordaremos: Potencia, Apoyo, Resistencia. PAR.

Ejemplo: Palanca propiamente dicha, la mayor parte de las balanzas, las tijeras.

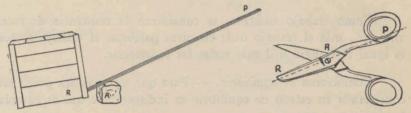


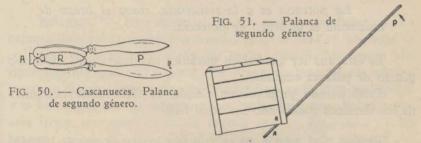
FIG. 48. — Palanca de primer género.

FIG. 49. — Tijera. Palanca de primer género.

SEGUNDO GÉNERO. La resistencia se encuentra en el medio de la potencia y el punto de apoyo, que estarán en los extremos.

Recordaremos: Potencia, Resistencia, Apoyo. PRA.

Ejemplo: Carretilla, cascanueces, remo (el apoyo está en el agua).



TERCER GÉNERO. La potencia se encuentra en el medio. El punto de apoyo y la resistencia están en los extremos.

Recordaremos: Resistencia, Potencia, Apoyo. RPA.

Ejemplo: Tijera de tusar, pedal de la piedra de afilar.



FIG. 52. — Remo. Palanca de segundo género.

FIG. 53. — Tijera de tusar. Palanca de tercer género.

Las máquinas son sencillamente auxiliares de una potencia. No crean fuerza, sólo trasmiten la que les comunica el agente motor. De lo que antecede puede darse la siguiente regla:

Trabajo motor = Trabajo resistente

Como trabajo resistente se consideran la resistencia de roce, aire, etc., más el trabajo útil; en otras palabras, el trabajo motor es igual al trabajo útil más todas las resistencias.

Condiciones de equilibrio. — Para que una palanca pueda ser considerada en estado de equilibrio es indispensable que se cumpla la siguiente proporción:

lo que se expresa diciendo:

La potencia es a la resistencia, como el brazo de resistencia es al brazo de potencia.

Es ésta una ley general en mecánica cualquiera sea la forma o género de palanca empleada.

Estableciendo proporciones simples es fácil hallar cualquiera de los términos conociendo los otros tres.

Ejemplos: ¿Qué potencia será necesaria para levantar un peso de 100 kilos siendo el brazo de la palanca 60 centímetros y el de la resistencia de 22 centímetros?

$$\times : 100 :: 22 :: 60$$

$$\times = \frac{100 \times 22}{60} = 36 \text{ kls. } 666$$

-¿Cuál será la resistencia que ofrece un bulto que para levantarlo exige un

esfuerzo de 92 kilos, sabiendo que se hace uso de una palanca de 2 mts. apoyada a 45 centímetros?

Tenemos:

Recordaremos:

Entonces:

$$92: \times :: 0.45: 1.55$$

—¿Cuál será el brazo de potencia de una palanca que con un brazo de resistencia de 0.30 cm. y con una potencia de 54 kilos levanta un peso de 246 kilos?
—¿Qué largo tendrá una palanca que con un esfuerzo de 36 kilos, levanta un peso de 165 kilos, sabiendo que su brazo de potencia mide 1.15 metros?

Balanzas. — Para medir el peso se utilizan las balanzas. La balanza, cualquiera sea su disposición, está fundada en las leyes de equilibrio de la palanca, según las cuales, cuando los brazos son rigurosamente iguales los pesos que hayan de gravitar en sus dos extremos tienen también que ser iguales para que exista equilibrio; y si los brazos son de diferentes longitudes los pesos de los extremos tienen que estar en razón inversa con las longitudes de los brazos.

La balanza es una palanca de primer género en la cual el punto de apoyo está en el centro, la resistencia en un extremo y la potencia en otro.

Siendo el peso una fuerza, podemos representarla matemáticamente así:

$$P = Mg$$

donde P = peso, M = masa, g = aceleración de gravedad.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 4.

Es posible decir entonces:

Peso de un cuerpo es el producto de su masa por la aceleración impresa por la fuerza de gravedad (1).

De acuerdo con lo dicho los cuerpos pesan por efecto de la gravedad, o sea de la fuerza de atracción que la tierra ejerce sobre ellos.

Pesar significa valorar la acción de la gravedad de un cuerpo tomando una unidad de medida.

Como unidad de medida, se tomó el peso de un centímetro cúbico de agua destilada a 4º de temperatura. Esta unidad recibió el nombre de gramo.

Las balanzas pueden ser ordinarias y de precisión. Dejando a un lado los diversos tipos de balanza, daremos suscintamente una

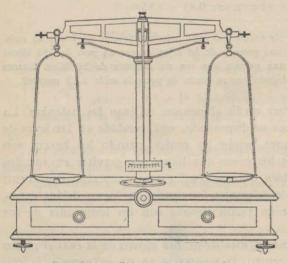


FIG. 54. — Balanza de laboratorio.

descripción de la balanza llamada de precisión usada en los laboratorios. En esta balanza debemos considerar:

Un brazo o cruz.

Una columna de soporte.

Dos platillos iguales.

Pesas construídas y controladas al vacío.

Como resulta difícil apreciar cuándo el equilibrio es perfecto, es decir, cuándo la cruz está horizontal o lo que es lo mismo exactamente perpendicular a la columna, se fija en el centro una aguja

⁽¹⁾ g = constante. La altura modifica la influencia de la gravedad, por lo tanto modifica el peso.

o flecha que recorre un arco graduado cuyo cero corresponde a la horizontal de la palanca, siendo la columna perfectamente vertical. Esta aguja recibe el nombre de juez o fiel de la balanza (fig. 54). Mediante este fiel puede determinarse el lugar exacto del equilibrio de la balanza; para esto bastará observar las posiciones extremas sobre el arco recorrido por el fiel. Ejemplo: va de 4 a la izquierda hasta 6 a la derecha.

$$\begin{array}{c} 4 + 6 = 10 \\ 10 \div 2 = 5 \end{array}$$

Recorriendo cinco divisiones sobre el arco, yendo al encuentro del cero y partiendo de cualquiera de sus puntos extremos, establecemos el cero real.

Condiciones de exactitud y sensibilidad:

- 1) Brazos de la cruz largos, livianos, rígidos y perfectamente iguales.
- 2) Puntos de apoyo de la cruz y de los platos de material resistente y que presenten la menor superficie posible de frotamiento. (Se construyen en forma de prisma triangular, de arista viva, en acero o ágata).
- 3) Que las tres aristas de apoyo se encuentren en un mismo plano.
- 4) Columna de sostén perfectamente vertical.
- 5) Que el centro de gravedad de la balanza vacía se encuentre por debajo del punto de apoyo y lo más cerca posible de él.
- 6) Que se incline acusando la influencia de los más pequeños pesos. Así se dice que una balanza es sensible al centigramo o al miligramo cuando se inclina por diferencias de un centigramo o de un miligramo.
- 7) Evitar la acción de las corrientes de aire o de la humedad (se encierra la balanza en una caja de vidrio, colocando en la misma una substancia higroscópica) (1).

⁽¹⁾ Higroscópica: Avida de agua, que absorbe agua.

Balanza de Roberval. — Es más conocida como balanza de almacenero. De diversos modelos, con un sólo soporte por plato, con dos, y hasta cuatro, el fundamento de la construcción es uno solo (fig. 55). Consta de un paralelógramo ABCD cuyos lados AByCD articulados respectivamente a otros menores ACyBD, al girar sobre el eje en el punto medio, conservan el paralelismo,



FIG. 55. — Balanza de Roberval o de almacenero.

mientras que A C y B D igualmente paralelos se mantienen constantemente verticales. Colocado el objeto a pesar, en el plano P, al ser los movimientos rigurosamente iguales habría que colocar en P' pesas hasta alcanzar igual valor a fin de establecer el equilibrio, lo que se comprueba por el enfrentamiento de las agujas.

Báscula. — Cuando hay que pesar grandes bultos se emplea la llamada báscula o balanza de Quintez. Es una palanca de pri-

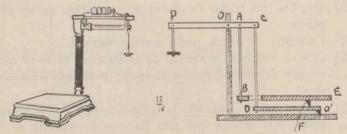


FIG. 56. — Báscula o balanza de Quintez

mer género, estando la potencia en P, el apoyo en O y la resistencia en A. El momento de resistencia O A es 1/10 del momento de potencia O P. Para que la plataforma B E destinada a sostener la carga que se desea pesar se mantenga horizontal apoya, según lo indica la figura 56, por un extremo en F sobre un bastidor D D' el que a su vez apoya en O'.

Los extremos B y D en comunicación con A y C respectivamente, mediante las barras metálicas A B y C D se mueven paralela y proporcionalmente, manteniendo horizontal la plataforma B E. En efecto, al descender B lo hace también D, pero con mayor recorrido, tal que proporcionalmente desciende F exactamente en lo necesario al descenso del extremo E.

Romana. — Es de construcción muy sencilla, constituyendo una palanca de primer género cuyos momentos son desiguales, encontrándose equilibradas por una pesa llamada pilón. Según se ob-

serva en la figura 57 el momento de resistencia puede ser modificado suspendiendo el plato de otro gancho más cerca del apoyo. Esta modificación está calculada de tal modo que el mismo pilón acusa para igual brazo de potencia distintos efectos. Así una misma balanza romana sirve para pesar de 0 a 5 kilos o de 10 a . 50 kilos.



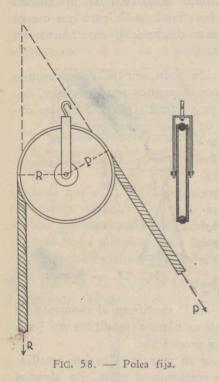
FIG. 57. — Romana

La colocación de pesas de 1, 5 y 10 kilos en el pendiente colocado en P modifican el momento de potencia lo que permite, en una misma báscula, modificar sus límites de pesada aumentándolos en esa proporción.

Según el tipo de la balanza es su manejo. Consiste sencillamente en equilibrarla con pesas o corriendo el pilón. En algunos casos, para mayor exactitud se efectúa primero la tara, o sea encontrar el equilibrio con otro cuerpo (generalmente municiones) y luego, retirando el cuerpo cuyo peso se desea determinar, volver a establecer el equilibrio mediante las pesas.

Equilibrio de las poleas. — Llámase polea a una rueda circular que puede girar alrededor de un eje perpendicular a su plano y que tiene una hendidura o garganta por la cual pasa una cuerda. El eje está sujeto a una pieza en forma de U que se denomina caja.

Las poleas pueden ser fijas, cuando al ser accionadas giran sin cambiar de lugar, y móviles cuando además del movimiento de ro-



tación, poseen el de traslación en avance o retroceso hacia el punto considerado como de apoyo.

POLEA FIJA. — Las fuerzas potencia y resistencia en una polea fija, están representadas por las direcciones de las cuerdas y tienen, en cualquier caso como brazos de palanca, los radios de la rueda (fig. 58).

Esto significa que siendo

esos brazos exactamente iguales entre sí, la condición de equilibrio en la polea fija puede expresarse por la relación:

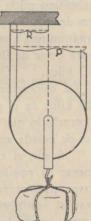


FIG. 59. — Polea móvil.

P = R

igualdad que nos dice que la potencia debe ser igual a la resistencia. La polea fija es una pa-

lanca continua de primer género. Su uso, sólo significa comodidad.

POLEA MÓVIL. — Las poleas móviles son palancas continuas de segundo género, dado que la resistencia está suspendida de su eje, vale decir, en el medio, correspondiendo a una cuerda el apoyo y a otra la potencia (fig. 59).

De acuerdo a lo dicho, es fácil comprender que la resistencia se distribuye por igual en las dos ramas, reduciéndose aparentemente a la mitad, lo que podemos expresar en forma semejante a la polea fija, por la ecuación:

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

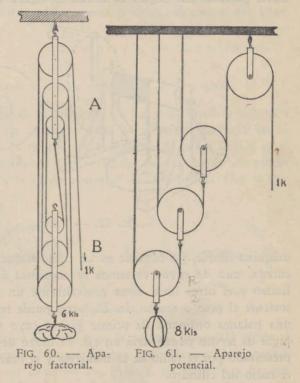
Esquemáticamente, según lo demuestra la figura, en la polea móvil, el brazo de palanza de la resistencia es un radio y el de la

potencia un diáme-

tro.

Generalmente se combinan la polea fija con la móvil para obtener mayor rendimiento y a esos conjuntos se les denominan aparejos o polipastos pudiendo ser en serie o factorial o también aparejo potencial.

Aparejo factorial se llama cuando n poleas fijas de diámetro decreciente y sostenidas por una misma armadura (fig. 60, A), se corresponden con igual número de poleas móviles (B), igual-



mente sostenidas por una misma armadura de la cual pende la carga.

Para calcular la potencia. basta dividir la resistencia por el número de cuerdas que la sostienen.

En el aparejo potencial son n poleas móviles y por cada una de ellas pasa una cuerda, uno de cuyos extremos se encuentra fijo y el otro está sujeto a la polea móvil siguiente (fig. 61). De conformidad a lo dicho anteriormente, y despreciando el peso de la polea, sabemos que la primera reduce el peso a la mitad, la segunda a la cuarta parte, la tercera a la octava, etc.

Torno. — Entre las máquinas simples anteriormente citadas se encuentra el torno, muy usado en construcciones por los albañiles, poceros, etc. Según lo indica la figura 62, el torno es una

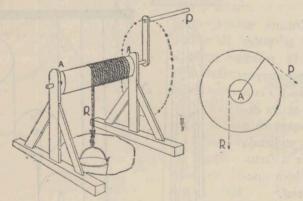


FIG. 62. — Torno.

máquina simple que consiste en ua cilindro que tiene arrollada una cuerda, uno de cuyos extremos se encuentra fijado al mismo cilindro y el otro, libre, tiene generalmente un gancho destinado a sostener el peso o resistencia. El torno puede ser considerado como una palanca ordinaria de primer género cuyo punto de apoyo en lugar de ser un punto sería un eje. El brazo de potencia estaría representado por el radio de la manivela y el brazo de resistencia por el radio del cilindro.

Semejante a la palanca, podemos entonces establecer la relación de equilibrio:

Potencia X brazo de manivela = Resistencia X radio de cilindro

Para saber la potencia que puede ejercer un determinado torno basta establecer la relación:

siendo R el radio de curso del brazo de manivela y r el del cilindro. La resistencia dividida por el cociente de ambas, acusa la potencia necesaria.

Ejemplo: ¿Qué potencia necesitamos para levantar, con un torno cuyo radio de cilindro es de 8 cm. y el brazo de manivela de 60 cm., un peso de 400 kilos?

$$R = 60$$
 $\frac{60}{-} = 5$ $\frac{400}{5} = 80 \text{ kilos}$ $r = 8$

En este caso la resistencia es cinco veces mayor que la potencia.

Teoría elemental de la bicicleta. — En toda bicicleta debemos considerar como partes esenciales para su movimiento, una rueda dentada o engranaje A, rígido con la palanca de pedal OB y que, mediante la cadena transmite el esfuerzo del ciclista al llamado piñón F, rígido a la vez en la rueda posterior de la máquina (fig. 63).

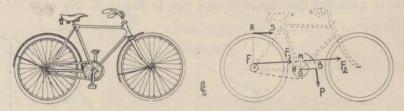


FIG. 63. - Teoría elemental de la bicicleta.

Si hacemos O B = R₁ (radio de la palanca de pedal) sobre el cual se ejerce la potencia P, como se encuentra fija con el engranaje A, podemos considerar O M = R₂. Ahora, de acuerdo a lo que sabemos, establecemos la relación:

$$P \times R_1 = F_2 \times R_2 \qquad (1)$$

Potencia por radio de palanca Resistencia por radio de engranaje

Por medio de la cadena F_2 puede ser considerada como F_1 aplicada al piñón F, cuyo momento sería $F_1 \times R_3$, siendo R_3 el radio del piñón.

Ahora bien. La fuerza F_1 acciona en realidad como si fuera una fuerza R S tangencial a la rueda trasera y paralela al pavimento por el que se desliza de tal modo que, llamando R_4 al radio de la rueda tenemos:

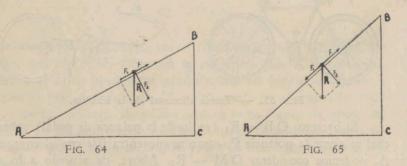
$$RS \times R_4 = F_1 \times R_3 \qquad (2)$$

Substituyendo valores $(F_2 = F_1)$ y eliminando F_1 en las ecuaciones 1 y 2, lo que se consigue dividiendo miembro a miembro, tenemos:

$$\frac{P}{RS} \times \frac{R_1 \text{ (radio de palanca)}}{R_4 \text{ (radio de rueda)}} = \frac{R_2 \text{ radio de engranaje}}{R_3 \text{ radio de piñón}}$$

Plano inclinado. — Plano inclinado es todo plano que forma con el horizonte cierto ángulo. En la figura 64, A B representa la longitud del plano, la proyección A C su base y la B C su altura.

Un cuerpo colocado sobre el plano es solicitado por la acción de la gravedad que representamos por la fuerza R. No existiendo



el plano, el cuerpo caería según la dirección de esa fuerza, pero por la resistencia del mismo el cuerpo sigue la dirección de la fuerza F₁, paralela al plano. La fuerza R puede considerarse entonces como

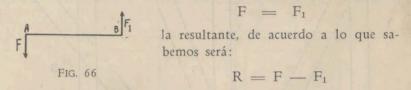
descompuesta en las componentes F_1 y F_2 quedando la F_2 anulada por la resistencia del plano.

El movimiento es pues producido por la fuerza F₁ y para evitarlo será necesaria otra fuerza F de igual intensidad y dirección pero de sentido contrario. Del gráfico (figs. 64 y 65) se destaca que la resistencia será tanto mayor cuanto mayor sea la altura del plano inclinado, lo que podemos expresar por la relación:

o sea que la condición de equilibrio del plano inclinado se encuentra cuando la potencia es a la resistencia como la altura es a la longitud.

Cuplas. — Se da el nombre de Par o cupla a un sistema de fuerzas paralelas de igual intensidad pero de sentido contrario.

La figura 66, nos indica un par formado por la barra AB y las fuerzas paralelas iguales y de sentido contrario F y F₁. Tenemos:



vale decir: R = O o sea que la resultante de un par o cupla es nula. Sin embargo el efecto de este sistema no es nulo, y aunque la resultante da cero, el brazo del momento es infinito. Se comprende entonces, que aunque no puede producir ninguna traslación, podrá producir un efecto de giro o rotación. La característica del sistema, no será entonces la resultante, sino el momento.

El momento, en un par de fuerzas, es igual a la intensidad de una de las dos fuerzas, multiplicada por la distancia mínima entre ellas $(F \times AB)$.

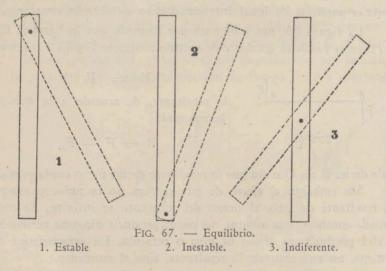
B) EQUILIBRIO

Equilibrio de los cuerpos suspendidos y apoyados

Equilibrio es la igualdad entre el peso y la fuerza que contrarrestándose mutuamente, dejan en suspensión el movimiento.

Se dice que un cuerpo se encuentra en equilibrio cuando la resultante de las fuerzas que sobre él actúan es nula.

Debemos distinguir tres clases de equilibrio: estable, inestable, indiferente.



El equilibrio es estable cuando el cuerpo separado de su posición de equilibrio tiende por si solo a recuperarlo. Ejemplo: péndulo, plomada. El equilibrio es inestable cuando separado de su posición de equilibrio, por pequeña que sea la desviación, no vuelve a ella.

Por último, es indiferente cuando el cuerpo desviado de su posición, queda siempre en equilibrio.

Para que un cuerpo móvil, alrededor de un eje horizontal, esté en equilibrio, es necesario que la vertical (pág. 42, fig. 46) que pasa por el centro de gravedad encuentre al eje. En este caso, el peso del cuerpo sólo hará sentir la presión sobre el propio eje y la posición no varía; caso contrario tiende a hacer descender el centro de gravedad y hace girar al cuerpo en torno del eje fijo.

De acuerdo a esto, es fácil comprobar que :

- a) Cuando el cuerpo está suspendido por su centro de gravedad el equilibrio es indiferente.
- b) Cuando el centro de gravedad se encuentra por arriba del punto de suspensión el equilibrio es inestable.
- c) Cuando el centro de gravedad se encuentra debajo del punto de suspensión el equilibrio es estable.

Si el eje de suspensión es vertical, el centro de gravedad (G, fig. 68) corresponde al mismo plano que corta al eje de rotación

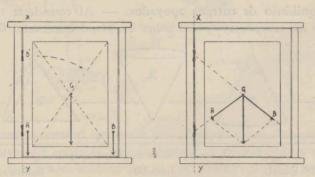


FIG. 68. — Equilibrio de cuerpo suspendido.

x y, y entonces, en cualquier posición que se coloque el cuerpo quedará satisfecha la condición de equilibrio indiferente.

Supongamos, en otra forma, que la fuerza de gravedad G se halle descompuesta en dos fuerzas paralelas A y B. Tendremos que A queda anulada por la correspondiente charnela que hace una fuerza igual y contraria. Si entonces actuara B, el objeto caería siguiendo la dirección de la flecha hasta que el centro de gravedad encontrara la vertical del eje x y; pero como está sujeto por B' el movimiento se anula.

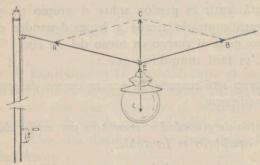


FIG. 69. — Equilibrio de cuerpo suspendido.

Un caso práctico análogo, de cuerpo suspendido, es el que muestra la figura 69. Del simple examen de la misma se observa que las fuérzas E A, E B y resultante E C, se encuentran en un mismo plano. Asimismo la fuerza de grave-

dad, representada por el peso del farol, se encuentra anulada por la resultante mencionada de dirección contraria.

Equilibrio de cuerpos apoyados. — Al considerar el equilibrio de los cuerpos apoyados sobre un plano horizontal llamamos



1º Estable La base es un círculo. 2º Inestable La base de sustentación es un punto 3º Indiferente. La base de sustentación es cualquiera generatriz.

base de sustentación al conjunto de puntos de contacto exterior del cuerpo con dicho plano.

Cualquier cuerpo apoyado sobre un plano horizontal, estará en equilibrio, cuando la vertical que pasa por el centro de gravedad caiga dentro de la base de sustentación. Es fácil, pues, comprender que el equilibrio será tanto más estable cuanto más grande sea la base de sustentación.

Hemos dicho que el peso del cuerpo tiende a hacer descender el centro de gravedad, y como la estabilidad del cuerpo será tanto más segura cuanto más bajo se encuentre el centro de gravedad, es factible explicarse por qué al cargar un carro, un vagón o un buque, se colocan siempre abajo los objetos más pesados. Los corredores de automóviles procuran que sus coches sean lo más bajos posible y hasta muchas veces los cargan con plomo para bajar el centro de gravedad.

Por igual razón, al subir una cuesta inclinamos el cuerpo hacia adelante y al bajarla, hacia atrás, y así, instintivamente





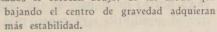


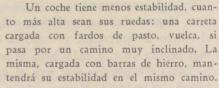
FIG. 72

cambiamos la vertical que pasa por nuestro centro de gravedad y la hacemos caer sobre la base de sustentación de nuestros pies.

Es también el motivo por el cual cuando se lleva una carga se compensa con la posición del cuerpo el sistema formado, de tal modo, que la vertical que pasa por el centro de gravedad se encuentre dentro de los límites del plano de sustentación (figs. 71 v 72).

En la práctica, la consideración del centro de gravedad es muy importante para asegurar la estabilidad de los cuerpos. Cuando se carga un carro, un vagón o un barco, los objetos más pesados se colocan abajo, de tal modo que



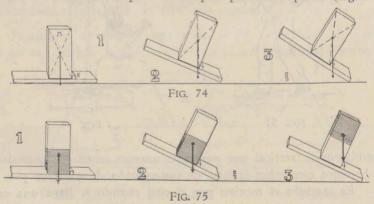


Con una experiencia fácil vamos a demostrar la estabilidad de un vehículo en relación con su centro de gravedad.

Tomamos un taco (M) de madera, de forma rectangular y lo colocamos sobre un plano que podamos inclinar a voluntad. Para evi-

tar su deslizamiento aseguramos una reglilla (N) de apoyo, que anule la acción de la componente del peso paralela al plano (fig. 74).

FIG. 73

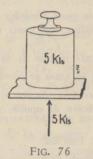


Inclinando el plano (2), llega el momento en que la vertical del centro de gravedad pasa fuera de la base de sustentación (3) y entonces el cuerpo cae.

Se demuestra que el peso de la carga influye en la posición del centro de gravedad usando un taco en cuya construcción se han utilizado dos clases de madera; quebracho (D=1300) y álamo (D=440) o sauce llorón (D=445), figura 75-1. En dos vemos que con igual inclinación que figura 74-2, el centro de gravedad se encuentra más alejado del límite de la base de sustentación, pero si la carga (en este caso peso de la madera componente) se encuentra a la inversa, con idéntica inclinación el cuerpo cae.

Principio de acción y reacción. — Es un principio enunciado por Newton que dice:

Cuando un cuerpo sometido a la acción de una fuerza obra sobre un segundo, este segundo cuerpo reacciona sobre el primero en sentido contrario y con igual intensidad.



Fuerza de 5 kilos sobre el plano (peso del cuerpo, valor de la gravedad)

Fuerza contraria de 5 kilos ejercida por el plano.

El ejemplo de la figura 76 nos revela claramente que el plano debe ejercer una reacción igual y contraria al peso.

RESUMEN

 Momento de una fuerza es el producto de su intensidad por el brazo de palanca.

Dos fuerzas que actúan sobre una palanca se equilibran cuando sus intensidades son inversamente proporcionales a sus brazos de palanca. El equilibrio se establece cuando los momentos son iguales.

 La palanca es una barra rígida, móvil, alrededor de un punto, llamado punto de apoyo, sobre la que actúan dos fuerzas, una en cada extremo, que se llaman, respectivamente, potencia y revistencia.

Las palancas son de tres géneros: 1c, punto de apoyo en el centro; 2c, punto de apoyo en un extremo y la potencia en el otro; 3º, el apoyo y la resistencia en los extremos.

3. Para medir el peso se utilizan las balanzas. Se funda en las leyes de equilibrio de la palanca, a sea: La potencia es a la resistencia, como el brazo de resistencia es al brazo de potencia.

Cualquier balanza es una palanca de primer género.

- 4. Llámase polea a una rueda circular que puede girar alrededor de un eje perpendicular a su plano y que tiene una hendidura o garganta por la cual pasa una cuerda. Pueden ser fijas y móviles.
 - —El torno es una palanca de primer género cuya relación de equilibrio es:

 Potencia × brazo de manivela = resistencia × radio de cilindro.

—Plano inclinado es todo plano que forma cierto ángulo con el horizonte. Consideramos longitud, base y altura. La condición de equilibrio está dada por la relación:

Potencia: resistencia:: altura: longitud.

5. Se le da el nombre de par o cupla a un sistema de fuerzas paralelas de igual intensidad pero de sentido contrario.

La característica no es la resultante sino el momento. Momento es el producto de la intensidad de una de las fuerzas, multiplicadas por la distancia mínima entre ellas.

 Equilibrio es la igualdad entre el peso y la fuerza, que contrarrestándose mutuamente, dejan en suspensión el movimiento.

Puede ser estable, inestable e indiferente.

En los cuerpos suspendidos esto se cumple según la posición del centro de gravedad con respecto al punto de suspensión.

En los cuerpos apoyados debe tenerse en cuenta la vertical que pasa por el centro de gravedad y la base de sustentación.

CAPITULO III

A) MOVIMIENTO

Movimiento de un cuerpo rígido: traslación y rotación. Medida del tiempo; unidad. El día solar medio.

Se dice que un cuerpo está en movimiento cuando su posición en el espacio, con respecto a otros, varía en relación con el tiempo.

El cuerpo en movimiento se denomina móvil, y la línea de posición que ocupa sucesivamente un móvil, recibe el nombre de trayectoria. Cuando la trayectoria es recta el movimiento será rectilíneo, si curva, curvilíneo.

Velocidad es la relación entre espacio recorrido y tiempo.

Movimiento de un cuerpo rígido. — Al referirnos a la constitución de la materia, admitimos que estaba formada por pequeñas partículas que denominamos moléculas. Cuando una fuerza acciona sobre un cuerpo y provoca un movimiento del mismo, es de suponer que todas las moléculas que lo constituyen se moverán simultáneamente y ese conjunto se llamará móvil.

Un tubo de goma, colocado sobre una mesa, al ser tirado de un extremo, sufre cierto alargamiento antes de ponerse en movimiento; pero si en lugar de goma fuera de hierro esta deformación transitoria no sería aparente.

En realidad, toda fuerza aplicada a un cuerpo, determina siempre deformaciones o movimientos elásticos de las moléculas, por más rígido que aparente ser el cuerpo, pero como estas deformaciones son infinitamente pequeñas en relación al espacio recorrido por el cuerpo en movimiento: a fin de simplificar el estudio, consideramos que dichas deformaciones no se produzcan y creamos el concepto de cuerpo rígido.

Anteriormente hemos dicho que dos fuerzas iguales en dirección e intensidad, pero de sentido contrario, se anulan. Con el concepto de cuerpo rígido, esto sucede (fig. 77) tanto si se aplicar en un mismo punto (1) o en puntos distintos (2).

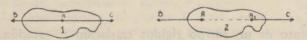


FIG. 77. — Fuerzas aplicadas en cuerpo rígido.

En efecto, la fuerza AC, aplicada en el punto A, anula a la fuerza AB (1). En (2), la fuerza A, C, produce igual efecto de anulación, tanto se aplique en A como en cualquiera de los puntos que correspondan a su dirección.

Si sobre un cuerpo rígido actúan dos fuerzas de dirección distinta y puntos de aplicación diversos, basta encontrar el punto de aplicación de la resultante de ambos. (Ver figs. 37 y 40).

Traslación y rotación. — Aunque las palabras traslación (de trasladar) y rotación (de rotar) son claras en el significado, distinguiremos especialmente, con un ejemplo gráfico su aplica-



vectoria.

ción a un móvil. Supongamos una recta AB en movimiento de traslación simple y en movimiento de rotación simple (figs. 78 y 79).

Ahora, en lugar de considerar una recta, imaginemos un



FIG. 79. -Rotación

cuerpo rígido y dos puntos sobre el mismo. Recordaremos el teorema: dos puntos determinan una recta a la cual pertenecen.

Sea el cuerpo C y los puntos del mismo A y B (fig. 80). En un movimiento de simple traslación los puntos A y B no cambian su ubicación y al trasladarse describen dos líneas A, A₁, A₂, A₃, A₄, etc. y B, B₁, B₂, B₃, B₄, etc., exactamente iguales y que pueden coincidir superponiéndolas



FIG. 80. — Traslación de cuerpo rígido.



FIG. 81. — Rotación de cuerpo rígido.

En el movimiento de rotación el cuerpo gira sobre sí mismo, o sea, como si tuviera un eje x y, de tal modo, que dos de sus puntos permanecen fijos como si fueran los extremos del eje sobre el cual gira (fig. 81).

Medida del tiempo; unidad del tiempo. — La unidad de medida del tiempo es el segundo. Un segundo es $\frac{1}{60}$ de minuto y

éste a su vez $\frac{1}{60}$ de una hora. La hora es $\frac{1}{24}$ de un día solar medio.

Debemos distinguir día solar medio de día sidereo. Llámase dia sidereo al tiempo exacto que tarda el sol en pasar por el mismo lugar entre dos medios días (consideramos la tierra en reposo). El día verdadero o día sidereo tiene 24 horas y algunos segundos que como no se cuentan en el día solar medio, convencionalmente se acumulan en 6 horas cada año, es decir, 24 horas cada cuatro años, o sea el día más del año bisiesto. De acuerdo a esto, el día solar medio es un día sidereo o sideral.

Día sideral o estelar es el espacio de tiempo comprendido entre dos pasos de una estrella por el meridiano del lugar.

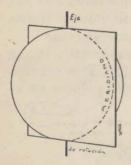


FIG. 82. — Meridiano

Llámase meridiano, o más correctamente meridiano del lugar, al plano que determina el punto que ocupa el observador so-

bre la superficie de la tierra, con el eje de rotación de la misma (figura 82).

Al intervalo de tiempo comprendido entre dos primaveras con-

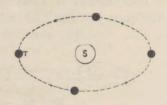


FIG. 83. — Elipse.

secutivas se le llama año solar. Corresponde al tiempo empleado por nuestro planeta en recorrer la elipse alrededor del sol (fig. 83) o sean 365 días y 6 horas.

Día solar medio. — Hemos considerado a la Tierra en reposo, pero sabemos que gira. En rigor, pues, el día sidereo nos da la medida del tiempo en que la Tierra cumple una vuelta completa sobre su eje y esta unidad se acepta como constante.

Sabemos también que la Tierra se encuentra animada de un movimiento de traslación, de tal modo, que si consideramos el espacio de tiempo que cumple la Tierra en su movimiento de rotación, éste ha de variar en cada vuelta o sea cada día.

Llámase día solar verdadero al tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos del centro del sol por el meridiano del lugar.

En efecto, el tiempo de duración de los días sufre una disminución y un aumento progresivos que para nosotros, por nuestra posición en la Tierra, alcanza su máximo el 21 de Diciembre y el mínimo el 21 de Junio.

Finalmente, día solar medio es el día solar convencional que representa el promedio de duración de todos los días solares del año.

B) MOVIMIENTO UNIFORME

Movimiento uniforme. — Definición de velocidad; unidad. — Leyes del movimiento uniforme. Representación gráfica.

Movimiento uniforme. — Es aquel en que el móvil recorre espacios iguales en tiempos iguales, es decir, cuando la velocidad permanece invariable, vale decir, es constante.

Ejemplo:

espacio		tiempo
2	m.	1 seg.
4	m.	2 seg.
6	m.	3 seg.
8	m.	4 seg.
30	m.	15 seg.
		V = 2 m/seg.

Velocidad (velocidad numérica) es la constante que representa el espacio recorrido en la unidad de tiempo, en movimiento uniforme.

Unidad de velocidad resulta de dividir las unidades de longitud o espacio, por las de tiempo:

que se expresan: metros por segundo; kilómetros por hora.

Las fórmulas de resolución de espacio, velocidad y tiempo, en el movimiento uniforme son las que siguen:

Espacio
$$=$$
 velocidad \times tiempo

Velocidad $=$ $\frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$

Tiempo $=$ $\frac{\text{espacio}}{\text{velocidad}}$

Leyes del movimiento uniforme. — Conforme a lo expresado se deducen las leyes:

- a) En el movimiento uniforme la velocidad es constante.
 - b) El espacio recorrido es proporcional al tiempo.

La representación gráfica del espacio en el movimiento uniforme está dada por un paralelógramo en el cual un lado (vertical) representa la velocidad y otro (horizontal) el tiempo (fig. 84).

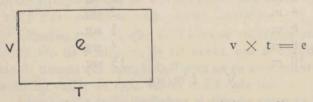


FIG. 84. — Gráfico de movimiento uniforme.

C) MOVIMIENTO VARIADO

Definición de aceleración; unidad. — Movimiento uniformemente variado; sus leyes; representación gráfica. — Caída de los cuerpos en el vacío.

Movimiento variado. — Cuando un móvil recorre espacios desiguales en tiempos iguales el movimiento es variado.

Denomínase movimiento uniformemente variado cuando la velocidad varía cantidades iguales en tiempos iguales. El movimiento uniformemente variado puede ser uniformemente acelerado o uniformemente retardado.

Llámase aceleración a la cantidad en que varía la velocidad en la unidad de tiempo (un segundo, una hora).

Para determinar la unidad de aceleración se divide la unidad

de velocidad
$$\left(v = \frac{e}{t}, \frac{e}{segundos}, \frac{kilómetros}{hora}\right)$$

por la unidad de tiempo. Sea e, espacio, y s, segundos, las unidades; tendremos:

$$\frac{e}{s} = \frac{e}{s^2}$$

o lo que es lo mismo:

$$\frac{Km}{h} = \frac{Km}{h^2}$$

Movimiento uniformemente variado. — Sabemos que en este movimiento la velocidad aumenta o disminuye en una proporción constante. Si consideramos una velocidad inicial (vi) en un primer tiempo, después de (t) unidades de tiempo tendremos una velocidad final que será la inicial más o menos tantas aceleraciones (a) como unidades de tiempo (t) se consideren, o sea que la variación de velocidad es proporcional al tiempo.

velocidad final = velocidad inicial
$$\pm$$
 (tiempo \times aceleración)
v f = v i \pm (t \times a)

y esta es la fórmula general de velocidad. Si establecemos una comparación entre la velocidad inicial, la velocidad final y el espacio recorrido por el móvil en el tiempo considerado, encontraremos la velocidad media de cualquier movimiento variado.

Ejemplo: Al partir en automóvil de un punto, iremos aumentando la velocidad en ciertos momentos y disminuyéndola en otros. Tardaremos un cierto tiempo en llegar a otro punto. Dividiendo entonces el espacio recorrido por el tiempo empleado tendremos la velocidad media, lo que es lo mismo, que si el móvil animado desde un principio de esa velocidad, la mantuviera invariable durante todo el tiempo.

Representación gráfica. — De acuerdo a lo que antecede, el espacio recorrido es igual a la velocidad media por el tiempo que ha durado el movimiento,

o sea:



FIG. 85. - Velocidad media.

$$e = V m. t$$
 (1)

gráfico que permite demostrar que la velocidad media es igual a la semisuma de la velocidad inicial y de la velocidad final:

$$V m = \frac{V i + V f}{2}$$
 (2)

y de acuerdo a esto, reemplazando en la fórmula (1) a la velocidad media (Vm) por su valor, tendremos:

$$e = \frac{Vi + Vf}{2}t.$$

pero como la velocidad final, es igual a la velocidad inicial más la accleración por el tiempo (V f = V i + a t) (pág. 74), sustituvendo su valor resulta:

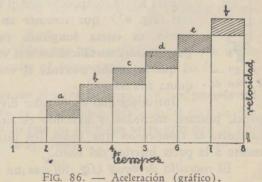
$$e = \frac{(\text{V i} + \text{V i} + \text{at}) \text{ t}}{2} = \frac{(2 \text{ V i} + \text{at}) \text{ t}}{2}$$

siendo entonces la fórmula final resuelta:

$$e = Vi.t + \frac{a.t^2}{2}$$
si $Vi = 0$ $e = \frac{a.t^2}{2}$

En un movimiento uniformemente acelerado se entiende que las aceleraciones son iguales para cada espacio de tiempo. En la fi-

gura 86 se indican con las letras a, b, c, d, e, f. Considerado el movimiento inicial a partir del primer tiempo, debe sumarse a éste la aceleración; en el tercer tiempo la velocidad será la adquirida en el segundo más la aceleración, y así sucesiva-



Tubo de

Newton

mente. Observados los gráficos de espacio separadamente (2-3), (3 - 4), etc., resultan para cada caso igual que si fuera un movimiento uniforme (fig. 84).

Caída de los cuerpos. — Cuando un cuerpo no está sostenido, por acción de su peso cae, pero es dado observar que si se dejan caer al mismo tiempo y de la misma altura cuerpos diferentes, no llegan en el mismo instante al suelo. Esto se debe a la resistencia que ofrece el aire, que será tanto mayor cuanto más grande sea la superficie del cuerpo.

Dividiendo una hoja de papel en dos partes iguales, si estrujamos la mitad hasta hacerla una bola y la abandonamos en el espacio juntamente con la otra

sin arrugar, la hoja arrugada llega primero al suelo porque ofrece

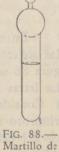
menor resistencia al aire.

-Si abandonamos en el espacio al mismo tiempo dos discos iguales, por ejemplo, una moneda y un disco de cartulina, indudablemente la moneda por su mayor peso llegará primero. Pero si colocamos el disco de cartulina sobre la moneda, ambos llegarán juntos, porque la resistencia del aire es vencida por la moneda y no se ofrece a la cartulina.

LEYES DE LA CAÍDA DE LOS CUERPOS

Todos los cuerpos caen en el vacío con iqual velocidad.

Esta lev se comprueba con el tubo de Newton (fig. 87) que consiste en un tubo de vidrio de cierta longitud, preparado con guarniciones metálicas en sus extremos y en el que es posible efectuar el vacío en la máquina neumática.



agua.

Introduciendo en el tubo diversos objetos,

papel, plumas, monedas, y extraído el aire, al darlo vuelta bruscamente, se comprueba que todos los objetos llegan simultáneamente a la parte inferior del tubo.

El martillo de agua (fig. 88) es un tubo de vidrio de pare-

des gruesas, que contiene agua, y que ha sido cerrado a la lámpara después de haberla hecho hervir durante cierto tiempo para tener la seguridad que el vapor haya desalojado todo el aire. Al darlo vuelta, la masa de aire cae como si fuera toda de una pieza y produce un ruido seco que origina el nombre. Esto se debe a la ausencia de aire, y explica por qué, en presencia del mismo, los líquidos se disgregan en gotitas al caer.

2º La ley de los espacios dice que:

Los espacios recorridos por un cuerpo que cae partiendo del estado de reposo, son proporcionales a los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.

Si un móvil en 1" recorre 10 centímetros en 2" recorrerá 40 centímetros, en 3" el recorrido será de 90 centímetros, en 4" de 160 centímetros y estas cifras corresponden a 22, 32, 42 y así sucesivamente.

Si el espacio recorrido en el primer tiempo fuera de 20 centímetros por ejemplo, la proporción se establecería así:

tiempos	espacio							
1"	20 cm.							
2''	20 ×	22 =	= 20	X	4	=	80	cm.
3"	20 ×	32 :	= 20	X	9	=	180	cm.
4''	20 X	42 :	= 20	X	16	=	320	cm.

3º Por último, la ley de las velocidades se enuncia diciendo que:

Las velocidades adquiridas por un cuerpo que cae partiendo del reposo, son proporcionales al tiempo que dura la caída,

o sea que si un cuerpo que cae alcanza en el primer tiempo una velocidad de 20 centímetros, en el segundo la velocidad será de 40, en el tercero 60, en el cuarto tiempo 80 y así sucesivamente, lo que podemos representar en una igualdad:

$$t_1:t_2:t_3:t_4=1:2:3:4...$$

Al efecto de explicarnos esta proporcionalidad debemos recordar que cuando una fuerza constante acciona sobre un móvil, imprime a éste un movimiento uniformemente acelerado, pero si en determinado momento deja de obrar, el móvil sigue un movimiento uniforme con la velocidad de que estaba animado en el momento de cesar la fuerza.

Así:

tiempo	espacio	velocidad
1"	10 cm.) 20
2''	40 — 10 =	1 711)
3"	90 — 40 =	
4"	160 — 90 =	70 } 20
5"	250 - 160 =	90 } 20

D) PRINCIPIO DE INERCIA

Composición de movimientos. — Principio de superposición.

Principio de inercia. — Fué enunciado por Kepler y se divide en dos partes:

- a) Un cuerpo no puede modificar por sí mismo ni su estado de reposo, ni de movimiento.
- v b) Si un cuerpo libre no se halla solicitado por ninguna fuerza, este cuerpo se encuentra en reposo o bien está animado de un movimiento de traslación rectilíneo y uniforme.

Sabemos que ningún cuerpo en movimiento sigue eternamente en ese estado: ello se debe a la resistencia del aire y al rozamiento del cuerpo con la superficie, factores ambos que lo frenan hasta el estado de reposo. Esto explica el uso de cojinetes y de superficies de roce muy pulidas como así, para disminuir aún más la resistencia, el uso de lubricantes.

Por la inercia sufrimos el efecto de una frenada brusca al ir sentados en un vehículo, inclinamos el cuerpo hacia atrás al descender de un tranvía, tanto más cuanto mayor sea la velocidad de éste en el instante del descenso; caemos, si encontrándonos de pie en un coche de ferrocarril, éste arranca bruscamente, etc.

Composición de movimientos. — Los movimientos o las velocidades de un cuerpo que se mueva en igual o distinta dirección se pueden componer en un solo movimiento o una sola velocidad, que se llamará resultante.

- 1) Un sujeto, que pasa del último coche de un tren hasta el primero, estando el tren en marcha, recorre un espacio en la misma dirección del movimiento del tren.
- 2) Si al contrario, se encuentra en el primer coche y recorre el tren hasta llegar al último, lo hace en sentido contrario al de la marcha del tren.
- 3) El sujeto se encuentra sentado a la derecha y se pasa al asiento de la izquierda, igualmente con el tren en marcha. El recorrido efectuado corresponde a la diagonal del paralelógramo.

PRIMER CASO: El sujeto se encuentra en A y con referencia al tren, va a cierta velocidad de A hasta B. Simultáneamente el



FIG. 89. — Superposición de movimiento (igual sentido).

punto A se ha desplazado hasta A'; pero como el sujeto ha ido desde A hasta B, cuando el punto A haya llegado hasta A', el sujeto se encontrará en B' (fig. 89).

Si llamamos v a la velocidad del tren y v' a la velocidad del sujeto tenemos:

$$V = v + v'$$

SEGUNDO CASO. — El tren ha recorrido, como en el caso anterior, el espacio de A hasta A'. El individuo ha ido en sentido



FIG. 90. — Superposición de movimiento (sentido contrario).

contrario de A hasta B. Cuando el punto A se encuentre en A' el individuo se encontrará en B', de modo pues que la velocidad de su movimiento será la del tren, menos la suya (fig. 90).

$$V = v - v'$$

TERCER CASO. — Suponemos al individuo que camina sobre un buque en la misma dirección de la marcha del mismo: de A hasta B. Si el buque marchara en línea recta, al final el sujeto se encontraría en D; pero como el buque se ha ido desplazando la-

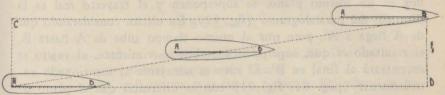


FIG. 91. — Superposición de movimientos (dos direcciones), en plano horizontal

teralmente, este movimiento se ha sumado al anterior, como si de A hubiera marchado hacia C. La trayectoria es entonces la diagonal del paralelógramo (fig. 91).

Principio de superposición. — En los casos anteriormente mencionados, hemos visto que la velocidad se suma cuando va en la misma dirección y se resta cuando lo hace en sentido contrario. También, ha quedado gráficamente demostrado, que el movimiento de un individuo con respecto a un cuerpo a la vez en movimiento, suma los efectos y su trayectoria es la resultante.

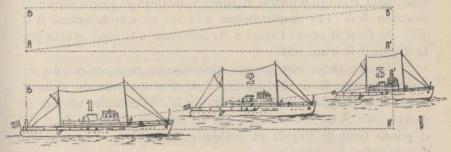


FIG. 92. — Superposición de movimientos (dos direcciones) en plano vertical.

Ahora bien. Imagínemos al individuo sobre el barco y que no sólo va de popa a proa, sino que de una cubierta inferior asciende a otra. Sus trayectorias son dos: de atrás hacia adelante y de abajo hacia arriba (fig. 92).

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 6.

El sujeto en el punto A en el momento de iniciarse la marcha va en la misma dirección del buque hacia A' (lo mismo que el sujeto en el tren, pág. 80, fig. 89); pero además de ese movimiento, sube de una cubierta a otra. Los movimientos, considerados en un mismo plano, se superponen y el trayecto real es la diagonal del paralelógramo (fig. 92). En efecto, considerando que de A llega a A', pero que al mismo tiempo sube de A hasta B, el resultado es que, superpuestos ambos movimientos, el sujeto se encontrará al final en B'. El caso es semejante al mencionado anteriormente (pág. 81, fig. 91) con la diferencia que el plano de movimiento es vertical y antes era horizontal.

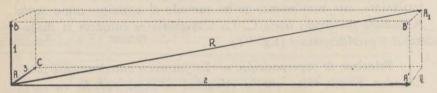


FIG. 93. — Superposición de movimiento (tres direcciones).

Supongamos ahora que ambas resultantes fueran consideradas simultáneamente, lo que equivale decir que el sujeto a partir de A sube hasta B (1), mientras el barco y también el sujeto siguen la dirección A A' (2) desplazándose a la vez en sentido lateral A C (3). Al final el sujeto llegará a A_1 conforme a la representado por la diagonal R (fig. 93).

Veamos ahora esos mismos movimientos superponiéndolos en forma sucesiva. Si de A llega hasta A' y a continuación sigue el efecto A B es igual que de A' llegue a B'. Si entonces obedece al movimiento A C, resulta igual que lo haga de B' hasta A₁,0 sea el punto final de llegada en cualquier orden que efectuara los mencionados movimientos.

RESUMEN

 Un cuerpo está en movimiento cuando su posición en el espacio, con respecto a otros, varía en relación con el tiempo.

Velocidad es la relación entre espacio y tiempo. El conjunto en movimiento se denomina móvil.

- 2. La unidad de tiempo es el segundo. La hora es 1/24 partes de un día solar medio. El día solar medio es un día convencional, siendo el verdadero, con respecto al Sol, el día sidéreo.
- Movimiento uniforme es aquel en que el móvil recorre espacios iguales en tiempos iguales, o sea, que la velocidad es constante.

La unidad de velocidad resulta de dividir las unidades de longitud por las de tiempo.

 El movimiento es variado cuando el móvil recorre espacios desiguales en tiempos iguales.

Aceleración es la cantidad en que varía la velocidad en la unidad de tiempo.

La unidad de aceleración resulta de dividir la unidad de velocidad, por la unidad de tiempo.

- 5. Cuando un cuerpo no está sostenido cae. La caída de los cuerpos en el espacio obedece a las siguientes leyes:
 - 1) Todos los cuerpos caen en el vacío con igual velocidad.
 - Los espacios recorridos por un cuerpo que cae partiendo del reposo, son proporcionales a los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.
 - Las velocidades adquiridas por un cuerpo que cae, partiendo del reposo, son proporcionales al tiempo que dura la caída.
- 6. Inercia es la propiedad por la cual un cuerpo no puede modificar por sí mismo ni su estado de reposo ni de movimiento
- Los movimientos o las velocidades de un cuerpo que se mueva en igual o distinta dirección, se pueden componer en un solo movimiento o velocidad que se llama resultante

PROBLEMAS

- —¿Cuál será la velocidad de un móvil que demora 17 segundos en recorrer 21460 centímetros?
- —¿Cuál será la distancia comprendida entre dos estaciones, sabiendo que, a una velocidad de 50 kilómetros por hora, un tren demora 2 horas y 35 minutos?
- —¿A qué hora llegará a Rosario un tren expreso que sale de Retiro a las 8.30 horas, manteniendo una velocidad de 90 kilómetros por hora, sabiendo que la distancia a recorrer es de 387 kilómetros?
- —¿Cuál será la velocidad horaria de un avión que saliendo de Buenos Aires a las 11 horas, llega a Montevideo a las 11.50 horas, sabiendo que media una distancia de 265 kilómetros?
- '—¿Qué tiempo demorará un ciclista en recorrer el camino de La Plata a Buenos Aires, o sea 58 kilómetros, a una velocidad media de 15 kilómetros por hora?
- —¿Cuál será la velocidad final (v f) de un móvil que se mueve durante 18 segundos con una aceleración constante de 2 centímetros por segundo?
- —¿En cuántos segundos adquiere un móvil una velocidad final de 277 metros por segundo si está animado de una aceleración de 1660 metros por minuto?
- —La bala de un fusil sale con una velocidad inicial de 800 metros por segundo y cae a los 2 segundos y $\frac{1}{4}$ en cuyo instante la v f = 0. ¿Cuál es el retardo uniforme que sufre?

$$V f = V i - a \cdot t \left(\frac{cm}{seg.}\right)$$

- —Un automóvil a una velocidad de 64 kilómetros 800 metros por hora frena en 15 segundos. ¿Cuál será la aceleración negativa? ¿Cuál será el espacio recorrido en esos 15 segundos de frenada?
- —Una lancha a motor tiene una velocidad de 5.55 metros por segundo al ir en favor de la corriente y sólo 3.15 metros al navegar en contra. ¿Cuál es la velocidad de la corriente?
- —Una balsa que atraviesa el Paraná con un ancho de 400 metros y a una velocidad de 22 m. por minuto se desvía 150 metros al llegar a la orilla opuesta. ¿Cuál es la velocidad de corriente del río Paraná?

Trace el gráfico del movimiento en un papel milimetrado y conteste:

¿Cuál es la distancia real recorrida por la balsa?

¿Qué tiempo tarda la balsa en hacer la travesía? !

CAPITULO IV

A) PRINCIPIO DE MASA

Principio de masa o segundo principio de Newton. — Comprobaciones con la máquina de Atwood. — Comparación de masas. — Impulso y cantidad de movimiento.

Anteriormente hemos aceptado que si sobre un móvil actúa una fuerza constante, determina una aceleración constante. Sin embargo, la experiencia demuestra que:

si sobre dos cuerpos distintos acciona una fuerza igual, la aceleración adquirida por cada uno no es la misma.

Esto se debe a la masa del cuerpo, o sea, a la resistencia que ofrece a ser puesto en movimiento.

Hemos dicho anteriormente, que los cuerpos no pueden modificar por sí mismos su estado de reposo o de movimiento y dimos a esta propiedad el nombre de inercia.

La medida del grado de inercia, está dada por la masa.

A mayor masa, mayor inercia. En efecto será más fácil transportar un adoquín que un bloque de granito y una vez animados de movimiento, se hará menos fuerza en detener al primero que al segundo.

Suponiendo que un camión se desliza a una velocidad determinada y es

frenado, no será lo mismo, para igual fuerza de los frenos, que esté vacío o se encuentre cargado, pues la *inercia* de la *masa* carga, exigirá un esfuerzo directamente proporcional a la misma, es decir, que cargado requerirá mayor esfuerzo y tanto mayor cuanto mayor sea el peso de la carga.

Por igual razón, un vehículo muy pesado requerirá mayor tiempo que uno liviano para adquirir una misma velocidad, e inversamente el liviano se ha de detener en menor espacio y tiempo que el pesado.

Como conclusión de los ejemplos anteriores puede enunciarse el principio de masa dado por Newton, que dice:

La aceleración experimentada por un movil en virtud de una fuerza, es directamente proporcional a la intensidad de la misma, de igual dirección y sentido, e inversamente proporcional a su masa

Basado en hechos experimentales, Newton estableció la ecuación del modo siguiente:

Sean las fuerzas constantes en intensidad y dirección F_1 , F_2 , F_3 que producen las aceleraciones a_1 , a_2 , a_3 , ..., o sea:

$$F_1: F_2: F_3 = a_1: a_2: a_3$$

de donde:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3}$$

esto es, que entre la intensidad de la fuerza que actúa sobre el cuerpo y su respectiva aceleración, existe una relación que se expresa F: a que permanece constante. Esta relación constante es la que se denomina masa y se indica con la letra m, de donde:

$$m^{asa} = \frac{F^{uerza}}{a^{celeración}}$$

(directamente proporcional a su intensidad)

de donde:

Fuerza = masa aceleración

la fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración que le imprime la gravedad.

Finalmente, la fórmula:

a = Fuerza

aceleración Masa

es la llamada ecuación de Newton, que expresa matemáticamente, en la forma más sencilla, la ley de su nombre, esto es, que la aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa.

Masa y peso. — Anteriormente (página 85) hemos establecido una relación entre masa e inercia. Debemos ahora distinguir entre masa y peso. Indudablemente, si tenemos dos bolos de igual diámetro pero de distintas substancias —madera y bronce— para sostenerlos haremos más fuerza con el de bronce y decimos que éste tiene mayor peso. Nos encontramos entonces, en condiciones de hacer un enunciado semejante al de masa e inercia:

el peso es directamente proporcional a la masa,

¿cuál es, entonces, la diferencia? Si recordamos lo dicho referente a la gravedad, es fácil comprender que cuando mayor masa se considere, más grande será el peso. De acuerdo a estos enunciados distinguiremos entonces que:

la masa es la medida de la inercia; el peso es una consecuencia de la gravedad.

Ahora bien. Reemplacemos a F por el peso P y la aceleración a, por la aceleración que le comunica la gravedad g; tenemos:

$$m = \frac{P}{g}$$
 $P = m \cdot g$ $g = \frac{P}{m}$

Si la masa m no es solicitada por ninguna fuerza, F=o. Como sabemos que F=m. a, entonces m. a=o, y para esto, a=o, vale decir que el cuerpo continúa en su estado de movimiento rectilíneo y uniforme, o en reposo.

Comprobaciones con la máquina de Atwood. — Como por acción de la gravedad todos los cuerpos caen de igual modo, es posible estudiar la caída de uno cualquiera, pero no es fácil hacerlo

sobre cuerpos cayendo libremente en virtud de la rapidez con que lo hacen.

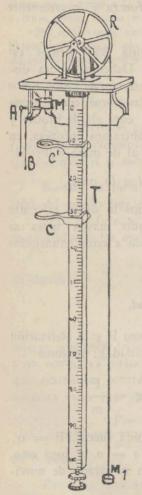


FIG. 94. — Máquina de Atwood.

La máquina de Atwood (fig. 94) permite retardar el movimiento de caída sin modificarlo, haciendo posible la observación. Consta de una rueda o polea fija de aluminio R, muy liviana, cuyo eje descansa sobre cuatro pequeñas rueditas, puestas dos a dos, para disminuir la resistencia producida por el rozamiento.

Por la garganta de la polea R pasa un hilo delgado, de peso despreciable por lo pequeño, en cuyos extremos penden dos cilindros de bronce de masas M y M' exactamente iguales. En cualquier posición que se encuentren las masas M y M' estarán en equilibrio, pero si a M se agrega una masa adicional m, M + m descenderá atrayendo a M'. El peso de m al caer, no lo hace como si cayera libremente, sino que debe poner en movimiento a las masas M y M', de lo cual resulta el retardo que facilita la experiencia de comprobación.

Ahora bien. Tenemos:

M = M'

es decir, que cualquiera que sea el peso, serán los mismos cuando sean nulos, o sea cuando m caiga solo, de donde resulta exactamente igual, estudiar su caída solo, o acompañado de las masas M y M'.

Completando la descripción de la máquina de Atwood añadiremos que completan su estructura una regla graduada T, una

plataforma movible A y un dispositivo de "largada" B que per-

mite en determinado momento dejar caer el peso sostenido por A, haciendo sonar simultáneamente una campana. Completan el dispositivo dos cursores, uno C' en forma de anillo y otro C macizo, destinado a interrumpir la caída del cuerpo.

TEORÍA DEL MANEJO. — Llamemos p, al peso de la masa adicional m y g a la aceleración que la fuerza p imprime dicha masa m. Tenemos:

$$p = m . a$$
 (1)

Como m está colocada en M, al caer pone en movimiento a las masas M y M' que, como sabemos, son iguales o sea: M + M' = 2 M; de tal modo el movimiento total será: 2 M + m.

Sabemos que a mayor masa corresponde menor aceleración (pág. 86), de donde si llamamos g a la aceleración de $2\,$ M $+\,$ m, la expresión algebraica de p será:

$$p = (2 M + m) g (2)$$

pero como p(1) = p(2), tenemos:

$$(2 M + m) g = m . a$$

de donde, la aceleración en la máquina de Atwood será:

$$g = \frac{m \cdot a}{2 M + m}$$

es decir:

$$g = a \frac{m}{2 M + m}$$

(En la práctica de comprobaciones se acostumbra a usar M=50 y 100 gramos y m=1 y 10 gramos).

1ª COMPROBACIÓN. — Cuando una fuerza deja de actuar instantáneamente sobre una masa, ésta continúa su movimiento uniforme.

Se coloca M y el adicional m, montado sobre la misma, en la plataforma A.

Con auxilio de un metrónomo (fig. 95) se suelta con B haciendo coincidir el golpe del metrónomo con el del timbre. Se trata

entonces de colocar el anillo C, a tal distancia, que detenga la caída de *m* en el preciso instante en que se oiga nuevamente el metrónomo. Hecho esto, se procura colocar la plataforma C a tal distancia que detenga la masa M, que continúa cayendo después de abandonar *m*, justamente a 1, 2, 3 y 4 segundos de haberla dejado. Se comprueba, midiendo el recorrido sobre la regla, de C' a C que es el mismo para cada segundo, vale decir, es constante.



Significa esto que el movimiento es uni-

2³ COMPROBACIÓN. — El movimiento es uniformemente acelerado, cuando sobre la masa actúa una fuerza constante.

Para hacer esta comprobación se coloca el anillo C a distancias que correspondan a 1, 2, 3, 4 segundos de caída, deteniendo en esos instantes a la masa m. Se comprueba que los espacios recorridos sobre la regla varían en la proporción 1, 4, 9, 16, es decir, son los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.

3ª COMPROBACIÓN. — La aceleración es directamente proporcional a la fuerza aplicada.

Habiendo comprobado que el movimiento es uniformemente acelerado y que a mayor aceleración corresponde un mayor espacio recorrido, se trata de demostrar que a mayor fuerza corresponde mayor aceleración.

La prueba se realiza colocando la pesa adicional m, doble o triple de la primera. Se verá que el cursor C para un mismo espacio de tiempo tendrá que ser colocado a doble o triple distancia que al principio.

Comparación de masas. — Anticipadamente, establecimos (página 87) la relación existente entre masa y peso, y de acuerdo a ello podemos decir que: la relación de las masas de dos cuerpos es exactamente igual a la de sus pesos.

Llamemos m, m' y P, P', respectivamente, a las masas y los pesos de dos cuerpos diferentes. Siendo g la aceleración de la gravedad, se tiene:

$$m = \frac{P}{g}$$
 $m' = \frac{P'}{g}$

y dividiendo miembro a miembro, resulta la expresión:

$$\frac{m}{m'} = \frac{P}{P'}$$

Haciendo m' = unidad de masa y P' unidad de peso, resulta:

o sea:

Impulso y cantidad de movimiento. — Al estudiar el principio de masa, quedó establecida la ecuación de Newton:

de donde

$$F = m \cdot a$$

Ahora bien. Si la fuerza F acciona durante un cierto tiempo t, tendremos:

$$F \cdot t = m \cdot a \cdot t \quad (1)$$

Sabemos (pág. 74) que la velocidad es igual a la aceleración por el tiempo, o sea:

$$v = a \cdot t$$
 (2)

Substituyendo el valor v en (1) queda:

 $F \cdot t = m \cdot v$ (impulso) (cantidad de movimiento)

Se denomina impulso al producto de la intensidad de la fuerza por el tiempo transcurrido, y cantidad de movimiento, al producto de la masa por la velocidad.

Cuando se trata de cortar un hilo, se asegura en los extremos y se pega un tirón brusco. Se consigue con esto disminúir el tiempo t y como consecuencia aumentar la cantidad de movimiento.

Aclararemos. En movimiento lento, la cantidad de movimiento m.v, para cada espacio de tiempo t, es pequeña, pero en movimiento brusco, esa misma fuerza F adquiere un valor grande con relación a t, lo que es lo mismo, es muy grande el cociente de m. v por t.

B) UNIDADES

Unidades: sistema c.g.s. y técnico. — Densidad, relación con el peso específico.

Hemos dicho anteriormente (pág. 21) que todas las cantidades físicas tienen un cierto valor, que apreciamos midiéndolas con otra cantidad fija de la misma clase denominada unidad.

Establecimos, también, en sistema técnico o práctico, las unidades fundamentales de:

longitud metro (m)
fuerza kilogramo (Kgr.)
tiempo segundo (seg.)

De aquí se deducen las unidades derivadas de:

Superficie metro cuadrado (m²)

Volumen metro cúbico (m²)

Velocidad metros m
segundos seg

Aceleración metros na segundos segundos al cuadrado

Sistema (C. G. S.) cegesimal o absoluto. — En base a lo dicho anteriormente, tomamos como unidades fundamentales:

de longitud	centímetro	(cm, C)
de tiempo	segundo	(seg, S)
de masa	gramo - masa (1)	(gr, G)

Siendo los derivados:

En el sistema teórico o absoluto, la unidad de fuerza es derivada. Conforme al principio de masa:

$$F = m \cdot a$$

Haciendo m = 1 y a = 1 resulta F = 1

vale decir que:

la unidad de fuerza es igual al producto de la unidad de masa por la unidad de aceleración.

en otras palabras:

es la fuerza capaz de comunicar a un gramo - masa la aceleración de un centímetro en un segundo y esta fuerza se llama dina.

⁽¹⁾ Gramo - masa es la masa de 1 gramo, que se considera constante.

Substituyendo valores, matemáticamente se tiene:

$$F = m \cdot a$$

$$F = 1 \text{ dina} \qquad m = 1 \text{ gr} \qquad a = 1 \frac{cm}{seg^2}$$

de donde:

$$1 \text{ dina} = 1 \text{ grm} \times 1 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} \quad (1)$$

Sabemos (pág. 86) que
$$m = \frac{F}{a}$$
 pero como: Fuerza = Peso

$$m = \frac{P}{a}$$

El valor de la intensidad de la gravedad y por lo tanto, la aceleración impresa por la gravedad, varía con el lugar; más exactamente aumenta con la latitud y disminuye con la altura. El valor de g es para:

Buenos Aires	797.66	por	segundo
Montevideo,	979.73	11	15
La Plata,	979.75	**	,,
Santiago de Chile,	979.05	1.7	11
París,	981.—	2.2	**
Roma,	980.31	**	12
	983.09	,,	11
	978.01	7.5	all the so
	980.66	,,	,,

De acuerdo a esto, considerando la aceleración por la gravedad en París. en la fórmula (1) tenemos:

$$1 \text{ gr m} = \frac{1 \text{ gr}}{981 \text{ cm/seg}^2}$$

de donde:

$$1 \text{ dina} = \frac{1}{981} \text{ gr} \quad \text{y} \quad 1 \text{ gr} = 981 \text{ dinas}$$

Densidad, relación con el peso específico. — Llámase densidad de una substancia a la relación entre su masa y su volumen. Si consideramos la unidad de volumen, resultarán que la densidad es la masa de la unidad de volumen.

Llámase peso específico de una substancia, a la relación entre su peso y su volumen. Si este último es igual a la unidad, resulta que el peso específico es el peso de la unidad de volumen.

Sabemos que toda fuerza aplicada a un cuerpo le imprime un movimiento uniformemente acelerado y que la masa del cuerpo, es la relación constante que existe entre cualquier fuerza que sobre él actúe y la aceleración que la misma le imprime. Si la fuerza es la gravedad, es decir, el peso del cuerpo, tendremos que para dos cuerpos diferentes

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

o sea que

$$\frac{m}{m'} = \frac{P}{P'}$$

esto es, que las masas de los dos cuerpos son proporcionales a sus pesos respectivos.

De acuerdo con las definiciones dadas más arriba, tendremos para dos substancias diferentes cualesquiera:

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

$$D' = \frac{m'}{v'}$$

para la otra:

$$Pe = \frac{P}{v}$$

$$P'e = \frac{P'}{v'}$$

Dividiendo ordenadamente resulta:

$$\frac{D}{Pe} = \frac{m}{P} \quad y \quad \frac{D'}{P'e} = \frac{m'}{P'} \tag{2}$$

Substituyendo los valores de las masas de las igualdades (1) en las igualdades (2) tendremos:

$$\frac{D}{Pe} = \frac{\frac{P}{g}}{P} = g \qquad y \qquad \frac{D'}{P'e} = \frac{\frac{P'}{g}}{P'} = g$$

de donde:

$$\frac{D}{Pe} = \frac{D'}{P'e}$$

y, finalmente:

$$\frac{D}{D'} = \frac{Pe}{P'e}$$

es decir, que las densidades de las dos substancias son proporcionales a los respectivos pesos específicos de las mismas.

Ahora bien, como se toma como unidad de masa, la masa de la unidad de peso, resulta, en definitiva, que el número que expresa la densidad de una substancia es el mismo que el que expresa su peso específico, de donde se deduce que prácticamente pueden utilizarse, y así lo haremos indistintamente, las dos designaciones que, como acabamos de ver, son virtualmente equivalentes.

Ya dijimos que pesar un cuerpo significaba valorar la acción de la gravedad ejercida sobre él mismo tomando para ella una unidad, el gramo, o sea el peso de un centímetro cúbico de agua destilada a la temperatura de 4º C. La densidad o peso específico del agua en tales condiciones se toma como unidad, y si pesamos un centímetro cúbico de cobre, por ejemplo, y obtenemos que su peso es igual a 8,8 gramos, diremos que su densidad y su peso específico son iguales a 8.8.

C) TRABAJO MECANICO

Unidades. — Aplicación a las máquinas simples. — Energía. — Energía potencial y cinética. — Enunciado del teorema de las fuerzas vivas. — Potencia.

Fuerza y espacio deben ser considerados en el concepto de trabajo.

Si levantamos un cuerpo cualquiera efectuamos un trabajo, pues vencemos la resistencia ofrecida por el peso del cuerpo y cambiamos su posición. Si en lugar soportamos el peso del mismo no efectuamos trabajo y nuestra acción es la misma que la realizada por un plano que se oponga a su caída.

En mecánica denomínase trabajo de una fuerza, considerada constante, al producto de la intensidad de la fuerza por el espacio recorrido en dirección de la fuerza, lo que se expresa:

$$T = F \cdot e$$

y esta igualdad representa la medida del trabajo. Así, 2 kilos levantados a 10 metros de altura requieren un trabajo de 20 kilos porque:

$$T = F (2 k.) \times e (10 mts.)$$

Unidades de trabajo. — De la expresión de trabajo T=F. e se deducen sus unidades. En el sistema métrico, la unidad de trabajo está dada por el *kilográmetro*, que representa al trabajo necesario para elevar un kilogramo a un metro de altura.

En el sistema cegesimal la unidad de trabajo es el ergio que se obtiene cuando la fuerza vale una dina (pág. 94) y el espacio es de un centímetro.

Otra unidad de trabajo muy empleada en la electricidad es el Joule o Julio que equivale a 10.000.000 de ergios.

En resumen:

Unidad práctica de trabajo es el *kilográmetro* Kgm. = Kg × m

Unidad teórica de trabajo es el ergio Eg. = dn × cm

Unidad de trabajo eléctrico es el Joule Joule = 10.000,000 Erg

Equivalencias:

1 gramo = 981 dinas

 $1 \text{ kilogramo} = 981 \times 1000 = 981.000 \text{ dinas}$

1 metro = 100 cm.

entonces:

$$1 \text{ Kgm.} = 981.000 \times 100 = 98.100.000 \text{ ergios}$$

Para hallar cuántos Joule equivale un kilográmetro se divide el valor de éste por el de un Joule, ambos expresados en ergios:

Aplicación a las máquinas simples. — Anteriormente (página 46) hemos definido el concepto de máquina simple y dijimos que son aparatos destinados a transformar las fuerzas en trabajo. Asimismo, se ha establecido (pág. 48) que:

A este principio, llamado llave de oro de la mecánica, obedecen todas las máquinas.

Aplicación al plano inclinado. — Supongamos el plano inclinado ABC (fig. 96), en el cual:

Para levantar un cuerpo desde A hasta B, se tendrá que efectuar un trabajo igual a P1, o sea, que el trabajo de potencia o trabajo motor será igual a la potencia P por la longitud 1, lo que se establece:

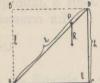


FIG. 96. — Esquema de trabajo, en plano inclinado.

$$Tm = P1$$

Sabemos que la resistencia R realiza, contra la gravedad, un trabajo igual a la resistencia por la altura, o sea:

$$Tr = Rh$$

También hemos establecido que la condición de equilibrio para el plano inclinado (pág. 59) era:

Pero como

$$Pl = Rh.$$
 $Tm = Tr$

Aplicación a la palanca, — Hemos estudiado anteriormente la palanca, habiendo quedado establecido que la potencia debe ser igual a la resistencia para que se cumpla la condición de equilibrio; como así, que los momentos correspondientes sean iguales. Recordaremos que llamamos momento al producto de la fuerza por el brazo de palanca, considerándose brazo de palanca el espacio comprendido entre el punto de apoyo y el punto de aplicación de la fuerza.

De acuerdo a esto, si consideramos una palanca cuyo punto de apoyo sea 0 y los respectivos puntos de aplicación de las fuerzas sean A y B, los brazos establecidos serán 0 A y 0 B y los momentos $P \times 0$ A y $R \times 0$ B.

Siendo que la condición de equilibrio se cumple cuando $P \times 0$ $A = R \times 0$ B y siendo $P \times 0$ A = Tm y $R \times 0$ B = Tr, llegamos, como en otro caso, a la ecuación final:

Tres constitution of the Tres of the state o

Energía. — Concepto. Se dice que un cuerpo, o un sistema de cuerpos, posee energía, cuando es capaz de cumplir un trabajo mecánico.

Un objeto que cae cumple un trabajo. Ejemplo: un trozo de mármol al caer sobre un vidrio lo rompe. Un martillo de pilotes hunde a éstos cuando previamente elevado a cierta altura cae sobre los mismos. Es evidente que cuando mayor peso tenga el cuerpo o mayor sea la altura, tanto mayor será la energía que posea.

El agua que corre por un río, el viento que mueve los molinos y empuja el velamen de los navíos, están dotados de energía.

Energía potencial y cinética. — La energía puede ser potencial o cinética.

Llámase energía potencial a aquella de que se encuentran dotados los cuerpos en reposo, y energía cinética a la de los cuerpos en movimiento.

Un ladrillo llevado al primer piso de un edificio está dotado de menor energía potencial que si ha sido llevado a un quinto piso. Sin duda alguna, esta energía potencial se manifestará transformada en energía cinética con un mayor trabajo al caer del quinto piso, más que del primero. En efecto, será muy distinto el resultado del choque con el pavimento si cae del primer piso o del quinto.

La energía potencial puede transformarse en cinética y ésta en potencial. Esta transformación conocida como juego de la energía, sería infinita si fuera posible evitar las pérdidas resultantes de la resistencia del aire, el rozamiento, etc.

PRINCIPIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA. — La energía no se pierde, solamente se transforma, manifestándose de diversas maneras. Es este el enunciado conocido como principio de la conservación de la energía.

Cuando doblamos sucesivamente, en forma continuada, un trozo de alambre, observamos que llega un instante en que el calor desarrollado nos impide tenerlo.

El choque continuado de un martillo sobre el extremo de una varilla de cobre, la hace cambiar de forma y se observa que en el lugar de los choques la varilla se calienta.

Son estos efectos caloríficos de transformación de energía, o energía calorífica. Hay otros efectos de la transformación de energía: luminosos, magnéticos, eléctricos, químicos.

Si imaginamos un sistema aislado, es decir que no recibe del exterior trabajo ni energía de ninguna clase, cualquiera sean los fenómenos que se produzcan, térmicos, luminosos, etc., la cantidad total de energía es constante, vale decir, que para una misma cantidad, el efecto de transformación no aumenta ni disminuye y resulta siempre una perfecta equivalencia entre la cantidad de energía origen y el efecto luminoso, térmico, etc., consecuencia de la transformación.

Enunciado del teorema de las fuerzas vivas. — Al estudiar energía (pág. 101) hemos dicho que un cuerpo posee energía cuando es capaz de cumplir un trabajo y que el agua que corre por el río, el viento que empuja los navíos, etc., están dotados de energía.

Anteriormente, cuando estudiamos gravedad, peso, movimiento, consideramos en cada caso un conjunto que era la suma de una cantidad de pequeñas partículas llamadas moléculas.

Considerado un punto material en movimiento, es indudable que todas las partículas que lo constituyen se moverán simultáneamente. (Concepto de cuerpo rígido).

De acuerdo a esto, la fuerza que puede ejercer el conjunto es la suma de todas las fuerzas de las partículas que lo constituyen. Llámase fuerza viva de un sólido a la suma de las fuerzas vivas de todos los puntos materiales que lo constituyen.

Fuerza viva es el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad.

Sabemos que F = m.a (pág. 86) y que en movimiento uniformemente acelerado el espacio recorrido en un tiempo t es:

Si multiplicamos miembros a miembro estas igualdades se tiene:

$$F \cdot e = m \cdot a \cdot \frac{a t^2}{2} = \frac{m \cdot a^2 \cdot t^2}{2}$$
 de donde, reemplazando

(pág. 74)
$$F \cdot e = \frac{m \cdot v^2}{2}$$
 lo que nos dice que: el trabajo de las

fuerzas exteriores para comunicar una velocidad y a una masa m, es igual a la mitad del producto de la masa por el cuadrado de la velocidad. Siendo esta la expresión que representa la medida, o mejor dicho, el valor de la energía cinética de un cuerpo cuya masa sea m y se encuentre animado de una velocidad v.

Cuando golpeamos un clavo con un martillo, de masa m, la mano que acciona sobre el mismo, le comunica una cierta velocidad v.

Según que la madera sea blanda o dura, para un mismo trabajo, el espacio e recorrido por el clavo será mayor o menor.

Si llamamos F al valor medio de la resistencia, que a la inversa es fuerza que se debe hacer, resultará que el trabajo es F · e, y esto, en valor, es igual a la semifuerza viva del martillo, o sea:

$$F \cdot e = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Resolviendo resulta:

$$e = \frac{m \cdot v^2}{2 F}$$
 de donde: $F = \frac{m \cdot v^2}{2 e}$

lo que pone en evidencia que para una determinada energía del martillo, cuanto mayor sea la resistencia, menos será el espacio recorrido por el clavo.

Consideremos ahora un proyectil que atraviesa un tablón llegando con una velocidad v y saliendo con una velocidad v. El trabajo realizado será:

$$F \cdot e = \frac{m v^2}{2} - \frac{m v'^2}{2}$$

es decir la diferencia entre las velocidades v — v' y esto se enuncia diciendo:

El trabajo realizado por un cuerpo de masa m que pasa de una velocidad v a otra v', es equivalente a la variación de la energía cinética del mismo.

Es este el enunciado que se conoce bajo la denominación de teorema de las fuerzas vivas.

Potencia. — Se denomina potencia a la relación que existe entre el trabajo y el tiempo:

La unidad de potencia se obtiene dividiendo la unidad de trabajo (kilográmetro) por la unidad de tiempo (segundo):

Unidad de potencia =
$$\frac{\text{Kgm.}}{\text{seg.}}$$

Es esta la unidad en el sistema técnico. En el mismo C. G. S. Joule la unidad de potencia: ———, y en el sistema práctico ———— o seg sea el watt o vatio.

El caballo vapor (H.P) es una potencia de 75 kilográmetros por segundo; en otras palabras, un motor tiene una potencia de 1 H.P cuando puede realizar un trabajo de 75 kgm. en 1 segundo de tiempo.

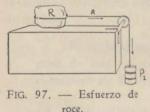
D) ROZAMIENTO

is one is unided on a sixtema election. En al mismond MC.

En lo estudiado hasta ahora, hemos admitido para las distintas máquinas, que la condición de equilibrio se cumple cuando la potencia P es igual a la resistencia R.

En la práctica esto no es real, pues siempre debe ejercerse una potencia algo mayor, lo suficiente para vencer además a una resistencia pasiva llamada roce.

Así, un cuerpo R (fig. 97) para recorrer un espacio en el



sentido de A requerirá un número de pesas o fuerza P, que sea en total: un peso, y el peso que represente el esfuerzo del roce.

Recordaremos (pág. 48) que el trabajo motor era igual al trabajo útil más todas las resistencias, entre las cuales consideramos al roce. A la potencia ne-

cesaria para vencer la resistencia, el roce y ejecutar trabajo útil, la denominamos potencia práctica.

De acuerdo a esto:

El rendimiento de una máquina es la razón entre el trabajo resistente útil y el trabajo motor de la potencia práctica

lo que representamos:

Rendimiento = trabajo resistente útil trabajo motor total

El roce o frotamiento puede ser deslizante o resbalante y rodante, según que el cuerpo se mueva deslizando las superficies en contacto o lo haga mediante superficie cilíndrica rodante.

Coulomb estableció para el roce resbalante que:

a) El roce es proporcional a la fuerza ejercida por el cuerpo sobre la base de resbalamiento.

Si el cuerpo pesa 100 kilos ejercerá sobre el plano una fuerza equivalente y sin duda alguna, ésta será mayor que la de otro cuerpo cuyo peso sea de 40 kilos solamente.

b) El roce es independiente del tamaño de las superficies de contacto.

Se coloca un trozo de madera y se determina el roce. Reemplazándolo por dos listones de la misma madera, pero de igual peso, el roce no varía.

c) El roce depende de la naturaleza de los cuerpos que rozan.

Se reemplaza el trozo de madera por otro de hierro o de plomo que tengan igual peso y se mide el roce en cada caso.

Coeficiente de roce resbalante, es el roce producido por la fuerza normal de 1 dina. Llamemos ∞ , al coeficiente de roce entre dos cuerpos; N a la fuerza normal que actúa entre ellos y R al roce que se produce y resulta que:

para la fuerza de 1 dina el roce es α
,, ,, ,, N dinas el roce será N · α

es decir que $R = \alpha \cdot N$

roce = coeficiente × fuerza

Si en el método de determinación del roce de Coulomb 11amamos:

R = roce m = platillo y pesas N = fuerza $\alpha = coeficiente$

M = masa del cuerpo g = aceleración de gravedad

de acuerdo a lo que sabemos podemos establecer:

$$\left. egin{array}{ll} N & = & Mg \\ R & = & mg \end{array} \right\}$$
 respectiva masa por su aceleración.

de donde:

$$\alpha = \frac{R}{N}$$
 y reemplazando $\alpha = \frac{mg}{Mg} = \frac{m}{M}$

lo que vale decir que el coeficiente de roce resbalante se determina dividiendo el peso que produce el movimiento, por el del cuerpo que resbala.

COEFICIENTES DE ROCE

	mov. inic.	en mov.
Ghisa con ghisa	0.16	0.15
Hierro con ghisa seco	0.19	0.18
Bronce con hierro	0.14	0.16
Bronce con bronce	0.24	0.20
Bronce con madera	0.62	0.42
Madera con madera	0.62	0.48

Para el roce rodante, Coulomb estableció las siguientes leyes:

a) El roce rodante es proporcional a la fuerza normal con que actúa el cuerpo sobre la base.

Sobre dos listones a modo de riel se hace rodar un cilindro, también de

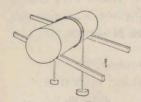


FIG. 98. - Roce rodante

madera, en el que se ha colocado, a modo de polea, un hilo en cuyo extremo hay un platillo en el que se ponen pesas hasta vencer el roce (fig. 98).

Se anota el peso y se repite la experiencia duplicando o triplicando el peso del cilindro.

b) El roce rodante es inversamente proporcional al radio del cilindro.

Se repite la experiencia anterior substituyendo el cilindro de madera por otros, también de madera,

de igual peso, pero de radio doble o triple que el primero.

Los valores que se obtengan serán justamente la mitad o la tercera parte del primero.

Llámase coeficiente de roce rodante al valor numérico de roce producido por una rueda de 1 cm. de radio que acciona sobre su base con la fuerza normal de 1 dina.

Sea:

N = la fuerza normal, r = radio, $\beta = coeficiente$ de roce, R = roce.

Establecemos que para:

fuerza normal 1 dina y radio 1 cm. el roce =
$$\beta$$

,, ,, N ,, ., ., ., ... = N. β
... ,, N ,, r ,, 2 = $\frac{N \cdot \beta}{N \cdot \beta}$

De donde el roce R es:

$$R = \frac{N \cdot \beta}{r}$$

Vale decir:

c) El roce rodante es igual al producto de la fuerza que actúa, por el coeficiente y dividido por el radio.

El roce rodante es enormemente menor que el resbalante, causa por la cual se procura siempre disminuir este último o substituirlo por el rodante.

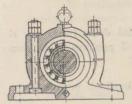


FIG. 99. — Cojinete de bolillas.

- Cada día se perfecciona más el rendimiento de las máquinas disminuyendo el roce con el uso de cojinetes de bolillas (fig. 99). Además se cuida facilitar aún el deslizamiento de una superficie sobre otra usando lubricantes apropiados.
- —A la inversa, se aprovecha el roce como efecto contrario al movimiento, en los frenos de trenes o automóviles.

— En los trenes se aumenta la fuerza de arrastre de las locomotoras, aumentado el roce de las mismas sobre los rieles, construyéndolas muy pesadas.

- Los trenes de carga (más pesados) tienen ruedas más chicas que los de pasajeros, condición que si bien es perjudicial a la marcha es indispensable para hacer rendir el máximo a los frenos. (Enunciado c).
- Los changadores aprovechan del roce para descargar fardos en plano inclinado y cuando el bulto es rodante le envuelven una soga que van soltando pausadamente.
- Los campesinos dan una vuelta al lazo, al tronco de un árbol, para sujetar un animal; en forma semejante un peón asegura la soga de la polea a una estaca para dejarla correr a voluntad en el momento necesario.

RESUMEN

 Se considera, masa de un cuerpo a la resistencia que éste ofrece a ser puesto en movimiento. La medida del grado de inercia está dada por la masa.

El segundo principio de Newton dice que la aceleración es directamente proporcional a la fuerza e inversamente proporcional a la masa.

- 2. Con la máquina de Atwood se comprueba:
 - 1º Cuando una fuerza deja de actuar instantáneamente sobre una masa, ésta continúa su movimiento uniforme.
 - 2º El movimiento es uniformemente acelerado cuando sobre la masa actúa una fuerza constante.
 - 3º La aceleración es directamente proporcional a la fuerza aplicada.
- 3. La relación de las masas de dos cuerpos es exactamente igual a la de sus pesos. Medida de la masa = medida del peso.
- 4. Se denomina impulso al producto de la intensidad de la fuerza por el tiempo transcurrido, y cantidad de movimiento, al producto de la masa por la velocidad.
- 5. En el sistema c.g.s. y técnico son unidades de: longitud, metro; fuerza, kilogramo; tiempo, segundo; velocidad m/seg².

En el sistema teórico o absoluto, la unidad de fuerza es derivada. Es igual al producto de la unidad de masa por la unidad de aceleración. Se llama dina y es igual 1/981 grs. o sea que 1 gr. = 981 dinas.

6. Densidad es la relación entre masa y volumen. Peso específico es la relación entre el peso y el volumen. Como se toma como unidad de masa a la

unidad de peso, el número que expresa ambas es el mismo o sea, ambas designaciones son virtualmente equivalentes.

- 7. Considérase trabajo de una fuerza, al producto de la intensidad de la fuerza por el espacio recorrido. T = F · e.
- La unidad de trabajo es el kilográmetro (kmg.) y es igual a kg x m.
 La unidad teórica de trabajo es el ergio o erg, siendo igual a dinas por centímetros.

1 kmg = 98.100.000 ergios

- En toda máquina debe cumplirse la condición Tm = Tr (trabajo motor = trabajo resistente) y este principio constituye la llave de oro de la mecánica.
- 10. Un cuerpo está dotado de energía cuando es capaz de cumplir un trabajo.

 La energía puede ser potencial o en reposo y cinétical que corresponde a los cuerpos en movimiento. La transformación en una o en otra se conoce como juego de la energía.
- 11. Fuerza viva es el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad.

 Potencia es la relación existente entre trabajo y tiempo.
- 12. El roce es una resistencia pasiva. El roce puede ser resbalante o rodante.
 El roce es:
 - a) proporcional a la fuerza ejercida por el cuerpo sobre la base de resbalamiento;
 - b) indiferente del tamaño de las superficies en contacto;
 - c) dependiente de la naturaleza de los cuerpos que rozan.

El coeficiente de roce resbalante se determina dividiendo el peso que produce el movimiento, por el del cuerpo que resbale.

PROBLEMAS

Una masa libre de 50 grs. adquiere una aceleración de 25 cm/seg². ¿Cuál será la fuerza que actúa sobre dicha masa?

Para dar a 1 gr. la aceleración de 1 cm/seg2, necesitamos 1 dina.

Fórmula: F = m · a

—Una fuerza de 28.000 dinas imprime a un cuerpo una aceleración a de 300 cm/seg². ¿Cuál será la masa del cuerpo?

Fórmula:
$$m = \frac{F}{a}$$
 (en gr. masa)

—Una fuerza de 34.000 dinas actúa sobre un cuerpo cuya masa es de 2.054 gramos. ¿Cuál es la aceleración que adquiere?

Fó:mula:
$$a = \frac{F}{m}$$
 (cm/seg².)

- -¿Cuántas unidades de masa contiene un cuerpo que pesa 82 kilos?
- —¿Cuál será el peso (p) de la masa adicional en la máquina de Atwood, cuyas pesas iguales tienen 99 grs. y la aceleración adquirida alcanza a 32 cm?
- —¿Cuál será la aceleración de la gravedad (g) en una máquina de Atwood cuyas pesas iguales valen 101 grs. cada una (M), la adicional (m) 38, y la aceleración adquirida (a) 18 cm?
- —En una máquina de Atwood cuyas pesas iguales valen 80 grs., la adicional 3 grs. se alcanza una aceleración de 22 cm. ¿Cuánto tendrán que valer las pesas para adquirir la misma aceleración con una adicional de 4 grs?
- —¿Qué cantidad de movimiento adquiere un cuerpo de 8 grs. de peso al cabo de 12 segundos?
- —¿Cuál será el impulso de un proyectil de 12 grs. que con una velocidad de 800 m. tarda 3 ségundos en caer?

CAPITULO V

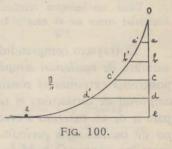
A) PENDULO

Juego de la energía. — Leyes. — Tiempo de oscilación; fórmula. Utilización para determinar la aceleración de la gravedad.

Hemos estudiado a los cuerpos en caída libre en el espacio y sobre un plano inclinado y ha quedado demostrado, que sufren una aceleración, que adquiere el mismo valor para alturas iguales.

En el caso de la figura 100 el valor de aceleración adquirida sería, para cada plano, exactamente igual si el cuerpo siguiera la dirección o e, ó o e'.

Imaginemos ahora al cuerpo suspendido por un hilo y que siguiera la dirección o, a', b', c', d', e' y tendríamos un péndulo. Cualquier cuerpo, que pueda girar alrededor de un eje horizontal, es un péndulo.



Si suponemos al hilo como inmaterial, sin masa y sin peso, nos referimos a un péndulo ideal simple o matemático, pero como esto no es posible, en la práctica se estudia el péndulo físico o compuesto.

Juego de la energía. — Sea el péndulo O M, en el cual O es el punto fijo y M el peso.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 8.

La posición de equilibrio en reposo (fig. 101) es O M, pero separado de ella hasta un punto A (2) actúa la fuerza de gravedad G que podemos considerar en sus componentes AD de la misma dirección del hilo y que queda anulada por éste, y otra fuerza A T tangente a la curva A M y que hace caer el péndulo buscando llegar al punto M (3). En este movimiento de caída, en virtud del impulso

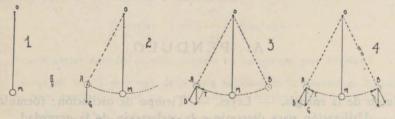


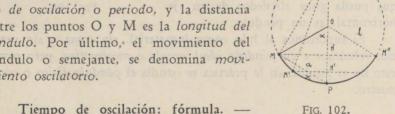
FIG. 101. - Movimiento del péndulo.

adquirido por aceleración de la gravedad, el péndulo no se detiene al llegar a M sino que continúa su marcha, pero esta vez en aceleración decreciente, hasta que llegado a B, se repite el caso anterior v cae de nuevo (4).

Estos movimientos continuarían indefinidamente si no existieran fuerzas contrarias como ser el roce y la resistencia del aire.

El trayecto comprendido desde A hasta B, o viceversa, recibe el nombre de oscilación simple; el ángulo AOB que señala las dos

posiciones extremas es considerado como la amplitud de oscilación; el tiempo empleado para ir de un extremo a otro se llama tiempo de oscilación o período, y la distancia entre los puntos O v M es la longitud del péndulo. Por último, el movimiento del péndulo o semejante, se denomina movimiento oscilatorio.



Antes de establecer la fórmula del tiempo de oscilación estableceremos la del péndulo. Sea M la masa de un péndulo que cae a M' (fig. 102). De acuerdo a lo que sabemos, la velocidad adquirida será la misma que si cayera de N a N'. Siendo la fórmula de velocidad:

$$V = \sqrt{21g}$$

lo que es igual:

$$V = \sqrt{2g \times NN'}$$
 (1)

Suponiendo el ángulo MO'P muy pequeño, es posible considerar la cuerda MP (a) por el arco y en igual forma M'P (x).

Aparecen dos triángulos MO'P y M'O'P que por ser rectángulos podemos establecer:

$$(M P2 = O'P \times NP \quad y \quad M'P2 = O'P \times N'P)$$

de donde:
$$NP = \frac{MP^2}{O'P}$$
 y $N'P = \frac{M'P^2}{O'P}$

y haciendo
$$MP = a$$
 y $M'P = x$, tenemos:

$$NP = \frac{a^2}{21}$$
 y $N'P = \frac{x^2}{21}$

Pero N N' = N P - N' P o sea =
$$\frac{a^2 - x^2}{21}$$

Substituyendo el valor N N' en la fórmula (1) resulta:

$$V = \sqrt{2 g \frac{a^2 - x^2}{21}}$$
 lo que es igual $V = \sqrt{\frac{g}{1} (a^2 - x^2)}$.

Si x = 0, o sea que el péndulo se encuentre en el punto más bajo, tenemos:

$$V = \sqrt{\frac{g}{1}} a^2$$
 de donde $V = a \sqrt{\frac{g}{1}}$ (2)

que representa la máxima velocidad que puede alcanzar el péndulo.

Fórmula de tiempo. — Sobre la base de la fórmula de velocidad del péndulo, vamos ahora a determinar la correspondiente al tiempo de oscilación.

Imaginemos al péndulo, en un punto P (fig. 103), y que se mueva sobre la circunferencia con movimiento uniforme, e imagi-

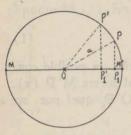


FIG. 103.

nemos también la proyección P₁ moviéndose sobre la recta M M'. Es indudable que si lo consideramos en otra posición P' obtendremos otra proyección P'₁ y en ambos casos la velocidad adquirida por los puntos P₁ y P'₁, sería exactamente igual que los P y P'; en otras palabras, el tiempo empleado por el punto P en dar una vuelta completa sería el mismo que el que emplearía en ir de M' a M y regresar al mis-

mo, vale decir, que la proyección del péndulo sobre el diámetro M M' tendría, en cada punto, la misma velocidad que el péndulo sobre el arco descrito.

Ahora bien, el recorrido M' M M' equivale a una vuelta completa, cuyo tiempo, siendo el movimiento uniforme, está dado por

la fórmula
$$T = \frac{e}{v}$$
 o sea $T = \frac{2 \pi R}{v}$

Reemplazando v. por su valor (2) resulta:
$$T = \frac{2\pi R}{a\sqrt{\frac{g}{1}}}$$

hemos hecho en pág. 103 R = a T =
$$\frac{2 \pi a}{a \sqrt{\frac{g}{1}}}$$
 o sea: T = $\frac{2 \pi}{\sqrt{\frac{g}{1}}}$ lo que

es igual a
$$T = \frac{2\pi}{\frac{\sqrt{g}}{\sqrt{1}}}$$
 de donde: $T = \frac{2\pi\sqrt{1}}{\sqrt{g}}$ por últi-

mo : $T = 2 \pi \sqrt{\frac{1}{g}}$, siendo ésta la fórmula de una oscilación

doble. Para una oscilación simple la fórmula del tiempo de oscilación será:

$$t=\pi\,\sqrt{\frac{1}{g}}$$

Leyes. — La leyes del péndulo son cuatro: 1º Ley de amplitud o ley de isocronismo. 2º Ley de substancia. 3º Ley de longitud. 4º Ley de intensidad de la gravedad.

1º LEY DE AMPLITUD O DE ISOCRONISMO.

Las pequeñas oscilaciones del péndulo simple son isócromas; como esto sucede en oscilaciones cuya amplitud no pase de 5 ó 6 grados, se establece que:

Para pequeñas oscilaciones, la duración de la oscilación es independiente de la amplitud.

Se hace oscilar un péndulo y se espera que la amplitud disminuya hasta alcanzar 3 ó 4 grados de ángulo de oscilación. Se cuentan 20 oscilaciones tomando el tiempo y se repite la experiencia 2 ó 3 veces más. Se comprobará que el tiempo empleado es siempre igual.

2º LEY DE SUBSTANCIA.

El tiempo de oscilación es independiente de la substancia que forma el péndulo.

Cualquiera de los péndulos en el bastidor (fig. 104) tienen la misma longitud pero son de diferentes substancias: plomo, bronce, madera dura, madera blanda. Se repite sepa-

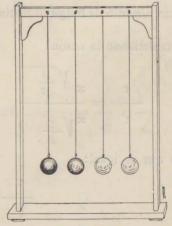


FIG. 104. — Péndulos de diversa substancia

radamente, uno por uno, la experiencia anterior. Se comprueba lo mismo que en el caso ya mencionado.

3º LEY DE LONGITUD.

El tiempo de oscilación es proporcional a la raíz cuadrada de la longitud del péndulo.

Con auxilio de una regla plana, se levantan los cuatro péndulos a una misma altura y se sueltan en el mismo instante. Se comprueba que todos oscilan al mismo tiempo y por lo tanto el número de pequeñas oscilaciones es igual.

Se recoge, con auxilio de la llave del bastidor, uno de los péndulos de tal modo que su longitud sea la cuarta parte de otro. Se hace oscilar y se cuentan 100 oscilaciones tomando el tiempo. Se hace oscilar el péndulo cuya longitud es cuatro veces mayor y se toma igualmente el tiempo. Se comprueba que el tiempo empleado por el péndulo cuya longitud es 4 veces la del otro, es doble.

Hemos establecido anteriormente (pág. 117) que el tiempo de una oscilación simple era:

$$t = \pi \sqrt{\frac{1}{g}}$$

otro péndulo de longitud distinta será $t' = \pi$ $\sqrt{\frac{1'}{g}}$

estableciendo la razón:

$$\frac{t}{t'} = \frac{\pi \sqrt{\frac{1}{g}}}{\pi \sqrt{\frac{1'}{g}}} \qquad a sea: \qquad \frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{\frac{1}{g}}}{\sqrt{\frac{1'}{g}}}$$

lo que es igual:

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{1'}}$$

que representa el enunciado de la ley de longitud

4° LEY DE INTENSIDAD DE LA GRAVEDAD.

El tiempo de oscilación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la intensidad de la gravedad.

Sabemos que la intensidad de la gravedad varía para distintos lugares de la Tierra (pág. 95) consecuencia de lo cual, las aceleraciones por la gravedad serán distintas.

Trabajando con un mismo péndulo de longitud l, supongamos que colocado en lugares distintos de la Tierra, sean g y g' las intensidades de la gravedad.

Tenemos que los tiempos serán:

$$t=\pi \sqrt[]{\frac{1}{g}} \qquad y \qquad t'=\pi \sqrt[]{\frac{1}{g'}}$$

que planteada la razón tenemos:

$$\frac{\mathsf{t}}{\mathsf{t'}} = \frac{\pi \sqrt{\frac{1}{\mathsf{g}}}}{\pi \sqrt{\frac{1}{\mathsf{g'}}}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{\mathsf{g}}}}{\sqrt{\frac{1}{\mathsf{g'}}}}$$

elevando al cuadrado da:

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{\frac{1}{g}}{\frac{1}{g'}} \text{ lo que es igual } \frac{t^2}{t'^2} = \frac{1}{g} : \frac{1}{g'}$$

que resolviendo:

$$\frac{t^2}{t'^2} = \frac{g' 1}{g 1} \text{ es decir } \frac{t^2}{t'^2} = \frac{g'}{g}$$

de donde, volviendo a extraer la raíz cuadrada:

$$\frac{t}{t'} = \frac{\sqrt{g'}}{\sqrt{g}}$$

vale decir, los tiempos son inversamente proporcionales a las raíces cuadradas de la intensidad de la gravedad, que representa el enunciado de la cuarta ley.

Determinación de la aceleración de la gravedad. — El péndulo permite determinar la intensidad de la gravedad en cualquier punto de la Tierra. Es suficiente conocer con exactitud su longitud l (desde el punto de suspensión hasta el centro de la esfera) y el tiempo de oscilación t. En la práctica, no se mide una sola oscilación, sino muchas y luego se divide el tiempo transcurrido por el número de ellas.

Conforme a la fórmula que conocemos:

$$t = \pi \sqrt{\frac{1}{g}}$$

o sea:

$$t^2=\pi^2-rac{1}{g}$$
 o también $t^2\,g=\pi^2\,1$

despejando g, resulta:

$$g = \frac{\pi^2 1}{t^2}$$

Determinados por la experiencia los valores numéricos de l y t, substituyéndolos en la fórmula, se encuentra el valor de la intensidad de la gravedad g.

Esta determinación se ha efectuado en muchos lugares de la Tierra y se han obtenido diversos valores, según la latitud:

latitud
geográfica 0 15 30 45 60 75 90
V a l o r
de g... 978.01 978.35 979.30 980.60 981.89 982.84 983.19
Ecuador Polo

Empleos del péndulo. — El péndulo es un aparato importantísimo en Física. Se emplea en:

- a) medir el tiempo;
- b) determinar la forma de la Tierra;
- c) comprobar la rotación de la Tierra.
- a) MEDIR EL TIEMPO. Se atribuye a *Hugghens* el empleo del péndulo, por su isocronismo, a la medida del tiempo. También se cree haya sido Galileo en 1649.

El mecanismo de relojería y la cuerda no tiene otro objeto que anular las fuerzas pasivas que retardarían el movimiento.

b) DETERMINACIÓN DE LA FORMA DE LA TIERRA. — El primero en observar que la duración de la oscilación del péndulo variaba en distintos lugares de la Tierra, fué Richer, quien comprobó eso en Cayena, con referencia a París.

Si la Tierra fuera esférica, la intensidad de la gravedad debiera ser exactamente igual en cualquier lugar, pues su distancia al centro sería la misma.

Ahora bien; siendo que la aceleración por la gravedad es mayor en los Polos y menor en el Ecuador, los radios, o mejor, distancias al centro estarán en razón inversa o sea, serán menores en los polos y mayores en el Ecuador. De aquí, la forma de la Tierra.

c) COMPROBAR LA ROTACIÓN. — La demostración se debe al físico francés Foucault. En 1851 suspendió de la cúpula del Panteón de París un péndulo cuya bola pesaba 28 km. y el hilo de acero del que suspendía, tenía 50 metros de largo.

El movimiento del péndulo se registraba por un estilete colocado en la parte inferior de la bola y que iba destruyendo montículos de arena colocados en forma circular con lo que quedaba demostrado la rotación de la Tierra, pues de lo contrario el péndulo hubiera oscilado siempre en un mismo plano, marcando su paso sobre un solo montículo.

B) MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME

Velocidad lineal y angular. — Aceleración centrípeta. — Fuerza centrífuga.

Cuando un cuerpo se mueve alrededor de un punto considerado como centro describe una circunferencia y decimos que está animado de movimiento circular.

Si en tiempos iguales, recorre arcos iguales, lo consideramos como movimiento circular uniforme.

El pescador con aparejo imprime a éste un movimiento circular y para una misma masa será tanto mayor la velocidad cuanto mayor sea la distancia que se desea alcanzar. El móvil se encuentra sujeto a un centro, o sea, el hilo reacciona en forma contraria y anula la fuerza comunicada por la aceleración. No existiendo el hilo, el cuerpo se encuentra animado de un movimiento rectilíneo que corresponderá, en dirección, a la tangente del punto en el instante considerado.

Se comprende claramente, según esto, que en el movimiento circular el móvil se encuentra sujeto, en cada instante, a la acción de dos fuerzas: una dirigida según la tangente a la circunferencia descripta y otra cuya dirección es hacia el centro.

Si el movimiento circular es uniforme, ambas fuerzas deberán ser constantes para cada espacio de tiempo.

Velocidad lineal. — La longitud del arco recorrido en la unidad de tiempo, numéricamente considerada, recibe el nombre de velocidad lineal (fig. 105) o circunferencial. En otras palabras, en la velocidad lineal consideramos un punto que se desplaza describiendo un arco, o sea, en constante distancia del centro de la circunferencia que describe:



FIG. 105. — Velocidad circular. El punto A se desplaza hacia B y su velocidad aumenta al aumentar el radio o sea su distancia del centro.



FIG. 106. — Velocidad angular. Considerados los puntos 0, 1, 2, 3, 4, de un radio, al desplazarse la recta, describe un plano.

En el movimiento uniforme: velocidad =
$$\frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$$

En el movimiento circular uniforme: velocidad = $\frac{\text{arco}}{\text{tiempo}}$

Llamando T al tiempo, R radio y el valor 2 π de la circunferencia, tenemos que la fórmula de velocidad será:

$$V_1 = \frac{2 \pi R}{T} \tag{1}$$

De acuerdo a esta fórmula se destaca que la velocidad depende del radio, vale decir, de la distancia al eje de rotación. En un mismo cuerpo, la velocidad sería distinta para los diversos puntos materiales; los puntos de la periferia estarán animados de mayor velocidad que los cercanos al eje.

Velocidad angular. — La circunstancia arriba mencionada ha hecho que se establezca una velocidad angular, que es igual para todos los puntos del cuerpo móvil.

El radio, que une el cuerpo móvil al centro, describe simultáneamente ángulos iguales en tiempos iguales (fig. 106)

Designando por V_a el ángulo en recorrido (velocidad angular) y por α el ángulo total recorrido en el tiempo T, se tiene:

$$lpha = V_a \cdot T$$
 de donde $V_a = \frac{\alpha}{T}$ (2)

La Va es un ángulo, pero no se le mide en grados sino en radianes (1).

Un radian equivale a un ángulo que corresponde a un arco igual al radio.

Vale decir que la velocidad angular es la medida del ángulo total que describe el radio correspondiente al punto móvil, en la unidad de tiempo. Substituyendo en la fórmula (1) el valor de α suponiendo un ángulo de una vuelta de circunferencia, o sea 2π radianes tendremos:

$$V_a = \frac{2 \pi}{T}$$
 en otra forma $w = \frac{2 \pi}{T}$

que es la velocidad angular dada en radianes por segundo.

De acuerdo a este modo de medir vamos a establecer la relación entre la velocidad lineal (V_1) y la velocidad angular (V_a) . En la figura 106 hagamos $A = \operatorname{arco}$: $R = \operatorname{radio}$; $\alpha = \operatorname{ángulo}$.

Según la fórmula (1) pág. 123, la velocidad lineal estaba dada

por la fórmula $V_1 = \frac{2 \pi R}{T}$ de donde 2 π $R = V_1.T$. Como

2 π R es igual al arco, lo llamaremos A o sea:

$$\operatorname{arco} A = V_1 \cdot T$$
 (2)

ángulo
$$\alpha = V_a$$
. T (3)

Así $\frac{\pi}{4}$ radianes representa un ángulo de 45°.

⁽¹⁾ Un ángulo de 360° corresponde a una circunferencia ... = 2π radianes ...

$$\frac{\alpha}{2\pi} = \frac{A}{2\pi R}$$
 eliminando 2π resulta: $\alpha = \frac{A}{R}$

de donde A' A = R. α subst. valor de A (2) y α (3).

$$V_1$$
 , $T = R$, V_a , T y simplificando: $V_1 = R$, V_a

Aceleración centrípeta. — En cualquier movimiento de rotación, como el de una piedra amarrada en el extremo de una cuerda, se observa que la resistencia de ésta se limita a desviar al cuerpo de la línea recta pero sin moverlo en la dirección en que actúa.

En el ejemplo citado, deben ser consideradas dos fuerzas que se anulan; una que tiende a alejar el móvil del punto fijo o centro, llamada fuerza centrífuga y otra que, teniendo dirección contraria la anula y se llama fuerza centrípeta.

En el movimiento ambas son coexistentes, vale decir, que no existe una sin la presencia de la otra, de esto, que si se anula la fuerza centrípeta (cortar o largar el hilo) la centrífuga cesa al instante y el móvil, obedeciendo a la ve-

locidad adquirida, sigue por inercia en di-

rección de la tangente.

Para expresar la fuerza centrípeta o su igual la fuerza centrífuga, es necesario conocer la aceleración centrípeta que comunicaría al cuerpo la fuerza de igual clase.
si lograra moverlo, dado que toda fuerza
es igual a la masa por la aceleración.

Supongamos que A C (fig. 107) sea el camino recorrido por el cuerpo, en la di-

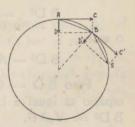


FIG. 107.

rección de una fuerza, en un tiempo muy pequeño t animado de una velocidad $V_{\rm e}$, según la fórmula de espacio tenemos:

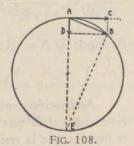
$$A\,C\,=\,V_1\,\,,\,\,t\qquad (e\,=\,v\,\,,\,t)$$

En el mismo tiempo, actúa la fuerza centrípeta, que haría recorrer al móvil la distancia AD en dirección al centro. Si la

fuerza centrípeta dejara de actuar, el móvil seguiría la dirección de

la tangente B C' y recorrería en igual tiempo t el camino B C'. Siendo que la fuerza centrípeta le hace recorrer, en el mismo espacio de tiempo, el camino B D' en dirección al centro, el cuerpo sigue la dirección del arco B S.

Considerando que el tiempo t sea muy pequeño, resultarán que los espacios A C y A D también lo serán, de donde podemos considerar constante la fuerza centrípeta. De



acuerdo a la fórmula que conocemos en el movimiento uniformemente acelerado, tenemos:

$$AD = \frac{a_{c} \cdot t^{2}}{2}$$

Para hallar el valor de a_e llamada aceleración centrípeta, consideremos el triángulo rectángulo ABE (fig. 108) en que, según Tuclides tenemos:

$$BD^2 = AD.DE$$

o sea:

$$BD^2 = AD (AE - AD)$$
 (1)

Pero B D = C A, o sea espacio recorrido y sabemos que el espacio es igual a la velocidad por el tiempo, de modo que: B $D^2 = V_c$. 2 t^2 .

A E es igual a dos radios (2 r); y A D que representa la velocidad, será igual a:

$$AD = \frac{a_c \cdot t^2}{2}$$

Sustituyendo valores en la fórmula (1) tenemos:

$$V_{e,2} \cdot t^2 = \frac{a_e \cdot t^2}{2} (2 r - \frac{a_e t^2}{2});$$
 de donde:

$$V_{e^2} = \frac{a_c}{2} (2 r - \frac{a_c \cdot t^2}{2})$$

Para tiempos muy pequeños, la diagonal AB del paralelógramo, coincide con el arco, de tal modo, despreciando el valor a_c . t^2 por ser muy pequeño, resulta:

$$V_{c^2} = \frac{a_e}{2} \quad .2 \text{ r}$$

de donde:

 $a_{\rm e}=\frac{V_{\rm e}^2}{r}$ lo que nos dice que, la aceleración centrípeta es igual al cuadrado de la velocidad circunferencial dividida por el radio.

De aquí resulta fácil deducir la fuerza centrípeta si recordamos que F = m . a . Substituyendo el valor de a resulta:

F centrípeta = m . $\frac{V_e^2}{r}$ fórmula que se expresa diciendo:

La fuerza centrípeta es igual al producto de la masa por el cuadrado de la velocidad circunferencial, dividido por el radio.

Reemplazando la velocidad lineal o circunferencial por la angular o sea haciendo $V_{\rm c}=r$. $V_{\rm a}$ resulta:

$$F_c = \frac{m \cdot r^2 \cdot V_a^2}{r}$$

de donde:

 $F_e = m \cdot r \cdot V_a^2$ lo que se expresa diciendo:

La fuerza centrípeta es igual al producto de la masa por el radio y por el cuadrado de la velocidad angular.

Fuerza centrífuga. — Como su nombre lo indica (centrifugere), es la tendencia de todo cuerpo animado de movimiento circular, a "fugar", a alejarse del centro. Hemos dicho anteriormente, que para que exista movimiento circular, debe hacerse presente otra fuerza de igual intensidad y contraria que denominamos fuerza centrípeta.

Para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga la "ecuyere" del circo inclina fuertemente el cuerpo cuando va parada en el lomo del caballo; en los rieles del ferrocarril, son de más alto nivel los exteriores en las curvas y tanto más cuanto más pronunciada sea ésta; en las pistas de carrera, autodromos, velódromos, son fuertemente inclinados los extremos en que se da vuelta; el ciclista que da vuelta una esquina, inclina instintivamente su cuerpo en conjunto con su máquina.

La fuerza centrífuga puede alcanzar valores considerables al aumentar la velocidad.

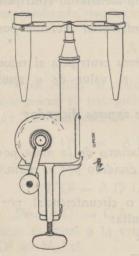


FIG. 109. — Centrífuga de laboratorio.

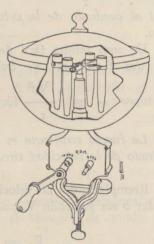


FIG. 110. — Centrifuga a mano.

En esto se funda el hecho de que el agua no vuelque cuando se encuentra en un vaso que se hace girar rápidamente estando amarrado a un hilo.

El mismo fundamento es el de las vagonetas que hacen el "rulo" en los parques de diversiones.

Entre las aplicaciones de la fuerza centrífuga, citaremos como principales: el regulador de Watt; las máquinas secadoras; las bombas centrífugas y las centrifugadoras de la industria y los laboratorios.

C) MOVIMIENTO DE LOS PLANETAS

Leyes de Kepler. — Ley de la gravitación de Newton.

Como habitantes de la Tierra, decimos que somos habitantes de un planeta y estudiamos una serie de fenómenos físicos fundados en el movimiento del globo terrestre alrededor del Sol.

Ptolomeo (150 A. C.) decía que la Tierra era el centro del Universo y que a su alrededor giraba la Luna, el Sol y los otros planetas describiendo trayectorias complicadas que daban origen a los distintos fenómenos observados. Estas ideas predominaron hasta mediados del siglo XVI.

Copérnico, en el año 1543, publicó su famosa obra "De revolucionibus" en la que fundaba una teoría totalmente opuesta a sus antecesores.

Llegaba Copérnico a las siguientes conclusiones:

- 1º El movimiento del Sol, la Luna y otros cuerpos celestes alrededor de la Tierra en sentido de Este a Oeste es sólo aparente y se debe a la rotación de la Tierra, alrededor de su eje, en sentido de Oeste a Este.
- 2º Es también aparente el movimiento anual del Sol en la eclíptica, y se debe al movimiento de traslación de la Tierra con respecto al Sol.
- 3º El Sol es centro de nuestro sistema planetario y todos los planetas, lo mismo que la Tierra, se mueven a su alrededor.

Las ideas de Copérnico encontraron grandes resistencias y Galileo Galilei, célebre astrónomo italiano que se atrevió a soste-

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 9.

ner y enseñar públicamente la teoría de Copérnico, fué encarcelado como hereje a los 70 años de edad.

Kepler y Newton fueron decididos partidarios de las teorías de Copérnico.

Leyes de Kepler. — El astrónomo alemán Juan Kepler (1571 - 1630), uno de los creadores de la astronomía moderna, enunció las leyes que llevan su nombre pero no llegó a explicar las causas en que las fundaba. Son ellas:

- 1º La trayectoria de todo planeta, en su movimiento de traslación, es una elipse, ocupando el Sol uno de sus focos.
- 2º El radio vector que va del centro del Sol al centro de un planeta describe áreas proporcionadas a los tiempos empleados en describirlas.
- 3º El cuadrado de los tiempos periódicos, o sea de la duración de una revolución, guardan entre sí, para dos planetas cualesquiera, igual proporción que los cubos de los ejes mayores de sus respectivas órbitas.

De estas tres leyes, puramente descriptivas cinemáticas, Newton se sirvió para explicar la razón dinámica, fundando en la atracción, su ley de gravitación universal.

Ley de gravitación de Newton. — Estableció Newton, que cuando un cuerpo cae en virtud de la atracción que la Tierra ejerce sobre el mismo, no es ese un simple fenómeno terrestre, sino uno de los tantos casos de ley universal de atracción de las masas; ley que se conoce como ley de la gravitación universal o ley de Newton, que dice:

Todos los cuerpos se atraen con fuerzas directamente proporcionales a sus masas e inversamente proporcionales a los cuadrados de las distancias respectivas. Esta ley, se expresa algebraicamente por la fórmula:

$$F = k - \frac{m_1 m_2}{r^2}$$
 (dinas)

Si uno de los cuerpos es una piedra de masa m_p que cae sobre la tierra, de masa m_t y considerando que R sea el radio terrestre, la fuerza de atracción de la Tierra sobre la piedra estará dada por la ecuación:

$$F = k \, \frac{m_t \, . \, m_p}{R^2}$$

Asegura Newton que del mismo modo que la Tierra atrae la piedra, se atraen mutuamente el Sol y los planetas y todos los cuerpos que existen en el Universo.

RESUMEN

- 1. Si suponemos un hilo inmaterial sin masa y sin peso, nos referimos a un péndulo ideal, simple o matemático.
 - Debemos considerar: longitud del péndulo, oscilación simple, amplitud de oscilación, y tiempo de oscilación o período.

El movimiento del péndulo es un movimiento oscilatorio.

- 2. Las leyes del péndulo son:
 - 19 Ley de amplitud o de isocronismo.
 - 2º Ley de substancia.
 - 3º Ley de longitud.
 - 40 Ley de intensidad de la gravedad.
- 3. Cuando un cuerpo se mueve alrededor de un punto considerado como centro, describe una circunferencia y decimos que está animado de movimiento circular. Si en tiempos iguales recorre arcos iguales, lo consideramos como movimiento circular uniforme.
- 4. La longitud de arco recorrido en la unidad de tiempo, numéricamente considerada, recibe el nombre de velocidad lineal o circunferencial.

La velocidad angular es la medida del ángulo total que describe el radio, correspondiente al punto móvil, en la unidad de tiempo.

 Aceleración centrípeta es igual al cuadrado de la velocidad circunferencial dividida por el radio.

La fuerza centrípeta es igual al producto de la masa por cuadrado de la velocidad circunferencial, dividido por el radio;

- o también: igual al producto de la masa por el radio y por el cuadrado de la velocidad angular.
- 6. Fuerza centrífuga es la tendencia de todo cuerpo animado de movimiento circular, a alejarse del centro. La fuerza centripeta es su contraria.

La fuerza centrífuga alcanza valores considerables al aumentar la velocidad. Son múltiples.

PROBLEMAS

- —¿Cuál será la duración de la oscilación de un péndulo matemático de 2 m. de longitud, en Roma, en el Ecuador y en Buenos Aires?
- —Al nivel del mar y 30° de latitud, la longitud del péndulo de segundos es 1=992.29 mm.. ¿Cuál será la longitud 1', a una altura de 15.000 metros? El radio terrestre r=6370 km. (Mahler).
- —Una piedra que pesa 600 gramos se encuentra atada a un hilo de 1,5 m. de largo y gira a razón de 83 revoluciones por minuto. ¿Cuál es su velocidad circunferencial? ¿Qué tensión experimenta el hilo?
- —Un hilo de 0.80 centímetros de largo cuya resistencia es de 48 kilos, sostiene un cuerpo que pesa 1.800 grs. ¿Qué velocidad deberá alcanzar el cuerpo en movimiento circular, para que el hilo se corte?
- —¿Cuál será la aceleración centrífuga de un habitante del Ecuador, sabiendo que a ese lugar $r=6370~\rm km$. y que una rotación demora $86.164~\rm segundos$?
- —Un cuerpo pesa 2 k 800 y se halla atado a un hilo de 1.800 m. ¿Què velocidad hay que imprimir para que produzca una fuerza centrifuga igual a su peso?
- —Un automóvil recorre una pista cuya curva tiene un radio de 68 m. Su trocha es de 1.60 m. y su centro de gravedad se encuentra a 0.80 del suelo. ¿Qué velocidad podrá alcanzar sin peligro de volcar?

CAPITULOS I, II, III, IV, V.

EXPERIENCIAS DE GABINETE

- Nº 1. Fuerzas paralelas. Momento.
- Nº 2. Fuerzas concurrentes. Paralelógramo de las fuerzas.
- Nº 3. Fuerzas aplicadas en diferentes puntos de un cuerpo rígido. Composición de la resultante.
- Nº 4. Palanca de primer género. Rudimento de balanza.
- Nº 5. Palancas de segundo y tercer género.
- Nº 6. Rozamiento. Coeficiente de roce.

And the second of the second o

EXPERIENCIA Nº 1

FUERZAS PARALELAS. — MOMENTO

Material: Dinamómetros (3); madera; platos de balanza, pesas, papel milimetrado, dos balanzas de plato.

Manipulación: 1º Ubique convenientemente en un soporte horizontal dos dinamómetros de Leroy (romana), distante 50 centimetros uno de otro; disponga una vara de madera, aproximada-

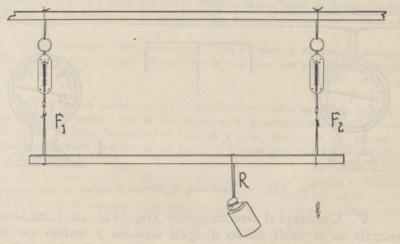


FIG. 111. — Resultante de fuerzas paralelas.

mente, de 60 centímetros de largo por 3 ó 4 de ancho y 1 de espesor, colocándole ataduras y sujete los extremos de los dinamómetros según la figura 111.

2º Suspenda en cada dinamómetro un platillo de balanza y colocando pesas, controle la igualdad de funcionamiento. Si existie-

ran diferencias, anótelas para hacer posteriormente las debidas correcciones.

- 3º Hacia el centro de la regla, que si desea, puede determinarlo midiendo, cuelgue pesas de diversos valores, y anote lo marcado en cada dinamómetro. Haga su esquema, según lo sabe (página 36, fig. 35) y anote la correspondiente intensidad. (Conviene usar papel cuadriculado chico o papel milimetrado).
- 5° Llame F_1 y F_2 a las fuerzas de los dinamómetros y R la resultante. Compruebe si la suma de las fuerzas tiene el valor de la resultante.

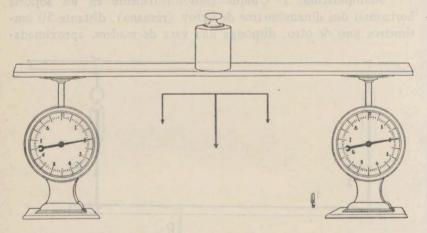


FIG. 112. — Resultante de fuerzas paralelas.

6º Construya el esquema inverso (fig. 112), en el cual la resultante no se anula siendo de igual dirección y sentido que las componentes, y con auxilio de dos balanzas de plato (figura 112), cuidando colocarlas a igual distancia que los dinamómetros entre los centros de platos, repita la operación colocando en orden sucesivo las mismas pesas que en el caso anterior. Observe si obtiene los mismos resultados: la resultante de dos fuerzas paralelas de igual sentido es igual a la suma de ambas.

Momentos. — 7º Con un metro repita la experiencia en am-

bos casos anotando cada vez las distancias entre el punto de ubicación de la pesa y el apoyo con el dinamómetro o el centro del plato de balanza. Observe si a mayor fuerza (indicada por el dinamómetro o la balanza) corresponde menor brazo. Ratifique la proporcionalidad de los momentos multiplicando cada fuerza por el brazo de palanca que le corresponda.

PROBLEMAS

Sobre un puente que mide 30 metros pasa una locomotora que pesa 10.000 kilos. ¿Qué peso soporta cada uno de los patines cuando la locomotora se encuentra a 5, 7 y 12 metros de uno de ellos?

- —¿Cuál será la resultante y cuál el punto de aplicación de dos fuerzas paralelas de 20, 10 y 8 kilos que actúan simultáneamente sobre un mismo cuerpo aplicadas a 1.40 metros de distancia entre las mismas?
- —Dos enfermeros llevan una angarilla con un peso de 82 kilos. La angarilla mide 2 metros. ¿Dónde debe colocarse la carga para que uno de ellos soporte el doble de peso?
- —Tres fuerzas paralelas actúan al mismo tiempo sobre una barra de hierro que mide 2.79 metros. Una de las fuerzas es de dirección contraria a las otras dos y vale 28 kilos, encontrándose colocada a 1,09 metros de un extremo. ¿Cuánto debe valer cada una de las fuerzas contrarias para establecer equilibrio?
- —Sobre una viga de 1.20 metros descansan 9 riendas colocadas a 10 centímetros una de otra a partir del centro. Cada rienda soporta 15 kilos. ¿Cuál será el valor de la resultante y su punto de aplicación? ¿Cuál es el esfuerzo que soportará cada pilar de apoyo de la viga?

EXPERIENCIA Nº 2

FUERZAS CONCURRENTES

Paralelógramo de las fuerzas

Material: Un martillo, tres clavos, una regla graduada de 50 centímetros, hilo de atar, papel blanco, lápiz, 3 dinamómetros de resorte, hilo.

Manipulación: 1º Corte dos pedazos de hilo de unos 60 cen-

tímetros de largo cada uno y dispóngalos según le muestra la figura 113.

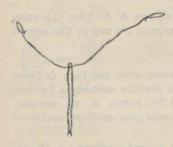


FIG. 113. — Manera de disponer los hilos.

2º Sobre una misma línea, con auxilio del martillo, ponga dos clavos guardando entre ellos una distancia de 50 centímetros, aproximadamente, y fije a ellos un dinamómetro (fig. 114, D₁ D₂) enlazando a cada uno el extremo del hilo simple.

3° Enlace el otro dinamómetro (D₃) al hilo doble y ejerciendo trac-

ción en el mismo, vaya observando la graduación que marca cada uno y anote la cifra correspondiente en columnas que llamará D_1 , D_2 , D_3 .

Cuando alcance, por ejemplo, dos kilos en el dinamómetro 3, suspenda la operación de tracción dejándolo sujeto fijamente.

5º Con el extremo de un lápiz, golpee suavemente cada dinamómetro para que la aguja alcance su verdadera posición de equilibrio y entonces, coloque con cuidado la hoja de papel blanco procurando que el centro coincida con el punto de unión de los hilos, quedando debajo de los mismos (fig. 112).

5° Con un lápiz y el auxilio de la regla marque en el papel las direcciones de las fuerzas, que son los hilos y luego a partir del

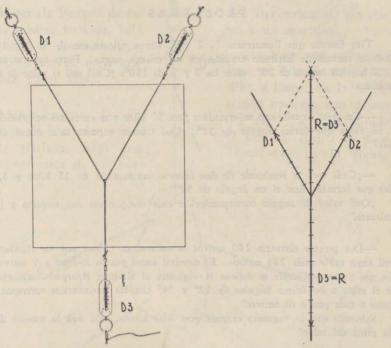


FIG. 114. — Fuerzas concurrentes

FIG. 115. — Gráfico de fuerzas concurrentes.

punto medio, con la regla graduada determine la intensidad de cada una, tomando como base lo indicado por el dinamómetro.

 6° Considere las fuerzas correspondientes a D_1 y D_2 , trace las paralelas a las mismas y en el punto de encuentro, determine trazando, la resultante (fig. 115); si el procedimiento está bien llevado debe corresponder en dirección e intensidad a una fuerza contraria que está representada por el dinamómetro D_3 .

 7° Cambie la ubicación del dinamómetro D_1 , ya sea acercándolo o alejándolo, pero conservando la dirección y repita su experiencia haciendo su gráfico en cada caso. Compare su experiencia con lo explicado y comprobado en clase (pág. 33).

PROBLEMAS

Tres fuerzas que llamaremos 1, 2 y 3, cuyos valores son de 5, 7 y 12 kilos, se encuentran haciendo tracción en un mismo punto. Entre las fuerzas 1 y 2 hay un ángulo de 30°; entre las 2 y 3, de 150°. ¿Cuál será el valor de la resultante?

—Un farol de calle con su armadura pesa 30 kilos y se encuentra suspendído de un cable que forma ángulo de 28°. ¿Qué tensión soporta cada mitad del cable?

—¿Cuál será la resultante de dos fuerzas concurrentes de 25 kilos y 38° kilos que forman entre sí un ángulo de 92°?

¿Qué valor de ángulo corresponderá a cada componente con respecto a la resultante?

—Dos puntos distantes 260 metros se encuentran unidos por un alambrecarril cuyo cable mide 284 metros. El desnivel entre puntas alcanza a 9 metros ¿En qué punto del cable se detiene la vagoneta al alcanzar el reposo, sabiendo que el cable tenso forma ángulos de 12° y 24° con las horizontales correspondientes a cada punto de amarre?

Sabiendo que la vagoneta cargada pesa 800 kilos, ¿cuál será la tensión de cada rama del cable?

EXPERIENCIA Nº 3

FUERZAS APLICADAS EN DIFERENTES PUNTOS DE UN CUERPO RIGIDO

Composición de la resultante

Material: Pedazo de lata o madera terciada, hilo de atar, 6 dinamómetros, martillo, clavos, regla graduada, papel, lápiz.

Manipulación: 1º En pedazo de lata, zinc o madera terciada, haga seis agujeros cerca de los bordes, sirviéndose de un clavo y un martillo.

2º Pase por cada orificio un hilo de atar, anúdelo y luego, en la extremidad opuesta, que dejará
del largo que guste, anude
el hilo en forma de ojal
(igual que en la figura
113).

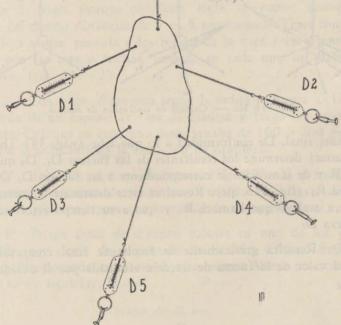


FIG. 116

- 3º Con clavos, colocados sobre la mesa o sobre una tabla, asegure cinco dinamómetros que llamará D₁, D₂, D₃, D₄, D₅ previamente enganchados a los hilos en el orden que le muestra la figura 116, procurando dar a cada uno una tensión muy suave.
- 4º Enganche el dinamómetro D₆ y haga tracción del mismo hasta hacerlo marcar 4 ó 5 kilos. En ese instante asegúrelo sobre la mesa.
- 5º Con una hoja de papel, colocada debajo de los hilos, marque con un lápiz la dirección de las fuerzas, los puntos de aplicación, y anote los valores indicados para cada una
- 6º Con una regla graduada determine gráficamente las intensidades anotadas y de inmediato proceda a la resolución de la

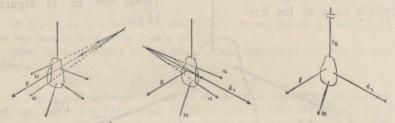


FIG. 116 bis. — Gráfico de resolución de fuerzas.

resultante final. De conformidad a lo que sabe (pág. 39) (hágalo por partes) determine los resultantes de las fuerzas D_1 , D_3 que llamará R y de inmediato la correspondiente a las fuerzas D_2 D_4 que llamará R_1 (fig. 116 bis). Resueltas éstas determine la correspondiente a ambas, que llamará R_3 y que a su tiempo resolverá con la fuerza D_5 .

 $7^{\rm o}$ Resuelta gráficamente la resultante final compruebe si tiene el valor de la fuerza de tracción efectuada por el dinamómetro D_6 .

EXPERIENCIA Nº 4

PALANCA DE PRIMER GENERO

Rudimento de balanza

Material: Listón de madera, regla, soporte, clavos, hilo, plato de balanza, pesas.

Manipulación: 1º En una vara de madera de unos 50 centimetros de largo, marque con una regla el punto medio y a partir del mismo distancias de 5 en 5 centímetros. Trace con lápiz una línea media, paralela a los bordes de la vara y en el punto de cruce con las marcas hechas, coloque en cada uno un clavo que atraviese (fig. 117 - 2).

- 2º Con hilos, dispuestos según le indica la figura (117 1) suspenda de un soporte la vara de madera y luego dos platos de balanza. Coloque en cada uno pesas iguales de 100 ó 200 gramos. Observe si se manifiesta la condición de equilibrio.
- 3º Trace un esquema de fuerzas (fig. 117 3) y compruebe que estando el punto de apoyo en el medio, la potencia debe ser igual a la resistencia para que la condición de equilibrio se cumpla.
- 4° Ponga pesas de diversos valores en uno de los platos. Cambie la posición de suspensión de la vara y luego busque el equilibrio colocando pesas en el otro plato. Anote los resultados en la forma siguiente: $R=\ldots$, $P=\ldots$

Repita la experiencia cambiando la posición de uno de los platos en forma sucesiva, colgándolo de cada uno de los clavos yendo hacia el centro. Si la vara ha sido dividida en partes iguales

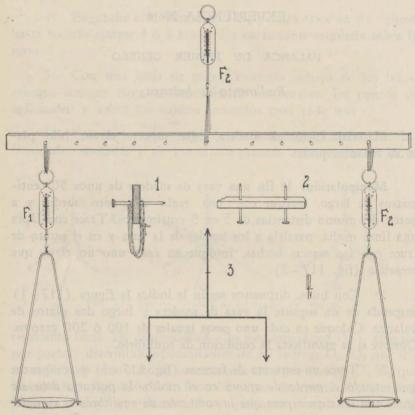


FIG. 117. — Rudimento de balanza.

puede calcularse por anticipado cuántos pesos necesita para restablecer el equilibrio.

Haga los cálculos y compruebe si se cumple para cada caso la proporcionalidad y si para la palanca, a mayor brazo de potencia corresponde menor fuerza.

EXPERIENCIA Nº 5

PALANCAS DE SEGUNDO Y TERCER GENERO

Material: Vara de madera, clavos, hilo, soportes, dinamómetros, pesas.

Manipulación: Palanca de 2º género. — 1º Sujete hacia un extremo la vara de madera en los clavos, enganche el hilo de sos-

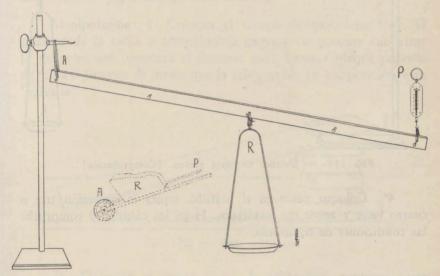


FIG. 118. — Palanca de segundo género. (Comprobación)

tén del plato de balanza en uno cualquiera de ellos y hacia el otro extremo de la vara enganche el dinamómetro. Coloque algunas pesas en el plato de balanza y levante el dinamómetro hasta la posición horizontal, todo según lo muestra la figura 118.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 10.

2º Repita varias veces la operación anotando en cada caso el resultado a saber: Distancia - Pesas - Dinamómetro marca.

Palanca de 3^{er.} género. — 3º Cambie la ubicación del plato de balanza y el dinamómetro colocándolo en el medio, según lo enseña la figura 119.

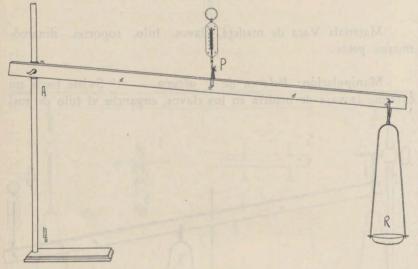


FIG. 119. — Palanca de tercer género. (Comprobación).

4º Coloque pesas en el platillo, repita la operación tres o cuatro veces y anote sus resultados. Haga los cálculos y compruebe las condiciones de equilibrio.

NOTA: A los pesas añada siempre el peso del plato. En la lectura del dinamómetro haga la corrección correspondiente considerando que no parte del cero porque ya sostiene la regla.

EXPERIENCIA Nº 6

ROZAMIENTO

Coeficiente de roce

Material: Una tabla lisa, tarugo de quebracho, metro, talco, dinamómetro, papel de lija fino, balanza.

Manipulación: 1º Coloque el tarugo de quebracho hacia el extremo de la tabla y levantándola suavemente procure encontrar la altura en que comienza el descenso muy lento. Coloque pedazos de tabla o listones de modo que la tabla quede en esa posición bien "calzada".

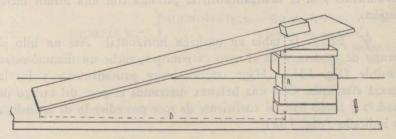


FIG. 120. — Roce resbalante.

- 2º Fíjese en el punto donde la tabla hace contacto hacia el extremo inferior y señale, con una raya de lápiz, en la proyección vertical en la tabla y la correspondiente en la mesa. Repita igual operación en el punto en que el tarugo comienza el descenso.
- 3° Con un metro mida y anote la distancia vertical o altura A y la distancia horizontal comprendida entre las líneas marcadas

sobre la mesa D y calcule el coeficiente de roce estableciendo la proporción:

distancia horizontal = coeficiente de roce
distancia vertical

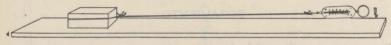


FIG. 121. — Roce resbalante.

- 4º Repita el total de la experiencia espolvoreando la tabla previamente con talco y si lo desea, hágalo una vez más impregnando bien con agua el tarugo y la madera y comprobará que se modifica el coeficiente de roce.
- 5° Coloque un papel de lija sobre el plano de una mesa y pulimente sobre el mismo el tarugo de madera. Realice igual operación con la tabla y compruebe si disminuye así la resistencia por rozamiento y si el deslizamiento se produce con una menor inclinación.
- 6º Ponga la tabla en posición horizontal. Ate un hilo al tarugo de madera y en el otro extremo enganche un dinamómetro sensible (fig. 121). Haga tracción muy pausadamente y lea la fuerza efectuada. Con una balanza determine el peso del tarugo de madera y luego halle el coeficiente de roce procediendo de acuerdo a lo indicado (pág. 108).

SEGUNDA PARTE

FLUIDOS

Que corre, que se halla en el estado de libertad molecular.

Nombre extensivo a cualquier cuerpo cuyas moléculas guardan entre sí tan poca trabazón o adherencia que ceden a la menor presión y se mueven con muchísima facilidad, resbalando las unas sobre las otras sin más resistencia que su propio, levísimo peso. (Dicc. R. Acad.).

LIQUIDOS

HIDRAULICA HIDROSTÁTICA. — Estudia los líquidos en estado de reposo.

HIDRODINÁMICA. — Se refiere a los líquidos en movimiento.

GASES

CAPITULO VI

A) CONCEPTO DE FLUIDO

Fuerza y presión. — Presión en el seno de un líquido. — Presión en el fondo y en las paredes de un recipiente. Presión de abajo hacia arriba. — Vasos comunicantes.

Bajo la denominación genérica de flúidos están comprendidos los líquidos y gases. Hidrostática es la parte de Física que estudia los líquidos en equilibrio, correspondiendo a la hidrodinámica el estudio de los líquidos en movimiento.

Los líquidos se caracterizan:

a) por no tener forma propia sino la del recipiente que los contiene;

(En pequeñas masas tienen forma esférica: ej.: gotas de rocío).

- b) ser poco compresibles y muy elásticos;
- c) dilatarse notablemente más que los sólidos por acción del calor.

Fuerza y presión. — La fuerza ejercida sobre la unidad de superficie se denomina presión. Así, si decimos que ejercemos una presión de 1.500 kilos sobre una superficie cuadrada de 10 centímetros de lado, significa que la fuerza es de 15 k. porque $10 \times 10 = 100$ cm² y $1500 \div 100 = 15$ k. La relación general es pues:

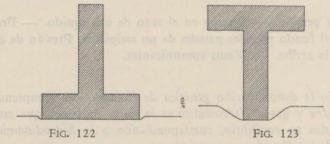
$$Presión = \frac{Fuerza (kilos)}{cm^2}$$

de donde se deduce que:

F = presión × superficie

que en nuestro ejemplo: $F = 15 \times 100 = 1500$.

Las figuras 122 y 123, nos permiten comprender claramente esta relación. El cuerpo apoyado sobre la parte de mayor superficia no ejercerá la misma acción que colocado inversamente.



Efecto de igual presión sobre superficies distintas.

Transmisión de las presiones. — Siendo los líquidos cuerpos no rígidos, la presión que se ejerce sobre una parte de su superficie se transmite en todos sentidos perpendicularmente a las paredes del recipiente que los contiene. En los sólidos, por lo contrario, la presión ejercida, sobre un punto cualquiera se transmite según su recta de acción.

Pascal enunció el principio que lleva su nombre diciendo:

La presión ejercida sobre un punto libre de la masa de un líquido en equilibrio se transmite por igual en todos sentidos.

Principio que se comprueba en el dispositivo llamado émbolo de Pascal (fig. 124) que consiste en una esfera con una serie de tubitos y un pistón. Llena la esfera de agua, accionando sobre el pistón, la presión ejercida por éste es transmitida a la masa líquida.

por igual en todos sentidos, y es dado observar que los chorros

de agua llegan todos a la misma distancia

El valor de las presiones transmitidas es proporcional a la superficie.

Para comprobarlo se toman dos cilindros que se comunican por su parte inferior (fig. 125). Llenos de agua y cerrados por dos pistones movibles, se observa que si en el pistón cuyo diámetro es de 2 cm. se coloca una pesa de 1 kg, en el pistón con diámetro de 8 cm. es decir 4 veces mayor, para equilibrarlo, hay que poner una pesa de 4 kg. Es esto el rudimento en que se funda la construcción de la prensa hidráulica.

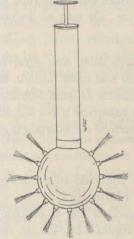


FIG. 124. — Embolo de Pascal.

En un líquido en equilibrio, superficies situadas en el mismo plano horizontal, soportan presiones iauales.

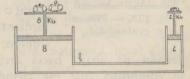


FIG. 125. - Relación entre superficie y presión.

En efecto, sin que se aplique ninguna fuerza a la masa flúida, ya hay los pesos de sus moléculas, que dan lugar a presiones sobre

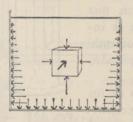


FIG. 126. — Presiones internas en una masa líquida

las propias moléculas, presiones que se transmiten sobre las paredes de cualquier cuerpo que se encuentre sumergido y sobre las paredes del recipiente (fig. 126). Estas presiones aumentan con la profundidad, lo que es fácil comprobar con el dispositivo de la figura 127, que consiste en un tubito de vidrio en cuyo extremo se ha colocado un globito de goma y se ha llenado con alcohol amílico coloreado.

La presión del líquido hace subir la columna indicadora en el tubo y se observa, que cuanto más se introduce éste, más sube el nivel del líquido interior. De esto se deduce el siguiente enunciado:

FIG. 127. — Presión y profundidad.

La fuerza que se ejerce sobre una superficie dada, en el interior de una masa líquida, es igual al peso de una columna de igual líquido, que tenga por base esta superficie y por altura la distancia entre la superficie considerada y el nivel del líquido.

Es éste el enunciado conocido como teorema fundamental de la hidrostática.

Este valor puede apreciarse con el procedimiento indicado en la figura 128. En un recipiente lleno de agua se introduce un tubo de vidrio abierto en ambos extremos, estando el inferior obturado por una lámina de metal o de ebonita que es sostenida al principio mediante un hilo. Una vez introducido en el líquido, este disco no caerá en virtud de la

presión de abajo hacia arriba que recibe, pero se compruba que cae cuando al agregar líquido en el tubo éste alcanza el nivel del que hay en el recipiente. (Se considera mínimo el peso del disco obturador, despreciándolo).

Si la obturación hubiera sido hecha con una membrana de goma, observaríamos que ésta se introduce cada vez más dentro del tubo, pudiendo acontecer, que vencida la elasticidad por la presión, la membrana llegue a romperse.

Se comprueba que la presión en el fondo de los vasos es la misma para iguales superficies independientemente de la forma de los vasos o tubos, con el dispositivo indicado en la figura 129. Consta de varios tubos de distinta forma: A, B, C, D, cuyos

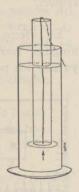


FIG. 128. — Proporcionalidad entre profundidad y presión.

fondos son iguales. Introducidos todos a la misma profundidad, para desprender el obturador se hace necesario en todos ellos agregar

líquido hasta alcanzar el mismo nivel exterior, lo que ha exigido, no obstante, diferentes cantidades, por la distinta capacidad de los mismos.

El aparato de *Haldat* (fig. 130), nos permite repetir la experiencia en forma inversa. Los tubos A, B, C, D, que como lo

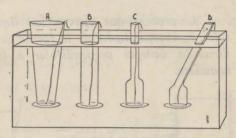


FIG. 129. — Igualdad de presión en superficies diversas.

muestra la figura son de formas y contenido completamente distintos, están construídos de tal modo que es posible atornillarlos

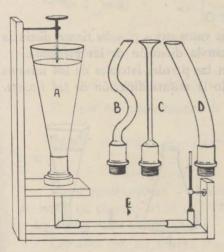


FIG. 130. — Aparato Haldat.

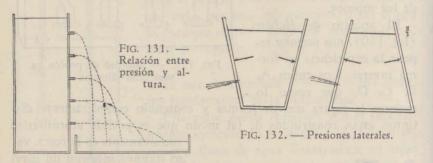
sucesivamente en la rosca, vaso comunicante con un nivel de mercurio. Llenados de agua a la misma altura, uno después de otro, comprobamos que el mercurio alcanza, para cualquiera, igual altura en el nivel.

Si llenamos de agua un recipiente cilíndrico, con orificios a distintas alturas que permitan la salida del líquido, será fácil observar el alcance del mismo, proporcionalmente a la distancia que media entre el orificio de salida y la superficie libre del líquido (fig. 131).

Las experiencias anteriores demuestran que la presión está en relación directa con la altura. Como todos los líquidos no tienen

igual peso, se deduce que para iguales alturas, ejercerá mayor presión aquel cuyo peso sea mayor.

La presión que ejercen los líquidos sobre las paredes laterales, es independiente de la forma del vaso que los contiene, y su dirección siempre perpendicular a la pared en el sitio que se considere.



La figura 132 muestra dos vasos cuyas paredes tienen distintas inclinaciones. Las flechas indican la dirección de las presiones.

Si practicamos orificios en las paredes laterales de los mismos el agua contenida sale siguiendo la misma dirección de las flechas.

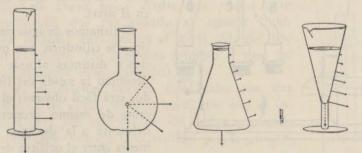


FIG. 133. — Relación entre presión lateral y altura.

La presión que los líquidos ejercen sobre las paredes se comprueba con los dispositivos mostrados por las figuras 134, 135 y 136. Con las experiencias anteriormente mencionadas hemos demostrado:

- 1º que la presión se distribuye con igual intensidad en todos sentidos;
- 2º que es proporcional a la superficie;
- 3º que es proporcional a la altura;

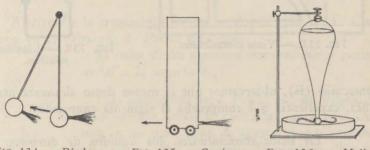


FIG. 134. — Péndulo hidráulico.

FIG. 135. — Carrito hidráulico.

FIG. 136. — Molinete hidráulico.

- 4º que es perpendicular a las paredes;
- 5° que es independiente de la forma de vaso que lo contiene.

Existen infinidad de aparatos que se fundan en estos principios.

Vasos comunicantes. — La figura 137 nos muestra un sistema de vasos en comunicación por su parte inferior, lo que hace que se los llame vasos comunicantes.

Llenados con un mismo líquido, las superficies libres encuentran un mismo nivel, cualquiera sean la forma y dimensión de los recipientes. Esto es una consecuencia de lo anteriormente dicho con referencia a las bases y las alturas en relación a la presión, pues sólo así se explica que hayan iguales presiones en la capa A A' común a todos los recipientes.

Si en un sistema de vasos comunicantes (fig. 138), colocamos líquidos no miscibles de distintas densidades, por ejemplo, agua (A)

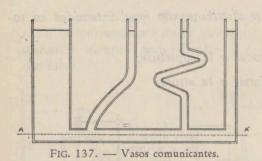


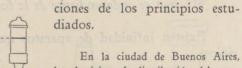


FIG. 138. — Líquidos no miscibles.

y mercurio (B), observamos que el menos denso alcanzará mayor altura, experiencia que comprueba el siguiente enunciado:

En vasos comunicantes, los líquidos de distintas densidades se elevan en razón inversa de las mismas.

Los pozos artesianos, las esclusas, el sistema de distribución de aguas corrientes, el nivel de agua (fig. 139), etc., son aplica-



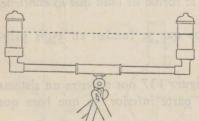


FIG. 139. — Nivel de agua.

los depósitos de distribución del agua, se encuentran estratégicamente ubicados en los lugares más altos de la capital. Según el plano acotado, se encuentran a 35 metros los de Radio Centro (Córdoba, Viamonte y Ayacucho) y Caballito (José M. Mo-

reno y P. Goyena), y a 36 metros el de Villa Devoto.

Desde estos estanques el agua es conducida por gravitación, por los caños maestros de distribución, que corren distanciados entre 3 y 8 cuadras y luego a cañerías secundarias de 6, 5 y 4 pulgadas, de las que se encuentra una en cada vereda.

B) PRINCIPIOS DE PASCAL

Prensa hidráulica

Al estudiar la transmisión de las presiones (pág. 153) enunciamos ya el principio de Pascal que dice:

El valor de las presiones transmitidas es proporcional a la superficie.

Para comprobar esto, Pascal usó un dispositivo muy sencillo, según lo indica la figura 140. Consiste en un tonel lleno de agua al que se encuentra ajustado un tubo de hierro de pequeño diámetro, de unos 10 metros de largo. Como la presión que ejercerá el líquido será proporcional a la base y la altura, debemos considerar como base la del tonel y como altura la del tubo. Fácil es comprender, entonces, por qué si se agrega una pequeña cantidad de agua se alcanza una presión capaz de reventar el tonel.

La experiencia de Pascal con su famoso tonel es, en fundamento una prensa hidráulica rudimentaria. Si conforme la presión ejercida en el tubo que acciona sobre las paredes del tonel, lo hiciera sobre un fondo movible, siendo rígidas sus paredes, el peso de la columna líquida ejercitaría una presión sobre la parte móvil proporcionalmente a esa superficie.

La prensa hidráulica indicada en la figura 142 y esquemáticamente en la figura 141 es la aplicación



FIG. 140. — Tonel de Pascal.

más importante del principio de Pascal. Consiste en un sistema de vasos comunicantes A y A' que comunican por el tubo t. El pistón p, accionado por la palanca M aspira agua del recipiente A por la válvula V y la impele al recipiente A'; la fuerza ejercida es transmitida al émbolo B, que levanta al plato o plataforma P, elevándolo hacia P y comprimiendo lo que se encuentre entre los mismos.

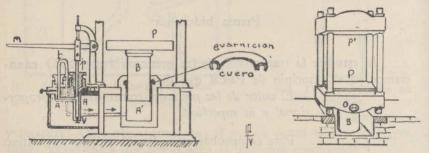


FIG. 141. — Corte de prensa hidráulica.

FIG. 142. — Prensa hidráulica.

Para calcular el esfuerzo capaz de realizar una prensa hidráulica debemos considerar en su orden:

a) brazo de potencia de la palanca de bombeo; b) potencia; c) brazo de resistencia; d) resistencia, o lo que es igual, esfuerzo realizado por el pistón o émbolo, p; e) diámetro del émbolo, p; f) diámetro del pistón o émbolo, B.

Determinado el esfuerzo realizado por B, se calcula la superficie sobre la cual actúa. Así, un esfuerzo de q kilos sobre una superficie de y centímetros cuadrados, será de: x/y cm².

La industria de los aceites, el enfardado de pasto y de lana, poseen prensas hidráulicas como elementos esenciales de trabajo.

Asimismo, en la actualidad el moldeo de tejas, baldosas, azulejos, etc., de pastas cerámicas, es hecho con las prensas hidráulicas, que por su mayor homogeneidad de presión, van substituyendo paulatinamente a las anticuadas prensas a volante y torniquete.

C) PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

Aplicación a la determinación de pesos específicos

Anteriormente hemos demostrado que un cuerpo sumergido en un líquido soporta presiones de abajo hacia arriba, de arriba hacia abajo, y lateralmente. Estas últimas se anulan entre sí por ser iguales y contrarias. En cuanto a la presión de arriba hacia abajo, sabemos que está representada por el peso de la columna de líquido que tenga por base la proyección del cuerpo sumergido. Finalmente, la presión de abajo hacia arriba será igual al peso de líquido en un volumen igual al del cuerpo sumergido. Si llamamos A a la presión de abajo hacia arriba y B a la contraria, el empuje estará significado por la expresión A — B (1).

El principio enunciado por Arquímedes, dice:

Todo cuerpo sumergido recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del líquido desalojado.

La demostración de este principio la podemos efectuar con el auxilio de la balanza hidrostática.

⁽¹⁾ La expresión A — B nos explica porque es una hazaña alcanzar grandes profundidades. Llega el momento en que la presión ejercida por la columna de agua que queda arriba, es tal, que equilibra o pasa a la correspondiente al peso del volumen desalojado, y entonces se hace prácticamente imposible seguir descendiendo. También nos explica porque no es siempre fácil ubicar los buques naufragados en grandes profundidades. Indudablemente, llega el momento en que esa enorme masa fluctúa a cierta profundidad y es fácilmente trasladada por la corriente.

Es esta una balanza cuyos platos están pendientes a distintas alturas (fig. 143).

El plato menor (1) tiene un gancho destinado a sostener un cilindro hueco C en el cual puede penetrar otro cilindro macizo M ajustando perfectamente.

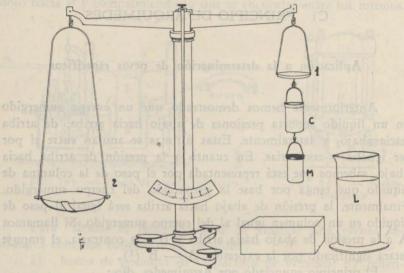


FIG. 143. — Balanza hidrostática.

Para proceder a la comprobación del principio de Arquímedes se trabaja del siguiente modo:

- 1º Se cuelgan ambos cilindros (el maciso dentro del hueco) del plato más corto (1).
- 2º Se equilibra la balanza con arena o municiones, colocándolas en el plato más largo (2).
- 3º Se quita el cilindro macizo (M), y se le suspende del cilindro hueco (C), sumergiéndolo luego en un líquido (L).

Como el equilibrio se rompe, basta llenar el cilindro hueco, con líquido de igual clase, para restablecerlo, lo que comprueba que:

el empuje de abajo hacia arriba que recibe el cilindro macizo es igual al peso del volumen del líquido que desaloja.

Densidad de sólidos. — Los métodos empleados para la determinación de la densidad de los cuerpos sólidos se basan en el principio de que un cuerpo sumergido en un líquido pierde de su peso una parte equivalente al peso del volumen del líquido que desaloja. Por ejemplo: Un centímetro cúbico de hierro pesa 7.79 grs. y un centímetro cúbico de zinc 7.15 grs. Sumergidos en agua acusan un peso de 6.79 grs. y 6.15 grs. Las diferencias 7.79 — 6.69 y 7.15 — 6.15 = 1 equivalen al peso de un centímetro cúbico de agua (1 c.c. = 1 gr.). Conocido el peso absoluto de 1 c.c. de hierro y de zinc, como el de 1 c.c. de agua, el cuociente de dividir uno por otro nos da la densidad. Así para el hierro tenemos 7.79

 $\frac{1}{1}$ = 7.79 y para el zinc $\frac{1}{1}$ = 7.15. El volumen del

cuerpo cuya densidad se trata de determinar se encuentra fácilmente midiendo la cantidad de agua desalojada. Sabiendo que el peso de 1 c.c. de agua es igual a 1 gr., la cifra que represente el volumen de agua desalojada nos indicará directamente su peso.

Supongamos que un pequeño trozo de hierro pesa 28 grs. 823, y colocado en el agua pesa 25 grs. 123, tenemos:

28 grs. 823 peso en el aire. 25 grs. 123 peso en el agua.

3 grs. 700 peso del volumen de agua o simplemente volumen del agua desalojada, y por lo tanto volumen del cuerpo en cuestión. Con estos datos establecemos la relación:

$$Densidad = \frac{Peso}{Volumen} = \frac{28.823}{3.700} = 7.79$$

En consecuencia, para determinar el peso específico o densidad de un cuerpo debemos:

- a) Determinar el peso del cuerpo.
- b) Determinar el volumen del mismo.
- c) Dividir el peso del cuerpo por su volumen (que es el de agua destilada desalojada al sumergir el cuerpo).

Para realizar tales determinaciones se emplea la llamada balanza hidrostática, o alguno de los muchos métodos establecidos, entre los cuales el más sencillo, aunque no estrictamente exacto, es el llamado de la probeta, apropiado para cuerpos sólidos y que consiste en leer la altura del líquido antes y después de sumergir el cuerpo. La simple lectura nos indica el volumen del mismo.

Densidad de los líquidos. — La determinación de la densidad de los líquidos puede hacerse directamente, comparando el peso de un volumen del líquido en cuestión con el peso de igual volumen de agua; en este caso, usamos el frasco o pignómetro, o indirectamente utilizando los areómetros o la balanza de Mohr Westphal.

Los areómetros o densímetros son instrumentos de formas variables, comúnmente construídos de vidrio, de paredes muy delgadas y que constan de una oliva inferior para contener lastre, un cuerpo y un vástago destinado a colocar una escala.

Estos instrumentos se sumergen tanto más cuanto menor denso es el líquido en que se coloquen, e inversamente, tanto menos cuanto más denso sea éste.

Por razones de comodidad, en la práctica de su uso se construyen de dos clases: para líquidos más pesados que el agua, comúnmente llamados pesa ácidos o pesa jarabes y para líquidos más livianos que el agua (alcoholes, aceites, etc.).

Para graduar los areómetros que se usan en la determinación de la densidad de los líquidos más livianos que el agua se procede en la siguiente forma: se introduce el areómetro en el agua y se coloca lastre hasta establecer un cero convencional o sea 1000, que corresponde a la densidad de la misma. Como se comprenderá, la graduación quedará en la parte inferior del vástago (pues corresponde a la mayor densidad) desde que sabemos que el areómetro se sumergirá tanto más cuanto menos denso sea el líquido. Para

aerómetros destinados a líquidos más pesados o más densos que el agua, se coloca lastre hasta que el cero quede en la parte superior del vástago, en virtud de que el aerómetro saldrá más a la superfície cuanto mayor densidad tenga el líquido en que se sumerja.

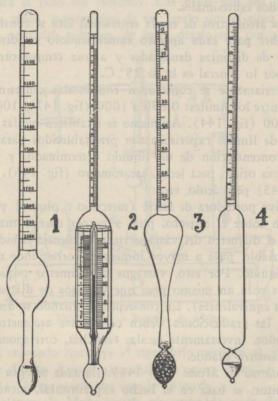


FIG. 144 (1). — Densímetro para líquidos pesados.

F'G. 145 (2). — Aerómetro (alcohómetro) de Gay Lussac.

FIG. 146 (3). — Aerómetro Beaumé. (Pesa ácido, pesa jarabe).

FIG. 147 (4). — Densímetros para líquidos livianos.

Igualmente por comodidad se utilizan varias escalas: la llamada centesimal que indica el peso específico real, y las denominadas Beaumé. Cartier, etc., cuyas graduaciones son empíricas y no corresponden a una determinada temperatura normal. De éstas, la

más usada en la industria es la de Beaumé y se utiliza para determinar grados de concentración, acostumbrándose a escribir la cifra indicadora del grado acompañada de la abreviatura Bé.

Hay tablas que establecen la relación de los grados Beaumé con los grados centesimales.

En los areómetros de escala centesimal ésta se construye experimentalmente para cada aparato sumergiéndolo en diversas soluciones tipo de distintas densidades y a una temperatura determinada que por lo general es la de 15° C.

Ordinariamente se construyen con escalas centesimales comprendidas entre los límites: 0.650 a 1000 (fig. 147), 1000 a 1500, 1400 a 2000 (fig. 144). Asimismo se establecen escalas centesimales dentro de límites experimentales preestablecidos para las variaciones de concentración de un líquido determinado, y de ahí los llamados pesa orina, pesa leche, sacarómetro (fig. 146), alcohómetro (fig. 145) pesa ácido, etc.

La oliva portadora de lastre (mercurio o plomo) y el cuerpo, no influyen sobre el aparato, pues a mayor cuerpo mayor lastre, en cambio el diámetro del vástago tiene influencia debido a su inmersión variable, pues a mayor inmersión corresponde mayor desalojo de líquido. Por esto, vástagos de diámetro pequeño se sumergen más para un mismo peso que vástagos de diámetro mayor (volúmenes equivalentes). En consecuencia, cuando se deseen escalas amplias en las graduaciones deben construirse areómetros de vástagos delgados, inversamente escalas estrechas, corresponden a vástagos de diámetro grande.

La balanza de Mohr (fig. 148), llamada así por el nombre de su inventor, se basa en el hecho experimental, mencionado en un principio, de que cada cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso, equivalente al peso del líquido que desaloja.

De acuerdo con esto, si en líquidos diferentes se sumerge consecutivamente un mismo cuerpo, la pérdida de peso del mismo es para cada caso proporcional al peso específico del líquido considerado, desde el momento que el volumen desalojado es siempre el mismo.

El aspecto de la balanza de Mohr es el de una balanza común

de dos platos. Uno de sus brazos está dividido en 10 partes iguales, v sobre la extremidad de este brazo pende, sostenido por un hilo de platino, un flotador de vidrio, algunas veces con termómetro. En el extremo del otro brazo se halla suspendido un pequeño plato que equilibra el peso del flotador. Las pesas son los caballetes o teiter v son cinco, construídos de tal modo que el peso del mayor equivale al peso del volumen de agua desalojada por el flotador.

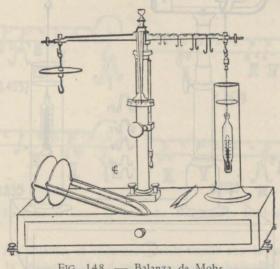


FIG. 148. — Balanza de Mohr.

Cuando es colocado restituye el equilibrio perdido al introducir el flotador en el agua. Los demás caballetes pesan, en orden decreciente, cada uno la décima parte del que le antecede.

La balanza de Mohr puede ser utilizada para determinar el peso específico de sólidos. Para ello basta suspender el cuerpo del platillo y substituir el flotador por un plato de pesas. Dispuesto así funciona como la balanza hidrostática.

En la práctica se utiliza la balanza de Westphal que es una modificación de la de Mohr, y que se emplea solamente para determinar densidad de líquidos.

Difiere en su construcción, pues sólo tiene el brazo de palanca

con las divisiones destinadas al flotador, encontrándose equilibrado por otro brazo más corto y un contrapeso en el que se encuentra la aguja o fiel (fig. 149).

Cuando se usa, se procura restablecer el equilibrio colocando las pesas en el orden de tamaño. Cuando la pesa mayor no se uti-

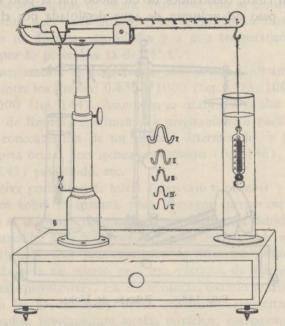


FIG. 149. — Balanza de Mohr - Westphal.

liza se anota cero como primera cifra de lectura, y luego, en el orden de tamaño y colocación.

La figura 150 muestra ejemplos.

Los números romanos indican tamaño de caballete o reiter y por lo tanto orden de lectura.

Densidad de los gases con respecto al aire y al hidrógeno. — Los gases como cualquier materia, están sometidos a la gravedad y por lo tanto tienen peso. En forma semejante a lo efectuado con los sólidos y los líquidos podemos establecer la densidad de los gases, con la diferencia que al determinar la densidad de los primeros tomamos como cuerpo tipo de comparación al agua, en cambio, tratándose de gases, la comparación se establece con el aire o con el hidrógeno.

Como un gas puede ser comprimido, variando su volumen, variará su densidad, pues a un mismo peso corresponden diversos

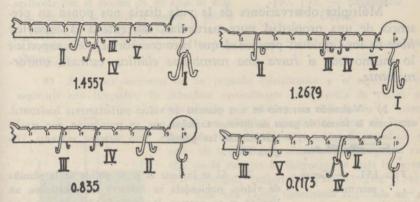


FIG. 150. — Ejemplos de lectura de densidades en la balanza de Mohr - Westphal

volúmenes. Así mismo, el volumen puede variar con la temperatura y por esto la investigación debe efectuarse, trabajando siempre a una misma temperatura, siendo la de 0° la convencional.

Definimos la densidad de los gases como la relación que existe entre el peso de un volumen determinado de gas y el peso de un volumen igual de aire a cero grados de temperatura y a 760 mm. o 0.760 mts. de presión (normal).

D) TENSION SUPERFICIAL Y CAPILARIDAD

Múltiples observaciones de la vida diaria nos ponen en presencia de una propiedad muy particular, referente a la superficie libre de los líquidos; propiedad que hace comportar a esa superficie lo mismo que si fuera una membrana elástica, estirada uniformemente.

1) Volcando mercurio en una plancha de vidrio perfectamente horizontal, éste toma la forma de gotas de diversos tamaños que, en proporción, son mucho más chatas las grandes, pero siempre redondas (fi-

gura 151).

FIG. 151. — Gotas mercurio.

2) Si se invierte la parte pulida de la plancha de vidrio, poniéndola en contacto superficial con un líquido y se procura la presencia de aire entre las

superficies, las burbujas gaseosas adquieren una forma exactamente semejante a las gotas de mercurio.

En ambos ejemplos, cuando dos gotas o burbujas llegan a ponerse en contacto, se reunen inmediatamente, originando otra única de mayor tamaño.

- 3) Si se deja caer un papel de cigarrillos en un vaso con agua, toma contacto total de inmediato y queda tendido como si fuera una tabla flotante. Se posa entonces con gran cuidado una aguja de coser y se observa el momento en que, el papel impregnado de agua se sumerge. Se observará entonces que la aguja permanere flotando. Si entonces con la puna
- aguja permanece flotando. Si entonces con la punta de otra aguja o un escarbadientes se toca el extremo se ve que inmediatamente se sumerge de punta "como si se hubiera perforado la membrana elástica" de la superficie del líquido que la sostiene.
- 4) En un vaso lleno de agua cuyos bordes se encuentren bien secos se agregan clavos pequeños introduciéndoles de punta hacia la parte media. El líquido aumenta su nivel y sobrepasa los bordes pero no vuelca, presentando una especie de película



FIG. 152. — Prueba de tensión superficial.

elástica adherida a los bordes que le impide rebasar. Bastará tocar, en cualquier lugar del borde con la punta de un alfiler y el líquido vuelca en ese lugar como si la película elástica que lo sostiene hubiera sido perforada (fig. 152).

5) En una cubeta rectangular (ABCD [fig. 153]) de muy poca profundidad, una de cuyas paredes CD, es móvil, se coloca agua lentamente. Para

evitar la salida del líquido se engrasan las superficies de contacto de la pared CD con las demás de cubeta y se sujeta, en posición inclinada con el auxilio de un hilo de seda. Una vez llena la cubeta se quema el hilo y la pared CD toma la posición CD' como

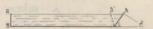


FIG. 153. — Experiencia Dupré.

si la superfície libre $A\,D$ estuviera formada por una lámina de caucho extendida (Dupré) .

6) Se coloca mercurio en un pequeño cristalizador y se espolvorea la superficie con licopodio. Se introduce verticalmente una varilla de vidrio de

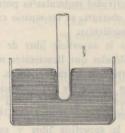


FIG. 154. — Experiencia Pasteur.

punta roma y se observa que el licopodio es "arrastrado" en dirección concéntrica hacia el "pozo" formado, volviendo a su posición, de inmediato al retiro de la varilla. Se observa también que la varilla queda cubierta de licopodio, en toda la superficie sumergida (experiencia Pasteur) (fig. 154).

Con una varilla ligeramente engrasada superficialmente, agua y talco, puede efectuarse igual experiencia.

 En delgadas láminas de líquido, se manifiesta igualmente esta tensión. Una experiencia muy demostrativa se hace preparando una solución

jabonosa y un anillo de alambre de 4 ó 5 cm. de diámetro (fig. 155). Se ata un hilo muy fino, de seda (1).









FIG. 155. — Experiencia Van der Mensbrugghe.

se agita dentro de la solución jabonosa y se retira con cuidado. Se observa una delgadísima lámina que llena el círculo de alambre. Con la punta de un alfiler se perfora la lámina entre el aro y el hilo y se verá que en virtud de la tensión, el hilo toma una posición semicircular (2).

Se repite la experiencia anudando el hilo en anillo (3) y se verá que adquiere una posición francamente circular. (Experiencia de Van der Mensbrugghe).

8) Una mezcla de agua y alcohol al 60 % tiene igual densidad que el aceite de oliva. Introduciendo una pipeta con aceite y dejando salir gotas, éstas

no caen, pues siendo de igual densidad no se encuentran sujetas a la acción de la gravedad. Se verá la forma esférica de la gota de aceite originada por su tensión superficial.



FIG. 156. — Tensión superficial de líquido no misable.

Presión de cohesión molecular. — Admitimos anteriormente que la fuerza de cohesión que actúa entre las moléculas de un líquido es recíproca. En efecto, una determinada molécula atrae a todas las que se encuentran dentro de la esfera de su actividad molecular, e inversamente, todas las moléculas consideradas atraen a la central.

El radio de la esfera de actividad molecular es pequeñísimo (0.000050 mm.); no obstante, en ese espacio cabe una cantidad muy grande de moléculas.

Imaginemos que AB sea la superficie libre de un líquido (fig. 157) y tres moléculas que llamaremos m,

 m_2 y m_3 . Si consideramos la molécula m_1 , en el interior de la masa líquida, la resultante de todas las fuerzas atractivas es nula en virtud de la repartición simétrica de las moléculas. Otra molécula m_2 se encuentra a menor distancia de la superficie que el radio de su esfera de acción y entonces, si consideramos un plano $a\,b$ que pasa por su centro paralelamente a la superficie libre y otro

A' B' simétricamente con el plano de dicha superficie, la acción de todas las moléculas comprendidas en la esfera entre los planos AB y A' B' es nula por la misma razón anterior. Las que se encuentran debajo del plano A' B' ejercen una acción que no se encuentra compensada hacia arriba, dando una resultante que actúa normalmente a la superficie AB hacia el interior de la masa líquida.



FIG. 157. — Presión de cohesión.

La molécula m_g, colocada en la misma superficie del líquido ejerce su máxima acción hacia el interior, pues la totalidad del hemisferio inferior acusa una fuerza, igualmente normal, no compensada hacia arriba.

De acuerdo a esta explicación esquemática, podemos decir que: todas las moléculas de la capa superficial, cuyo espesor es el del radio de la actividad molecular, se encuentran sometidas a fuerzas que actúan hacia el interior del líquido, dando origen a una presión denominada presión de cohesión, o tensión superficial. Capilaridad. — Se ha explicado más arriba la tensión superficial y la causa que la origina. Veremos ahora un conjunto de fenómenos, provenientes de esas fuerzas moleculares, en combinación con la adherencia, designados con el nombre de fenómenos capilares o capilaridad.

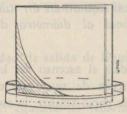


FIG. 158. — Ascenso por capilaridad.

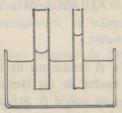


FIG. 159. — Ascenso en relación al diámetro.

El fenómeno capilar más conocido es el de ascensión o descenso que experimentan los líquidos en los tubos de muy pequeño diámetro, llamados tubos capilares.



FIG. 160. — Menisco convexo.

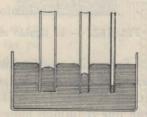


FIG. 161. — Descenso en relación al diámetro.

Deben distinguirse dos casos: a) líquidos que mojan las paredes; b) líquidos que no mojan las paredes.

a) Cuando el líquido moja las paredes, sube y la superficie deja de ser horizontal para tomar forma cóncava (agua en contacto con vidrio) denominada menisco cóncavo, comprobándose que sube

tanto más, cuanto menor es el diámetro del tubo (figs. 158 y 159).

b) Si el líquido no moja las paredes, se forma un menisco convexo (fig. 160) como sucede cuando se introduce un tubo capilar en mercurio. Además, el líquido sufre un descenso en el interior del tubo, mucho mayor cuanto menor sea el diámetro interior.

La ley de Jurin concreta estas observaciones en el enunciado siguiente:

La elevación o depresión de un líquido en un tubo capilar es inversamente proporcional al diámetro del mismo.

En el fenómeno de capilaridad radica el ascenso del kerosene en la mecha de las lámparas, la absorción de agua por una esponja o un terrón de azúcar, el empleo de papel secante, la ascensión de la sabia en los vegetales, etc.

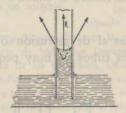


FIG. 162. — El líquido moja.



FIG. 163. — El líquido no moja.

Se explica este fenómeno admitiendo que la tensión superficial obra en el contorno de las paredes del tubo, según una fuerza resultante R (fig. 162 y 163) que obra en un sentido o en otro, según que el líquido moje o no, las paredes del tubo. Esto depende de la mayor o menor cohesión del líquido y de la adhesión del mismo; así, si predomina la adhesión, moja; si predomina la cohesión (mercurio), no moja.

E) VELOCIDAD DE SALIDA DE LIQUIDOS

Velocidad de salida de líquidos por orificios: teorema de Torricelli

Al enunciar el teorema fundamental de la hidrostática (página 156) se dijo que la presión en un determinado punto del líquido era proporcional a la distancia comprendida entre ese punto y la superficie libre del líquido.

Imaginemos esquematizadas las moléculas de un líquido (figura 164) y consideremos que siendo todas iguales, del mismo peso,

ejerzan una sobre otra una fuerza equivalente a su peso. Resulta evidente que la más inferior soportará mayor presión cuanto más moléculas se encuentren sobre de ella. Estas fuerzas se encuentran anuladas por la resistencia de las paredes del vaso que lo contiene y el líquido está en equilibrio, en reposo.

Si se hace un orificio en un punto P de la pared del vaso (fig. 165) el equilibrio de las presiones queda roto y el líquido sale a tanta mayor velocidad como distancia se encuentre comprendida entre ese punto y la superficie li-

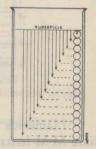


FIG. 164. — Esquema de masa líquida.

bre. De acuerdo a esto, la velocidad adquirida por cada molécula al trasponer la pared del vaso, iría disminuyendo en una exacta proporción con la disminución de la altura del líquido.

Torricelli imaginó que determinada molécula a determinada

altura, cayera tal como si se encontrara libre en el espacio, y enunció el principio conocido por su nombre que dice:

La velocidad de salida de un líquido por un pequeño orificio, en una pared delgada de un vaso, es igual a la que adquiriría un cuerpo que cayera en el vacío libremente, desde una altura correspondiente a la superficie libre hasta el centro del orificio.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, la velocidad estaría dada por la fórmula:

$$v = \sqrt{2 g \cdot h}$$

donde: h = altura; g = aceleración.

Imaginemos un recipiente lleno de líquido y un orificio O a un nivel N N (fig. 166). Entre el nivel N N y la superficie existe una distancia h considerada altura.



Llamemos m a la masa líquida que baja desde la superficie libre M M hasta N N y consideremos que el intervalo de tiempo sea tan pequeño que la altura pueda ser considerada constante y la velocidad de descenso nula. La energía que esa masa m posea será la potencial, dada por la fórmula:

Cuando la masa m se encuentra en el nivel NN y sale por

el orificio O con una velocidad v la energía que posee es energía cinética, cuya fórmula también conocemos:

Haciendo igual esta energía a la anterior se tienen:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = m g \cdot h$$

de donde:

$$V^2 = 2 g \cdot h$$
 $V = \sqrt{2 g \cdot h}$

que es la fórmula de velocidad anteriormente planteada. Resolviendo la altura h, se tiene que:

where the meaning for the state of the
$$\frac{V^2}{2\,\mathrm{g}}$$
 and the state of the state

RESUMEN

1. Bajo la denominación genésica de flúidos están comprendidos los líquidos y los gases.

Hidrostática es la parte que estudia los líquidos en equilibrio; hidrodinámica es el estudio de los líquidos en movimiento.

- 2. La fuerza ejercida sobre la unidad de superficie se denomina presión. La relación general de presión es: fuerza kilos ÷ cm². Siendo los líquidos cuerpos no rígidos, la presión que se ejerce sobre una parte de su superficie se trasmite en todos sentidos perpendicularmente a las paredes del recipiente que los contiene.
- 3. La presión ejercida sobre un punto libre de la masa de un líquido en equilibrio se trasmite por igual en todos sentidos.

Piazza - Fisica - (Pra. Parte) - P. 12.

—El valor de las presiones trasmitidas es proporcional a la superficie.

—En un líquido en equilibrio, superficies situadas en un mismo plano horizontal, soportan presiones iguales.

—La fuerza que se ejerce sobre una superficie dada, en el interior de una masa líquida, es igual al peso de una columna de igual líquido, que tenga por base esta superficie y por altura la distancia entre la superficie considerada y el nivel del líquido.

- 4. La presión que ejercen los líquidos sobre las paredes laterales, es independiente de la forma del vaso que los contiene, y su dirección siempre perpendicular a la pared en el sitio que se considere.
- Los vasos comunicantes son recipientes que comunican por su parte inferior.
 Llenados con un mismo líquido, las superficies libres se encuentran a un mismo nivel.

En los vasos comunicantes, los líquidos de distintas densidades se elevan en razón inversa de las mismas.

- La prensa hidráulica es la aplicación más importante del principio de Pascal.
 Se emplea con la industria de los aceites, en el enfardado de pasto y de lana, etc.
 - El principio enunciado por Arquímedes, dice: Todo cuerpo sumergido recibe un empuje de abajo hacia arriba, igual al peso del volumen del líquido desalojado.

Se demuestra este principio con la balanza hidrostática.

8. En el principio de Arquímedes se basa la determinación de la densidad de los cuerpos sólidos. Para establecer la relación de peso a volumen debemos:

a) determinar el peso del cuerpo, b) determinar el volumen del mismo,
c) dividir el peso del cuerpo por su volumen.

Se emplean: la balanza hidrostática, la balanza de Mohr, los densimetros o arcómetros, etc.

- 9. La tensión superficial es una propiedad muy particular, referente a la superficie libre de los líquidos; propiedad que hace comportar a esa superficie lo mismo que si fuera una membrana elástica, estirada uniformemente.
- 10. Existe un conjunto de fenómenos provenientes de fuerzas moleculares en combinación con la adherencia que se conocen con el nombre de fenómenos capilares. Debemos distinguir: a) líquidos que mojan; b) líquidos que no mojan. Los primeros ascienden cuanto menor es el diámetro del tubo, los segundos descienden.

La ley de Jurin, dice: la elevación o depresión de un líquido en un tubo capilar es inversamente proporcional al diámetro del mismo.

11. La velocidad de salida de un líquido por un pequeño orificio, en una pared delgada de un vaso, es igual a la que adquiriría un cuerpo que cayera en el vacío libremente, desde una altura correspondiente a la superficie libre hasta el centro del orificio.

PROBLEMAS

Un carro que pesa 450 kilos y transporta 1.400 kilos de arena, marcha sobre dos ruedas de 1,50 m. de diámetro y 0.10 de espesor. Encontrándose sobre pavimento duro, ¿cuál será la presión por centímetro cuadrado en la superficie de apoyo de cada rueda?

- —Una barra redonda de 5 cm. de diámetro, puesta verticalmente, se hunde en la tierra cuando llegan a colocarse sobre el extremo libre, 48 kilos. La barra pesa 14 kilos. Se desea saber cuántos kilos de presión ejerce por centímetro cuadrado de apoyo y cuántos kilos de peso deberíamos colocar para alcanzar igual efecto, si la barra fuera de 12 cm. de diámetro?
- —Un recipiente cerrado, lleno de agua, comunica con tres émbolos verticales que sostienen un plato cada uno. El émbolo 1 tiene 3 cm. de diámetro, el 2, 7 cm, y el 3, 15 cm. En el émbolo 1 se colocan 25 kilos de peso. ¿Cuántos kilos deberemos colocar en los émbolos 2 y 3, respectivamente, para establecer equilibrio?
- —¿Cuál será la presión que soporta sobre las paredes, un caño de hierro que comunica con un tanque de agua colocado sobre la terraza de un edificio de 36 m. de altura, considerando secciones de 1 cm. a nivel de cada piso, sabiendo que de un piso a otro hay 3,50 metros de luz?
- —Un tubo de 12 centímetros de diámetro taponado en su parte inferior es introducido verticalmente hasta 156 mts. de profundidad en agua de mar (D = 1.026). ¿Qué presión de fondo soporta el tapón?
- —Dos tubos vaso comunicantes cuyo radio es de 4 mm. se llenan parcialmente de mercurio. En uno de los vasos se vierte agua. ¿Cuál será el largo de la columna de agua cuando el mercurio en uno de los vasos haya ascendido 17 mm.? (Densidad del mercurio, 13.6).
 - -El émbolo de impulsión de una prensa hidráulica tiene un diámetro de

2.6 mm. y se encuentra accionado por una palanca cuyo brazo de potencia es de 70 cm. y el de resistencia de 10 cm.

El pistón de plato tiene 15 cm. de radio. Se desea saber: 1º, ¿cuál será la presión ejercida por la prensa si se acciona con una potencia de 15 kilos?; 2º, ¿cuál será la presión por centímetro cuadrado de una baldoza moldeada en aro de 20 × 20 cm.?

- —Un submarino que desplaza 820 toneladas, se sumerge a 50 metros de profundidad. ¿Cuál será la presión lateral que soporta?
- —Un taque de petróleo es controlado con un manómetro de mercurio puesto en la gerencia. En el tanque hay un tubo sumergido hasta el fondo y penetra en el petróleo que es desalojado por fuerza de aire. La presión de aire ejercida para desalojar la columna de petróleo D=935 es controlada en milímetro de mercurio en el manómetro. Se desea saber:
- 1º ¿Cuántos centímetros de columna de petróleo, corresponden a cada centímetro de mercurio en el manómetro?
- 2º Sabiendo que el tanque es cilíndrico de 2,50 metros de diámetro y 8 metros de largo, ¿cuál será el contenido cuando la columna de mercurio en el manómetro marque 22 mm. y 35 mm.?

CAPITULO VII

A) PESO DE LOS GASES

Peso específico del aire. — Presión atmosférica. — Experimento de Torricelli. — Barómetro de cubeta. — Principio de los barómetros metálicos.

Los gases no tienen por sí mismos forma ni volumen propios y se caracterizan por su compresibilidad y su expansibilidad. Esta última condición hace que tiendan a ocupar siempre todo el espacio en que se encuentran encerrados, ejerciendo sobre las paredes del recipiente una presión que se denomina fuerza elástica.

Para explicar las propiedades de los gases se admite que sus moléculas se encuentren en constante movimiento, que tiende a ser rectilíneo en virtud de la inercia, pero lo impide los choques de unas moléculas con otras y con las paredes de las vasijas que los contiene. Cuando el volumen se reduce, aumenta la frecuencia de los choques y como consecuencia, aumenta la presión sobre las paredes.

Se hace necesario distinguir entre gas y vapor. Todos aquellos cuerpos que se encuentran en estado aeriforme en las condiciones ordinarias, son considerados gases denominándose vapores aquellos cuyo estado común es el líquido.

Toda masa gaseosa en virtud de su elasticidad ocupa totalmente el sitio que se le ofrece donde se encuentra almacenado y varía su forma y volumen, simultáneamente con la del recipiente. Es pues, una característica de los gases, no tener un volumen fijo, que puede ser modificado.

Compresibilidad. — Se comprueba que los gases son compresibles por medio del eslabón neumático (fig. 167). Consiste en un



FIG. 167. — Eslabón neumático.

cilindro de paredes resistentes, en cuyo interior corre un pistón que sometido a la acción de una fuerza, llega casi hasta el fondo, cosa que no hubiera sucedido si el aire no se hubiera comprimido. Al abandonar el pistón volverá de inmediato a su posición anterior por sí solo, lo que demuestra la elasticidad del aire.

La experiencia puede repetirse sencillamente con una jeringa de invecciones hipodérmicas. Obturando con un dedo la salida, comprimimos el pistón. No alcanzaremos a tocar el extremo del cuerpo de la misma y abandonado el pistón, regresa bruscamente a su posición anterior.

Cuando se inflan las pelotas de fútbol apurando la operación, llega el momento que el extremo del inflador se ha calentado tanto que impide ser tocado.

Lo mismo acontece con un inflador de bicicletas. Es que el aire al ser comprimido abandona calor.

Expansibilidad. — Es la tendencia que tienen los gases a ocupar siempre el mayor volumen. Para comprobarlo

se procede según lo indica la figura 168. Debajo de la campana hemos colocado una cámara de goma, de pelota con una pequeña cantidad de aire, cerrándola lo





Expansibilidad de los gases.

más perfectamente posible. Extrayendo el aire de la campana, por medio de la máquina neumática, se observa que la cámara se "infla" (fig. 169) cada vez más, a medida que se va extrayendo el aire. Abriendo el robinete de entrada de aire a la campana, la cámara se desinfla.

Peso de los gases. — Los gases, al igual que los sólidos y los líquidos están sujetos a la acción de la gravedad y por lo tanto tienen peso. Siendo éste muy pequeño, durante mucho tiempo se creyó que no eran pesados.

Galileo fué el primero en demostrar que el aire tiene peso, contrariando las afirmaciones de la escuela de Aristóteles. Se dice que el error de Aristóteles fué porque él pesaba una vejiga vacía y luego llena de aire y que en ambos casos pesaba igual. Se debía esto al principio de Arquímedes, pues, la vejiga llena, perdía en densidad por su mayor volumen, proporcionalmente a la mayor cantidad de aire aprisionado.

En 1650, Otto de Guericke inventó la máquina neumática con la cual es posible efectuar el vacío dentro de un recipiente. Poco después se le ocurrió pesar un globo de vidrio dejándole el aire que contenía y luego quitándoselo con la máquina de su invención, observó que el globo pesaba menos. La diferencia entre ambas pesadas representaba el peso del aire contenido correspondiendo a 1 gr. 293 por litro.

Peso específico del aire. — Regnault, en 1860, en París, repitió la experiencia de Otto de Guerike, trabajando con aire puro y seco, en condiciones normales, esto es, a la temperatura de 0° y a la presión de 760 mm. de mercurio y ratificó el peso de 1 litro de aire en 1 gr. 293.

Determinó luego el peso de otros gases introduciendo en el balón de prueba hidrógeno, oxígeno, etc., estableciendo para estos los pesos de 0.0895 y 1.430, por litro, respectivamente.

Llámase peso específico absoluto de un gas, al peso de la unidad de volumen, y peso específico relativo al aire, o al hidrógeno o al oxígeno, al peso de la unidad de volumen del gas con-

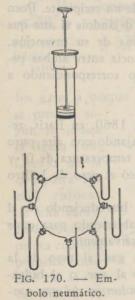
siderado, dividido por el peso de igual volumen de aire, hidrógeno u oxígeno. Así, refiriéndonos a pesos específicos relativos al hidrógeno tenemos:

$$P = \frac{1.293}{1.293} = 1 \quad P = \frac{0.0895}{1.293} = 0.0695 P = \frac{1.430}{1.293} = 1.1060$$

Presión. — Siendo los gases elásticos, pesados y flúidos como los líquidos, tienen un comportamiento análogo y podemos aplicar la mayor parte de los principios de la hidrostática.

Así, la presión ejercida sobre un punto de una masa gaseosa se trasmite con igual intensidad en todos sentidos.

En forma semejante a la experiencia realizada con el émbolo de Pascal (pág. 153), como lo muestra la figura 170, puede hacerse esta comprobación. Según se observa, con la esfera, en este



caso llena de gas a la presión ordinaria, se comunican una cantidad de pequeños manómetros llenos de mercurio. Al efectuar presión sobre el gas, se comprueba que ésta se distribuye por igual en todos sentidos, puesto que en los manómetros, el mercurio alcanzará igual altura en todos ellos.

Lo mismo que en los líquidos, la presión es la misma en todos los puntos de una misma capa horizontal, e igual al peso de la columna de gas que tenga por base la superficie considerada y por altura la diferencia entre los dos niveles.

Como los gases son de escaso peso, esta diferencia puede ser despreciada, por lo que las presiones de un gas, encerrado en un vaso, pueden ser consideradas como iguales en todos los puntos.

La presión atmosférica. —Sabemos que la Tierra se encuentra rodeada de una capa de aire denominada atmósfera. Hemos explicado anteriormente que los gases (entre los que se encuentra el aire), lo mismo que los sólidos y los líquidos, tienen peso, por lo tanto es fácil comprender que la atmósfera, por su peso, ejerce presión sobre la superficie de la tierra. Es evidente que si nos elevamos, la capa de aire que debamos soportar será menor, y, por consiguiente, la presión también lo será, es decir, que la presión varía con la altitud. Esto fué demostrado por Pascal con la llamada "experiencia de la vejiga". Cerró una vejiga dejando en su interior una pequeña cantidad de aire; luego inició una ascensión por una montaña y observó que, a medida que aumentaba la altura, la vejiga adquiría mayor volumen, con lo cual ponía en evidencia que el aire contenido en ella se expandía, a medida que disminuía la presión atmosférica, hasta llegar un momento en que, por ser la presión interior mayor que la externa, la vejiga estalló (semejante a la experiencia fig. 169).

El hecho de que la presión atmosférica se sustraiga a la observación inmediata, se explica en virtud de que aquélla actúa en todas partes con igual intensidad, anulándose a si misma, y, por lo tanto, es incapaz de producir movimiento, es decir, efecto visible; pero, si artificialmente procuramos que la presión ejercida por el aire no

sea igual en direcciones opuestas, su acción se manifiesta al instante.

Si en un tubo abierto en sus dos extremos obturamos uno de éstos con un papel apergaminado y por el otro extraemos el aire, notaremos que el papel comienza a curvarse hacia adentro hasta romperse. Esto ocurre porque la presión del aire exterior ya no está contrarrestada por una presión interior igual (fig. 171).

por una presión interior igual (fig. 171). FIG. 171. — Efecto Otra demostración de la existencia de la de la presión.

presión atmosférica es la que se hace con los

hemisferios de Magdenburgo (fig. 172). Consisten en dos mitades

esféricas, huecas, que ajustan perfectamente una con otra por superficies planas.

Puestas en contacto, se separan fácilmente si la presión interior es igual a la externa, pero no sucede igual cosa si se extrae el aire interior mediante la má-

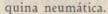




FIG. 172. — Hemisferios de Magdenburgo.

Experimento de Torricelli. — Torricelli realizó en 1643, una sencilla experiencia que demuestra la existencia de la presión atmosférica y permite, también, medirla. Dicha experiencia consistió en tomar un tubo de vidrio de no menos de 80 centímetros de largo, cerrado en un extremo. Llenó el tubo con mercurio, obturando su extremo abierto con el dedo para que éste no se virtiera, e introduciendo la extremidad obturada en una cubeta llena de mercurio, pudo observar que al retirar el dedo, el contenido no descendió por completo obedeciendo a

su propio peso, sino que se mantuvo a un nivel cuya altura, con

relación al mercurio de la cubeta, osciló alrededor de los 76 cm. (fig. 173). Esto se debe a que la presión de la atmósfera actúa sobre la superficie libre del mercurio de la cubeta, vale decir, que las presiones dentro y fuera del tubo se equilibran al alcanzar el mercurio del tubo la altura mencionada.

Internamente, la presión es debida al peso correspondiente a la columna de mercurio y, por fuera, la presión corresponde al peso de una columna de aire que tiene la misma sección que el tubo y que se eleva hasta el límite de la atmósfera.

Llamemos A a la altura de la columna de mercurio medida en centímetros; S el área de la sección del tubo expresada en centímetros cuadrados. Hagamos A=76 cm. y S=1 cm²; el peso de la columna resultará de acuerdo a la fórmula determinada al estudiar peso específico $P=d\times v$.



FIG. 173. — Experiencia de Torricelli.

Substituyendo valores y sabiendo que la densidad del mercurio es de 13,59, tenemos:

$$v = (A) 76 \text{ cm} \times (S) 1 \text{ cm}^2 = 76 \text{ cm}^3$$

 $P = 13.59 \times 76 = 1032.84 \text{ gr}.$

vale decir, que la presión ejercida por la atmósfera es de 1 kilo 33 grs. por cm² de superficie; a esto se denomina presión de una atmósfera, o, simplemente, presión atmosférica.

En la industria se acostumbra a expresar el valor de la presión o de resistencia a la presión, en lugar de en atmósferas, en kilos por cm².

Si en lugar de mercurio consideráramos una columna de agua, como ésta tiene por densidad 1, es decir, 13,59 veces menor que

el mercurio, dicha columna de agua para ejercer igual presión que la del mercurio, deberá tener una altura proporcionalmente mayor, o sea $76 \text{ cm.} \times 13,59 = 1032,84 \text{ cm.}$, o, en cifras redondas, 10 mts.

Barómetro de cubeta. — El aparato, mediante el cual se mide la presión atmosférica, se denomina barómetro. Existen modelos que responden a dos tipos: aquellos en que se utilizan líquidos, entre los cuales se encuentra el llamado de cubeta que es el construído por Torricelli y el llamado de Fortín; y los de aire o aneroides, de construcción metálica, basados en el ejemplo de la vejiga.

El barómetro de cubeta que no es otro que el tubo de Torricelli condicionado convenientemente. Consta, además del tubo invertido con mercurio, cuyo extremo se halla sumergido en una cubeta, igualmente con mercurio, de una tabla que lleva una graduación y permite leer la altura de la columna (fig. 173).

Este barómetro marca con exactitud cuando la presión atmosférica es la misma que en el momento de su graduación.

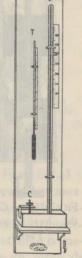
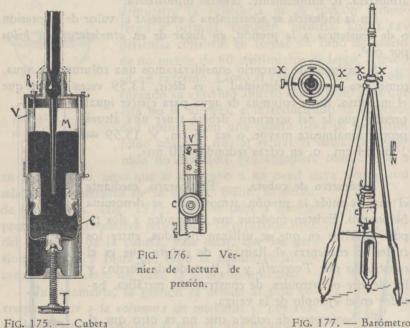


FIG. 174. — Barómetro de cubeta.
B, barómetro; T, termómetro; C, tornillo registro.

Si aumenta ésta, el nivel del mercurio en la cubeta baja y en el tubo sube, a la inversa si disminuye; entonces aparece en la lectura de la columna un error en virtud de la diferencia de los niveles en más o en menos de la presión real.

Se reduce al mínimo este defecto haciendo uso de una cubeta grande, de modo que la variación del nivel sea mínima.

Barómetro de Fortin. — Es otro barómetro de cubeta con el cual es posible corregir el defecto mencionado anteriormente, pues la cubeta tiene un fondo movible (C) de piel de gamuza que pue-



175. — Cubeta FIG. 177. — Barómetro barómetro de con su armadura de Fortín.

de ser modificado mediante un tornillo (T) (fig. 175). Una punta de marfil (R), rasante con el mercurio (M) en la cubeta marca el nivel exacto de la graduación. Si el nivel de la cubeta a subido o a bajado por el descenso o ascenso de la columna en el tubo, basta mover el tornillo hasta dar con el envase justo. Completa la exactitud

de lectura, un vernier adaptado al tubo metálico que defiende al tubo de vidrio (fig. 176). El barómetro de Fortin, que es portátil se encuentra generalmente colocado en un trípode (fig. 177).

Principio de los barómetros metálicos. — Los barómetros metálicos, llamados también aneroides, por encontrarse basado su funcionamiento en la elasticidad de cajas o tubos metálicos en los cuales se ha extraído el aire del interior, son de dos tipos: el de Vidi y el de Bourdón.

El barómetro de Vidi (fig. 178), es el más conocido. Consta de una caja metálica cilíndrica, de paredes muy delgadas, cuya cara



FIG. 178. — Barómetro de Vidi.



FIG. 179. — Barómetro de Bourdón.

superior es de sección acanalada para presentar mayor flexibilidad y de la cual se ha extraído el aire lo más posible. La presión atmosférica exterior tiende a aplastar la caja, encontrándose protegida esta acción por un resorte. Las variaciones de la presión atmosférica, significan variaciones de la cara acanalada, que es más o menos deprimida y sus movimientos son trasmitidos por un juego de palancas a la aguja indicadora.

El barómetro de Bourdón (fig. 179), también del sistema aneroide, en lugar de una caja metálica consta de un tubo de sección elíptica, cuyas flexiones en virtud de las variaciones de presión son evidenciadas por una aguja, pudiendo leerse directamente en su escala las indicaciones de variación del tiempo.

Existen barómetros metálicos, llamados registradores (figura 180) que se encuentran munidos de una aguja inscriptora, la que traza un gráfico de las variaciones de presión, sobre una planilla

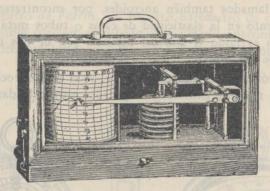


FIG. 180. — Barómetro registrador o barógrafo.

dividida verticalmente en horas. Dicha planilla se encuentra colocada sobre un tambor movido por un mecanismo de relojería.

Sobre este sistema de barómetro aneroide están basados los barógrafos de altura o *altimetros* usados en aviación para registrar el máximo ascenso alcanzado, el tiempo, y la variación del vuelo, todo lo cual queda inscripto como *gráfico* de *vuelo* en la planilla de control.

B) LEY DE BOYLE MARIOTTE

Manómetros de aire libre y aire comprimido

Ley de Boyle Mariotte. — Hemos dicho que los gases tienden a ocupar todo el volumen que se les ofrece, razón por la cual, el volumen que ocupen dependerá de la presión que soporten.

Supongamos los aparatos indicados en la figura 181 que constan de un tubo graduado con robinete a v otro tubo abierto b, unidos por un tubo de goma. Los llamaremos A y B. Echemos mercurio en los mismos, procurando que el nivel coincida en ambos aparatos y cerremos los robinetes. Dejando inmóvil el aparato A para comprobación, levantamos en B, el tubo b hasta que el volumen de aire en el tubo a disminuya a la mitad. Esto sucederá cuando la diferencia de niveles de mercurio de los tubos a v b sea de 76 centímetros lo que equivale a decir que estamos ejerciendo sobre dicho aire encerrado en a una presión de la ley de Boyle Mariotte.

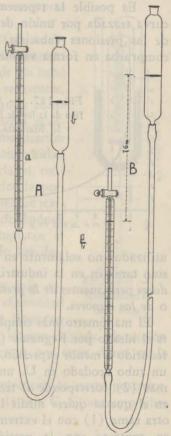


FIG. 181. — Comprobación

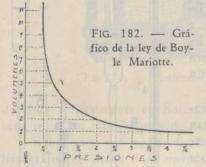
adicional igual a la atmosférica o, en otros términos, que el volumen se ha reducido a la mitad al tener que soportar una presión doble que la inicial. De lo que antecede se deduce que:

las presiones de una masa gaseosa son inversamente proporcionales a los volúmenes que ella ocupa, siempre que se mantenga constante la temperatura.

Esta es la lev de Boyle Mariotte.

Es posible la representación gráfica de la ley mediante una curva trazada por unión de los puntos de encuentro de los valores de las presiones (abscisas) y de los volúmenes (ordenadas). Se comprueba en forma visible que el volumen disminuye en propor-

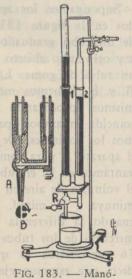
ción inversa con el aumento de presión (fig. 182).



Manómetros de aire libre y aire comprimido. - Los manómetros son aparatos m u y

utilizados no solamente en el laboratorio. sino también en la industria como indicadores permanentes de la presión de los gases o de los vapores.

El manómetro más simple y más exacto es el ideado por Regnault (fig. 183), que reducido a menor expresión, no es más que un tubo acodado en U, una de cuyas ramas (2) corresponde al recipiente cerrado en el que se quiere medir la presión y la otra rama (1) con el extremo abierto, está en contacto con la presión atmosférica FIG. 183. - Manóexterior. metro de Regnault.



En el caso citado, si acontece medir fuertes presiones, la columna de mercurio en la rama abierta alcanzaría una gran longitud; inconveniente que se evita usando los manómetros de aire comprimido que están basados en la ley de Mariotte (1). La fuerza elástica del gas es entonces igual a la diferencia entre los niveles de mercurio, aumentada por la fuerza elástica del aire que se comprime en la rama cerrada, presión que crece a medida que disminuye el volumen de aire. La consecuencia es, entonces, que el mercurio sube

menos. Para graduar estos manómetros se opera

por comparación con uno de aire libre.

Un manómetro de aire libre fácil de construir, por lo que es muy usado, es el que muestra la figura 184. Como se observa, consta de un tubo de vidrio, generalmente de paredes muy resistentes, doblado de tal modo que dos de sus ramas constituyen dos vasos comunicantes exactamente iguales. Una de las ramas está abierta en comunicación con la atmósfera y la otra, se halla en continuidad con una tercera que sirve para conectarla al recipiente cerrado en el cual se desea controlar la presión. Un papel milimetrado, pegado sobre un cartón y colocado de tal modo que el cero corresponde a la altura del nivel del mercurio, completan el aparato. La lectura se efectúa observando los desniveles entre superficies.

Los manómetros metálicos son los más comunes en la industria y se fundan en la elasticidad de los metales. El más simple es el de Bourdon



FIG. 184. --- Manómetro de aire libre.

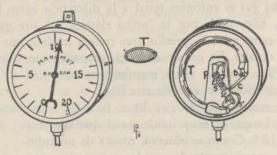
que se compone de un tubo de latón de lámina delgada, de sección elíptica sobre cuyos detalles no insistiremos por estar claros en la figura 185.

La figura 186 muestra el manómetro por la parte posterior. El tubo T de sección elíptica está fijo a la caja C. El extremo libre

⁽¹⁾ El volumen de la masa gaseosa es inversamente proporcional a la presión que soporta siempre que la temperatura no varie.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 13.

B, que se mueve en virtud de las variaciones de presión en el interior del tubo, registra sus movimientos, por intermedio del brazo C. al eje de la aguja registradora P, la que, como es de comprender marca su recorrido en la escala de lectura colocada en el frente.



metro de Bourdon. mo interior.

FIG. 185. — Manó- FIG. 186. — Mecanis-

Estos manómetros son los comúnmente usados en los tanques de aire comprimido, en los tubos de gases comprimidos, y en las calderas de vapor.

Los hay, sobre el mismo sistema, que en lugar de indicar la presión, marcan la disminución de la misma o vacío, conociéndose como manómetros de vacío o sencillamente vacum.

C) BOMBAS HIDRAULICAS - SIFON

Bombas. — Las bombas son aparatos destinados a elevar o impulsar líquidos. Pueden ser.

- a) bombas aspirantes;
- b) aspirantes impelentes.

Cualquiera de ellas consta de un "cuerpo de bomba" cilíndrico, recorrido por un émbolo o pistón accionado a palanca. Los esquemas siguientes evidencian el cometido de las válvulas (figuras 187 y 188).

La bomba aspirante (fig. 188), consta de un recipiente cilíndrico A y un émbolo de construcción especial B. Al subir el

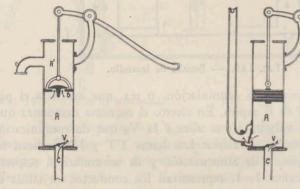


FIG. 187. — Bomba FIG. 188. — Bomba aspirante aspirante. impelente.

pistón, la válvula del mismo permanece cerrada, y por la válvula V que se encuentra abierta, va aspirando el líquido que llega por el caño C. Al bajar el pistón, el efecto es contrario. Encontrándose cerrada la válvula V por el peso del líquido absorbido, debe abrirse la válvula del pistón B, dando paso al contenido hacia la parte superior A' desde donde es expulsado cuando el pistón vuelve a subir.

En la bomba aspirante impelente (fig. 188) el primer movimiento de aspiración es igual al explicado pero, siendo el pistón rígido, al bajar comprime el líquido anteriormente aspirado y lo expulsa.

La bomba de incendio (fig. 189) es una doble bomba aspirante impelente (A y B) que trabajan con una alternación rítmica. En cuanto a su mecanismo, es el común de una bomba aspirante impelente, y según puede observarse, al bajar el pistón del recipiente A permanece cerrada la válvula V y se abre la V_1 que co-

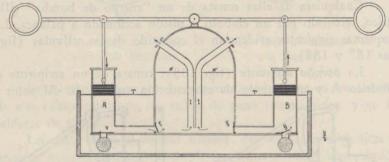


FIG. 189. - Bomba de incendio.

rresponde al depósito de acumulación, o sea, que mientras el pistón A impele, el de B aspira. En efecto, el esquema demuestra que, inversamente, la válvula V_3 se abre y la V_2 que da comunicación al estanque de reserva, se cierra: Las letras TT y NN indican los niveles en el depósito de alimentación y de acumulación, respectivamente. y los caños 1, 1, representan los conductos de salida de agua en cantidad y presión constantes.

Sifón. — Es un aparato rudimentario destinado a trasegar líquidos de un cierto nivel, a un nivel inferior, sin mover el recipiente que lo contiene.

Puede "hacerse sifón" con un tubo de goma; es esto lo que hacen los vineros para llenar damajuanas directamente del "casco". Sumergen el tubo de goma en el vino, obturan el extremo doblán-

dolo, lo retiran y bajan simultáneamente, y al destaparlo, el desnivel producido en las columnas del líquido hace que el sifón funcione de inmediato. El sifón indicado en la figura 190 es un sifón usado en el laboratorio y permite hacer succión sin correr el riesgo de que el líquido llegue a la boca.

Al acto de llenar el sifón se conoce con la denominación de "cebarlo", diciendo sifón cebado, cuando está lleno.

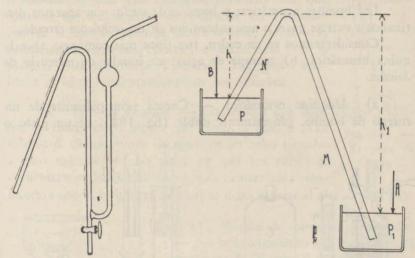


FIG. 190. — Sifón de laboratorio.

FIG. 191. — Teoria del sifón.

¿Por qué se mueve el líquido con el empleo del sifón? Sea un tubo en V (fig. 191) cuya rama M es más larga que la N. Llamemos h y h₁ a las alturas entre niveles de cada columna con su respectivo recipiente y P, P₁ las presiones en cada uno.

La presión P actúa de izquierda a derecha y P_1 de derecha a izquierda. Por otra parte, $h_1 > h$. Si llamamos At a la presión atmosférica y p al peso específico del líquido, determinando los respectivos valores, resulta:

$$P = At - h \cdot p$$

$$P_1 = At - h_1 \cdot p$$

Como se ha establecido $h_1>h$, resulta $P_1< P$, y entonces el líquido pasa de B hacia A.

D) BOMBAS NEUMATICAS

Las bombas neumáticas o bombas de vacío, son aparatos destinados a extraer gases o aire contenidos en un recipiente cerrado.

Consideraremos en su orden, tres tipos más comunes: a) máquina neumática; b) trompa de agua; c) bomba de mercurio de Jeissler.

a) Máquina neumática. — Consta principalmente de un cuerpo de bomba, generalmente doble (fig. 192), de un plato o

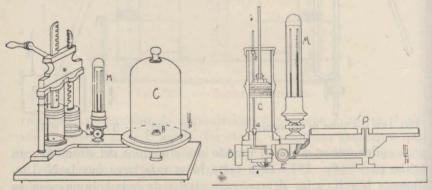


FIG. 192. — Máquina neumática.

FIG. 193. — Corte longitudinal de una máquina neumática.

platina, en cuyo centro se encuentra el extremo de un tubo (A) en comunicación con las bombas, y sobre el cual se coloca el recipiente (C) del cual se desea extraer el aire.

El funcionamiento es muy sencillo. El cilindro C (fig. 193), es recorrido por un émbolo, que se encuentra atravesado en forma ajustada, por una varilla que en virtud del roce sigue parcialmente

la dirección de sus movimientos, pero en su extremo inferior una válvula cónica a cierra el paso de aire del cilindro. Cuando el embolo sube, arrastra consigo la varilla, pero ésta de inmediato es

sujetada en su recorrido por un ensanchamiento b; no obstante, se ha abierto ya la válvula a que comunica por la llave B con un conducto que llega a la platina P. Por medio de una llave E se establece comunicación con una campana cilíndrica M, que contiene un movimiento de mercurio. La construcción de la llave B, permite, según el caso, cerrar toda comunicación con las bombas, comunicarlas con la platina, o abrirla hacia el exterior, vale decir, establecer el libre funcionamiento de los émbolos.

b) Trompa de agua. — Construída por Bunsen, se funda en la acción que ejerce el paso a gran velocidad, de un chorro de agua, de un tubo estrecho a otro más ancho. La parte en que los tubos se encuentran se halla cerrada en una cámara en comu-

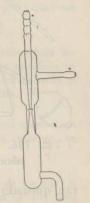


FIG. 194. — Trompa de agua.

nicación con el recipiente del cual se desea extraer el aire (fig. 194).

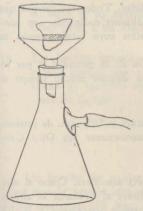


FIG. 195. — Embudo de Buchner.

c) Bomba de mercurio de Geissler.

— Su funcionamiento está basado en el principio de Torricelli. Consta sencillamente de dos recipientes iguales, unidos por un tubo de goma, uno de los cuales con robinete. Su mecanismo es exactamente igual a lo explicado al estudiar la ley de Boyle Mariotte (pág. 191).

Un dispositivo de filtrado en el cual se aprovecha la presión atmosférica y la disminución de presión conseguida por el uso de la trompa de agua, es el embudo de Buchner (figura 195).

Como lo muestra la figura consta de un frasco de vidrio inferior, y de un embudo de construcción especial, con un

plano perforado donde reposará el papel de filtro sin quedar expuesto a roturas.



FIG. 196. — Piseta de laboratorio.

El desequilibrio producido por la diferencia de presión, interna y externa, hace que la mezcla a filtrar se separe rápidamente, pasando las partes líquidas al frasco inferior.

Otro dispositivo, igualmente basado en la presión es el indicado en la figura 196, empleado en los laboratorios para efectuar el lavado de filtros a objeto de acumular en el fondo del mismo (hacia el vértice) las partículas sólidas que por adherencia hubie-

ran quedado sujetas al papel de filtro formando capa.

RESUMEN

1. Los gases no tienen por si mismos forma ni volumen propios y se caracterizan por su compresibilidad y su expansibilidad. Todos los cuerpos que se encuentran en estado aeriforme en las condiciones ordinarias, son considerados gases, denominándose vapores, aquellos cuyo estado común es líquido.

Todos los gases están sujetos a la acción de la gravedad y por lo tanto tienen peso. Como éste es muy pequeño, durante mucho tiempo se creyó que no eran pesados.

- 2. Regnault en 1860, trabajando a 0º de temperatura y 760 mm. de presión, ratificó el peso de 1) gr. 293, establecido anteriormente por Otto Guericke, para un litro de aire.
- La capa de aire que envuelve la Tierra se llama atmósfera. Como el aire tiene peso, ejerce presión, y esta presión disminuye al aumentar la altura. Torricelli demostró la existencia de la presión atmosférica y le dió experimentalmente el valor de 1.033 grs. por cm².
- 4. El aparato mediante el cual se mide la presión atmosférica se llama baró-

metro. El barómetro de cubeta no es más que un tubo de Torricelli condicionado convenientemente en una cubeta con mercurio. El barómetro de Fortin es otro barómetro de cubeta, más perfeccionado, portátil, en el cual es fácil corregir los errores de lectura, del de cubeta, por variaciones de la presión.

- 5. Los barómetros metálicos llamados también aneroides, por encontrarse basado su funcionamiento en la elasticidad de capas o tubos metálicos en la elasticidad de capas o tubos metálicos en los cuales se ha extraído el aire interior, son de dos tipos: el de Vidi y el de Bourdón.
- 6. La ley de Boyle Mariotte dice que: las presiones de una masa gaseosa son inversamente proporcionales a los volúmenes que ella ocupa, siempre que se mantenga constante la temperatura.
- Los manómetros son indicadores permanentes de la presión de los gases o de los vapores en recipientes cerrados. Existen manómetros de aire libre y manómetros metálicos, como el de Bourdón.
- Las bombas son aparatos destinados a elevar o impulsar líquidos. Pueden ser aspirantes y aspirantes impelentes. La bomba de incendio es una doble bomba aspirante impelente.
- 9. El sifón es un aparato rudimentario destinado a trasegar líquidos de un cierto nivel a un nivel inferior sin mover el recipiente que lo contiene.
- 10. Las bombas neumáticas o bombas de vacío, son aparatos destinados a extraer gases o aire contenidos en un recipiente cerrado. Se conocen tres tipos: a) máquina neumática; b) trompa de agua; c) bomba de mercurio de Geissler.

PROBLEMAS

Un hombre de regular estatura tiene una superficie de piel de 1,85 m². ¿Cuál será la presión atmosférica total que soporta cuando el barómetro marca 0.750 mm. y 0.770 mm. de columna mercurial?

-¿Cuál será el largo de una columna de agua (D = 1.000); una de alcohol (D = 0.795); una de ácido sulfúrico (D = 1.840) para equilibrar la presión de 0.760 mm.? (Densidad del mercurio 13.6).

—Un metro cúbico de aire seco pesa 1.293 gramos a la presión normal. ¿Cuánto pesará ese mismo volumen cuando soporte una presión de 200 y 400 centímetros de mercurio?

—Un manómetro cerrado contiene una columna de gas que a la presión ordinaria es de 42 centímetros. ¿Cuántos centímetros se elevará el mercurio cuando la presión del gas sea de 3 y de 5 atmósferas?

—La diferencia de nivel de un manómetro abierto colocado en la campana de la máquina neumática es de 8 mm. ¿Cuál será el enrarecimiento conseguido si la presión exterior es de 0.750 o 0.770 mm.?

PARTE TERCERA

ACUSTICA

The same resident the real part of the r

The state of the s

PARTI TURCERA

LOUSTICA

CAPITULO VIII

A) MOVIMIENTO OSCILATORIO

Amplitud, período y frecuencia. — Naturaleza del sonido. — Sus tres características: intensidad, altura y timbre. — Límite de los sonidos perceptibles. — Medida de la altura con la sirena de Cagniard de Latour.

Sonido es la sensación particular que experimentamos por nuestro órgano auditivo: el oído. Se debe a un movimiento periódico o vibratorio de que se encuentra animado un cuerpo, llamado cuerpo sonoro, cuyas vibraciones se transmiten a la atmósfera y llegan a "golpear" en el tímpano del oído.

Los sonidos son producidos por movimientos oscilatorios o vibratorios continuos y regulares, que provocan alternativamente en el aire compresiones y depresiones, que se propagan en forma de ondas sonoras, las que producen sensación de sonido al excitar el tímpano.

Un arco de violín frotado en el borde de una copa, si es posible de cristal, produce vibraciones que se comprueban por el movimiento de oscilación de una pequeña bolita de sauco, suspendida a modo de péndulo por un hilo de seda y apoyada en la pared de la copa.

Frotando una barra de bronce, sujeta horizontalmente, con un paño espolvoreado con resina, el péndulo apoyado en el extremo opuesto es rechazado por influencia de las vibraciones.

Para que el sonido se produzca es necesario que la frecuencia de las vibraciones esté comprendida dentro de ciertos límites; asimismo, es indispensable para que el sonido sea sensible, que entre la surgente sonora y el oído exista una sucesión de medios materiales.

El movimiento vibratorio más sencillo lo produce una barra de acero de cierta longitud, sujeta en uno de sus extremos (figura 197). Separado de su posición de equilibrio en virtud de su flexión, al soltarla se la ve vibrar, al mismo tiempo que se

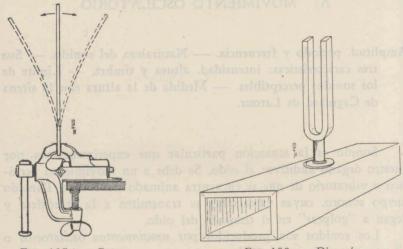


FIG. 197. — Barra

FIG. 198. — Diapasón.

oye un sonido. Si la barra es delgada y larga, las oscilaciones pueden ser seguidas con la vista, pero si es corta y gruesa sus movimientos no son observados, como sucede con el diapasón (fig. 198). Consiste en una gruesa barra de acero en forma de U que se hace vibrar ya sea golpeándola o pasando entre sus ramas una varilla.

Se da el nombre de oscilación simple al paso de un extremo a otro de las posiciones opuestas, y oscilación completa al desplazamiento del móvil desde una posición a la opuesta y retorno al punto inicial.

Las oscilaciones o vibraciones pueden ser inscriptas fijando en una de las ramas del diapasón, con un poco de lacre o de cera una punta fina, que puede ser una barba de pluma, una cerda de cepillo o un pedazo de cuerda de guitarra (fig. 199) ha-

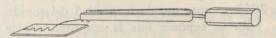


FIG. 199. — Inscripción de oscilaciones.

ciendo correr el diapasón sobre una placa de vidrio ahumado en el cual apoya ligeramente

la punta, queda inscripto el trazo en forma de una línea sinuosa, correspondiendo en ella un diente a cada vibración.

Naturaleza del sonido. — Sonido y ruido: Cuando se vuelca una lata llena de clavos, se rompe una botella, se produce el estampido de una bala, chocan dos vehículos, se oye "el golpear de las olas", "el ruido de truenos", etc., el oído los percibe también, pero en forma desagradable.

Debemos distinguir dos categorías de sonidos: los sonidos propiamente dichos, que producen una sensación de continuidad agradable, como los sonidos musicales, y los ruidos, igualmente producidos por vibraciones, pero irregulares o violentas, o por una mezcla de varios sonidos discordantes.

Así, los ruidos no duran sino un instante, mientras que los sonidos, de mayor duración, tienen su origen en vibraciones continuadas y regulares.

Amplitud. Período. Frecuencia. — Llámase amplitud del movimiento vibratorio a la distancia comprendida entre la posición de equilibrio y la de máximo apartamiento.

Periodo es el tiempo empleado en efectuar una oscilación completa.

Frecuencia es el número de oscilaciones completas efectuadas en la unidad de tiempo. En todo movimiento vibratorio la frecuencia debe ser muy elevada.

Las tres características: intensidad, altura y timbre. — Los

caracteres para individualizar al sonido, mejor dicho, para diferenciar los sonidos entre sí, son: intensidad, altura y timbre.

Intensidad. — La intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro. Cuando se hace vibrar el diapasón (pág. 206) se nota que la intensidad del sonido decrece hasta apagarse. Fácil es suponer que la amplitud de las oscilaciones disminuye progresivamente hasta anularse.

La cuerda de un violín, tensa fuera de su caja, que vibra al roce del arco débilmente apoyado primero y con más fuerza después, produce una misma nota que impresiona, "se siente", más fuerte en el segundo caso.

Si en lugar de producir la vibración de la cuerda el roce del arco, la apartamos con el dedo de su posición, haciéndolo suavemente primero y más pronunciadamente después, notaremos que la *intensidad del sonido* es también mayor en el segundo caso.

Repetido el experimento con la cuerda adaptada a su caja de resonancia se comprueba que la intensidad aumenta.

Son estas experiencias demostrativas de que

la intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones y de la masa vibrante.

Si representamos gráficamente la intensidad del sonido emitido por un cuerpo dado, ésta depende de la amplitud de sus vibraciones.

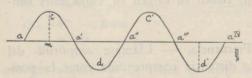


FIG. 200. — Amplitud de oscilación.

En el gráfico (fig. 200) estaría dada por el ancho

Ahora bien. Para un número dado de vibraciones por segundo, la velocidad media de los

elementos vibrantes, es proporcional a la amplitud de las oscilaciones, y en un mismo medio, a una amplitud doble, triple, etc., corresponde una intensidad de sonido 4, 9, 16 veces mayor, vale decir, que:

La intensidad del sonido es directamente proporcional al cuadrado de la amplitud de oscilación. Hay otros factores que intervienen modificando la intensidad con que se percibe el sonido. Son ellos: distancia, densidad del medio, temperatura, dirección del viento, etc., cuya influencia estudiaremos más adelante.

Altura. — La altura, o sea la cualidad por la cual un sonido es considerado grave o agudo depende de la frecuencia del movimiento vibratorio, es decir, del número de vibraciones efectuadas en la unidad de tiempo.

Se comprueba que la altura del sonido depende del número de vibraciones con la rueda dentada de Savart.

Según lo enseña la figura 201, consta de una rueda dentada, de dientes equidistantes, montada de tal modo que puede

ser girada a cierta velocidad, por una transmisión que la une a una rueda a polea accionada a mano. Una cartulina sujeta al soporte previamente introducida en el espacio entre dos dientes, sufrirá una flexión al pasar de uno a otro diente. Haciendo girar la rueda con cierta velocidad, el paso sucesivo de los dientes producirán un movimien-

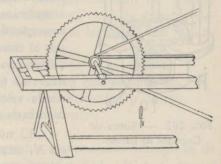


FIG. 201. — Rueda dentada de Savart.

to vibratorio que da origen a un sonido que será tanto más agudo a medida que aumenta la velocidad. Si se cambia la rueda y se coloca una con mayor número de dientes, al aumentar el número de vibraciones el sonido producido será más agudo.

Medida de la altura con la sirena de Cagniard de Latour. — La altura de un sonido cualquiera se mide haciendo uso de la sirena de Cagniard de Latour. Según lo muestra la figura 202 consta de un cilindro A de base superior amplia provisto de una serie de orificios equidistantes inclinados (a), de una barra metálica B, que en su parte inferior hace de eje a un plato C que

tiene orificios correspondientes a los anteriores, pero de inclinación distinta, de modo que cuando los orificios se corresponden la dirección es opuesta.

El cilindro A, en su parte inferior tiene un orificio O por el cual puede hacerse llegar una corriente de aire, y el vástago B

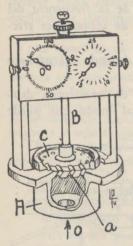


FIG. 202. — Sirena de Cagniard de Latour.

en su parte superior está unido a un contador de revoluciones. Una de las agujas marca por cada división una vuelta del plato C y la otra indica los centenares de vueltas. Al inyectar aire, el plato C se pone en movimiento, que será más veloz cuanto mayor sea la corriente de aire. Este movimiento hace que los orificios se cierren alternativamente y el aire pase libremente al corresponderse y choque con las partes llenas al cerrarse, lo que origina una serie de vibraciones del aire que produce un sonido, que será tanto más agudo cuanto mayor sea la velocidad del plato C como consecuencia de una corriente de aire más intensa.

El número de vibraciones o frecuencia N, estará dado por el número de agu-

jeros n, multiplicado por el número de vueltas v, en la unidad de tiempo, puesto que estos agujeros se abrirán y cerrarán n veces en cada vuelta. Así $N=n\times v$.

Por ejemplo: si el disco o plato giratorio C, tiene 18 agujeros y da dos vueltas por segundo, tenemos:

$$N = \frac{18 \times 2}{1}$$
 o sea

una frecuencia o número de vibraciones igual a 36 por segundo.

Suponiendo que la lectura del contador de revoluciones acciona 346 vueltas en 30 segundos. la altura del sonido producido,

o lo que es igual, el número de vibraciones por segundo estaría dado por la ecuación:

$$N = \frac{18 \times 346}{30} = \frac{6228}{30} = 207.6$$

Cuando dos sonidos tienen el mismo número de vibraciones, se dice que están al unísono, lo que quiere significar que tienen igual altura.

Damos el nombre de sonido agudo al producido por vibraciones muy rápidas, y sonido grave, caso contrario.

Timbre. — Decimos que tal o cual persona tiene un "timbre agradable de voz" o un "lindo metal de voz" y entre varias podemos distinguirla; diferenciamos fácilmente el sonido de un violín, de una guitarra o de un piano, etc.

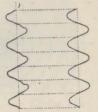
Timbre es la cualidad del sonido que permite distinguir aquellos que, teniendo igual intensidad y altura, son producidos por instrumentos distintos.

Si se representan gráficamente los movimientos vibratorios de dos cuerpos sonoros que producen sonidos de igual intensidad y altura pero de tiembre diverso, resultan dos curvas de igual período pero

Se admite que el tiembre es producido por sonidos armoniosos, que el cuerpo sonoro emite junto con el sonido principal y que confundidos con éste, provocan una variación en la impresión auditiva que origina el timbre.

de diferente forma (fig. 203).

Se admite que el timbre es producido por FIG. 203 sonidos armoniosos, que el cuerpo sonoro emite junto con el sonido principal y que confundidos con éste, provocan una variación en la impresión auditiva que origina el timbre.



Límite de los sonidos perceptibles. — El movimiento vibratorio sonoro produce reacción auditiva, únicamente cuando está comprendido dentro de ciertos límites de frecuencia.

El límite de sensibilidad no es rígido o absoluto, dado que varía para distintas personas y aún para un mismo individuo en diversas edades. Así, algunos sonidos que resultan sensibles a determinados individuos, para otros pasan completamente inadvertidos.

Según Helmholtz, en general, no son perceptibles para el oído los sonidos cuyo número de vibraciones o frecuencia sea superior a 48.000 o inferior a 32 por segundo.

B) PROPAGACION DE ONDAS

Ondas transversales y longitudinales. — Longitud de ondas. — Superposición de ondas; onda resultante. — Propagación del sonido; velocidad de propagación en los distintos medios.

Anteriormente (pág. 205) hemos dicho que es indispensable, para que el sonido sea sensible, que entre la surgente sonora y el oído exista una sucesión de medios materiales, un medio elástico.

Cualquiera sea el medio elástico considerado, cuando se produce un desplazamiento en una parte cualquiera del mismo, se comunica sucesivamente a las partículas del medio que se encuentran más lejos.

Un ejemplo visible de lo manifestado lo tenemos en el fenó-

meno que presenta una piedra arrojada al agua en un estanque donde el agua presenta una superficie tranquila.

Al caer la piedra en el agua, origina en el sitio donde "golpea" una serie de ondas de intensidad decreciente que se presentan a la vista como anillos concéntricos, alternadamente convexos y cóncavos, de radio cada vez mayor, dando la ilusión que el agua de la superficie golpeada se alejara de esa región (fig. 204).



FIG. 204. — Ondas concéntricas.

Si antes de arrojar la piedra se deja flotar un corcho o un trozo de madera, se le verá subir y bajar sin adquirir movimiento de traslación sensible. Estos ejemplos ponen de manifiesto que cada partícula del medio elástico oscila dentro de dos límites fijos, comunicando su movimiento oscilatorio, a las partículas contiguas y obligándolas a cumplir el mismo movimiento.

Ondas transversales y longitudinales. — Cuando como en el caso citado las vibraciones del medio tienen una dirección perpendicular a la de propagación del movimiento, se dice que las ondas son transversales. A esta clase pertenecen todas las vibraciones de las cuerdas de los instrumentos sonoros.

Cuando las ondas se producen en la misma dirección en que se propaga el movimiento reciben la denominación de ondas lon-

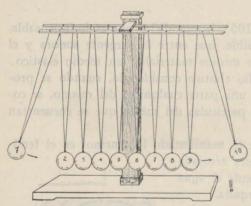


FIG. 205. — Mecanismo de vibraciones longitudinales.

gitudinales correspondiendo a este tipo todas aquellas originadas por las vibraciones que se propagan en el seno de un líquido o de un gas.

Podemos representar el mecanismo de las vibraciones longitudinales con una serie de péndulos de marfil, de igual largo, entre los cuales existen pequeños espacios (fig. 205). Elevando la esfera 1, abandonada cae

y golpea la 2, 3, etc., y se ve que la última se eleva un cierto espacio, mientras que las otras han permanecido casi quietas. La propagación de las ondas longitudinales se han efectuado a través de la serie de esferas y cada una ha cumplido un movimiento de igual dirección que el de propagación de la onda.

Longitud de onda. — Vamos a considerar los casos en que la onda generada sea perpendicular a la dirección en que se propaga el movimiento (ondas transversales) y las del mismo sentido de propagación (ondas longitudinales).

PRIMER CASO. — Imaginemos una serie de moléculas que se encuentran en equilibrio (1...2...3...4...5..., fig. 206) y que a una de ellas (1) se comunica un impulso que la hace oscilar entre dos posiciones extremas. Lla-

memos T al tiempo de oscilación y consideremos las posiciones de la molécula I en cada ¼ de ese tiempo T.

En el primer ½
T la molécula 1 llega a su posición extrema superior a trasmitiendo por tracción su movimiento a las moléculas siguientes hasta llegar a una que denomi-

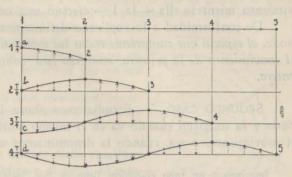


FIG. 206. — Onda transversal.

naremos 2. En este espacio de tiempo $(1\frac{1}{4})$, todas las moléculas comprendidas entre 1 y 2 se han movido hacía arriba, una tras de otras.

En el segundo espacio de tiempo 2 ½ la molécula 1 ha regresado a su posición de equilibrio y se encuentra en b, arrastrando tras de sí a las otras que efectúan un movimiento análogo; pero la molécula 2 en ese mismo tiempo llega a su posición extrema superior e igualmente arrastra consigo a las partículas siguientes hasta llegar a una que llamaremos 3, de tal modo que en ese período 2 ¼, todas las partículas comprendidas entre 1 y 2 van hacia abajo y hacia arriba las que se encuentran entre 2 y 3.

En el tercer espacio de tiempo — 3 ½ — la molécula 1 en virtud de la energía que la anima llega a su posición extrema inferior c mientras que la 2 regresa a su posición de equilibrio y la 3, por el impulso transmitido va a hacia la posición extrema superior. Como en los casos anteriores, ejerce tracción sobre las siguientes hasta llegar a la 4. En este período todas las partículas comprendidas entre 1 y 3 van hacia abajo y hacia arriba las que se encuentran entre 3 y 4.

Por último, en el cuarto tiempo, 4 ½, la partícula 1 regresa a su posición de equilibrio, la 2 alcanza la posición extrema inferior, la 3 ha vuelto a la posición de equilibrio y la 4 llega a la posición extrema superior arrastrando tras de sí a las otras, hasta 5. En este tiempo las partículas entre 1 y 2 van hacia arriba, entre 2 y 4 hacia abajo, entre 4 y 5 hacia arriba.

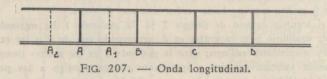
Al finalizar el tiempo, que hemos considerado dividido en cuatro partes, la molécula 1 ha hecho una oscilación entera ponien-

do en movimiento a todas las que le siguen hasta la 5, describiendo una curva que conocemos con el nombre de *onda*, cuya *longitud* está determinada por todo el espacio al cual se ha propagado el movimiento mientras ella —la 1— efectuó una oscilación entera.

De conformidad a lo explicado definiremos como longitud de onda, al espacio que comprende todas las moléculas influenciadas por el movimiento de la primera, mientras ésta cumple una oscilación entera.

SEGUNDO CASO. — Estudiaremos ahora la formación de la onda y su longitud cuando va en el mismo sentido que se propaga el movimiento, o sea, cuando la denominamos onda longitudinal.

Imaginemos un tubo cilíndrico, lleno de aire, infinitamente largo (figura 207) y dentro del mismo un disco A colocado a modo de tapón. Supongamos que este tapón A se encuentre animado de un movimiento oscilatorio continuo,



entre dos posiciones fijas ${\rm A}_1$ y ${\rm A}_2$ equidistantes de la posición intermedia de reposo ${\rm A}.$

Cuando la tapa A se mueve en el sentido de A_1 , el aire que se encuentra de ese lado, no siendo un cuerpo rígido, no avanza simultáneamente en todo el largo del tubo, sino que la capa inmediata adherente a la tapa es comprimida y a su vez comprime a la siguiente y así sucesivamente hasta llegar a B, donde el aire se encuentra aún a la presión normal, pero en ese instante A retrocede hacia A_2 y la compresión de aire cesa convirtiéndose en rarefacción o dilatación. El movimiento de la tapa desde A_2 hasta A_1 y viceversa representa una oscilación completa y por lo tanto una onda constituída de dos mitades: una semionda condensada y una semionda dilatada.

Si consideramos que en B, C, D, etc., acontezca esto alternativamente, resultan alternados igualmente los efectos, o sea la producción de semiondas dilatadas o condensadas o sea vibraciones de la lámina que el oído colocado en el extremo del tubo alcanzaría a percibir como sensación de sonido.

Cuando la surgente sonora se encuentra rodeada de un medio homogéneo, como acontece ordinariamente, los impulsos de sus vibraciones determinan com-

presiones y dilataciones, de ese medio, en todas direcciones, de tal modo que podríamos representar cualquier onda siguiendo la dirección de cualquier radio (fig. 208).

Denominamos radio sonoro a la línea según la cual se propaga el movimiento vibratorio trasmitiéndose de molécula a molécula del medio considerado.

En el caso del tubo (pág. 216) resultan radios sonoros todas las rectas paralelas a ellas; en un medio homogéneo circundante de una surgente sonora son radios sonoros todas las semirrectas que emanen de la misma.

Como consecuencia de estas definiciones, los radios sonoros son siempre normales a las superficies de onda que atraviesan.

Superposición de ondas: onda resultante. — Si dos piedras caen al agua, al mismo tiempo, a cierta distancia una de otra, producen ondas que acaban por confundirse.

Semejantemente, si en un mismo medio se propagan dos grupos de ondas, se alcanzan y se entremezclan.



FIG. 208. — Ondas y radios sonoros.

Considerado el movimiento oscilatorio de las moléculas, las habrá que, accionadas simultáneamente en el mismo sentido por ambas ondas, se alejarán más de su posición de equilibrio aumentando la amplitud de sus oscilaciones; otras, accionadas en sentidos contrarios disminuirán esa amplitud que podrá llegar a anularse.

Vamos a considerar los casos posibles:

1º Ondas de igual amplitud y longitud, se mueven en el mismo sentido y el origen de una corresponde exactamente, en distancia, a una longitud de onda.

La onda resultante es de amplitud doble (fig. 209).

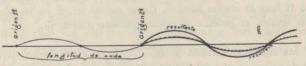
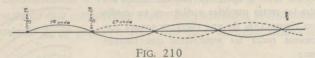


FIG. 209. - Resultante de ondas.

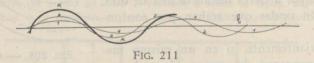
2º Ondas de igual amplitud y longitud, se mueven en el mismo sentido y el origen de una de ellas corresponde en distancia a la mitad de una longitud de onda.

Se anulan (fig. 210).



3º Dos ondas cualesquiera se mueven en el mismo sentido.

Las amplitudes de onda se suman o se restan y la onda resultante difiere en amplitud y longitud de las componentes (fig. 211).



4º Dos ondas de igual amplitud y longitud que se mueven en sentido contrario.

Sean las ondas I que va hacia la derecha y II hacia la izquierda (fig. 211) y que se encuentran en el punto A.

- 1) Cuando la I llega hasta a, la II llega hasta a' viniendo en sentido contrario. A partir de estos puntos ambas se superponen y originan media onda de doble amplitud (línea 1).
- 2) Las ondas han avanzado ¼ de longitud de onda y cuando la I llega a b la II hace lo mismo hasta b, como ambas ondas son de sentido contrario se produce el reposo en toda la parte comprendida entre b y b' (línea 2).
- 3) Producido el avance de otro ¼ de longitud para ambas, cuando la I llega a c' la II ha llegado a c. En todo el recorrido de c hasta c' ambas actúan igualmente y producen ondas de doble amplitud (línea 3).
- 4) Ambas ondas han avanzado otro $\frac{1}{4}$ de longitud y cuando la I llega hasta d' la II hace lo mismo hasta d. Como ambas actúan en sentido contrario, con fuerzas iguales, se produce el reposo absoluto (línea 4).

En las siguientes línea 5, 6, 7 y 8, se consideran otros cuatro instantes de avances de ambas cada $\frac{1}{4}$ T y cada $\frac{1}{4}$ long. y se observa

que alternan las ondas de doble amplitud con los reposos causados por la interferencia. La onda resultante (línea 4, 6, 8), en estos

momentos de reposo por interferencia de ondas, se denomina onda estacionaria.

De la observación de la figura 212 se destaca que existen puntos n donde las moléculas permanecen inmóviles; se denominan nodos. Entre los nodos se encuentra una serie de puntos v donde las moléculas pasan alternativamente del reposo al movimiento; se llaman vientres.

Propagación del sonido; velocidad de propagación en los distintos medios. — Hemos dicho que un sonido se hace sensible cuando entre la surgente sonora y

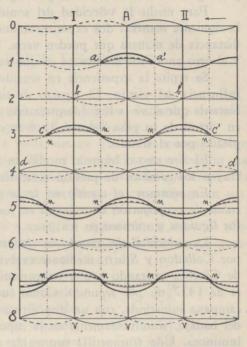


FIG. 212

el oído existe una sucesión de medios materiales. Se comprueba esto haciendo sonar un timbre debajo de una campana de vidrio en comunicación con la máquina neumática.

Se observa que la intensidad del sonido decrece a medida que se extrae el aire, siendo posible dejar de percibirlo cuando el enrarecimiento de éste sea suficientemente elevado.

El aire, el agua, la tierra, son conductores del sonido. Debemos admitir que los elementos mencionados son elásticos en mayor o menor grado; de aquí la menor o mayor facilidad de transmisión del sonido a través de los mismos. En el aire el sonido se propaga mediante ondas longitudinales y su velocidad depende de la temperatura (a 16° es igual a 340,8 m. por segundo: a 0° de 331 m. por segundo).

Para medir la velocidad del sonido en el aire se procedió de la siguiente manera: dos experimentadores, A y B se sitúan a cierta distancia de manera que pueden verse. El primero hace un disparo y el otro anota los momentos en que ve la luz y oye la detonación.

Se repite la experiencia en sentido contrario para eliminar la influencia del viento. El espacio de tiempo comprendido entre el instante que se ve la luz (despreciando el tiempo empleado por ésta en virtud de su gran velocidad) y se oye la detonación, es el empleado por el sonido.

El aire seco o húmedo modifican la velocidad, igualmente influyen los cambios de presión atmosférica.

En resumen: el sonido no se propaga en el vacío y la velocidad de propagación es máxima en los cuerpos sólidos, menor en los líquidos y mínima en los gases.

La velocidad del sonido en el agua fué determinada en 1827 por Colladon y Sturn, mediante experiencias efectuadas en el lago de Ginebra operando a una temperatura de 8° y encontraron que es de 1437 m. por segundo. Como cuerpo sonoro emplearon una campana sumergida, con un dispositivo que al producirse el choque del badajo, simultáneamente en la superficie se efectuaba una señal luminosa. Una trompetilla sumergida a igual profundidad que la campana, recubierta con una membrana, permitía al experimentador recibir el sonido.

En los sólidos el sonido se propaga con mayor velocidad que en los líquidos. Werthein, trabajando a 20° de temperatura determinó los valores siguientes:

Hierro		1007	4				1	5127.3	m/seg.
Acero	4	×	14	8	481		Fig.	4985.6	,,
Cobre		100	1	200		,	1	3555.8	**
Plata			*			16	**1	2707.0	**
Platino	*			(4)	To		sk.	2686.8	,,
Oro .						18	-	1742.5	china ce
Plomo								1228:3	

C) REFLEXION DEL SONIDO

Cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo, el sonido regresa; decimos que se ha producido la reflexión.

Esto sucede porque la onda sonora que se ha propagado en un determinado medio elástico, llega a la superficie de separación con otro medio más o menos denso que el primero, lo que origina la formación de otra onda de igual frecuencia que se propaga en sentido contrario.

Supongamos que M N (fig. 213) represente un muro de obstáculo y que la surgente sonora se encuentre en S. Las ondas gene-

radas en S se propagan en forma continua y regular alrededor de la surgente sonora, pero las que llegan al obstáculo, chocan y generan otro sistema de *ondas reflejadas* que tienen aparente surgente con S' simétricamente a S con respecto al plano MN.

Consideremos un radio sonoro cualquiera (S, A) que llamaremos radio incidente que se refleja según el radio reflejado (A, O). La perpendicular A, P al plano MN recibe el nombre de normal, y los ángulos formados se denominan ángulo incidente (i) y ángulo de reflexión (r) siendo ambos exactamente iguales, la prolongación del radio

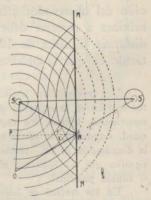


FIG. 213. — Ondas reflejadas.

reflejado encuentra al punto S' simétrico al S.

Ahora bien. Supongamos que en S se produzca un golpe; el

oído colocado en O lo percibe directamente según la dirección S O y de inmediato, otro sonido igual, que proviene aparentemente de S', vale decir, se perciben dos sonidos que aparentan ser producidos contemporáneamente en las surgentes sonoras S y S' pero que se oyen separadamente porque se reciben en tiempos diversos.

Resonancia y eco. — Decimos que hay resonancia cuando un sonido parece prolongarse, o sea, que otro sonido semejante pareciera ser prolongación del primero. Si el segundo sonido es distinguido más claramente aparentando ser independiente del primero, se dice que hay eco. Resonancia y eco son casoe de reflexión del sonido, siendo cuestión de tiempo y distancia que se produzca uno u otro.

Así, cuando la percepción del sonido directo y la del sonido reflejado se efectúa en menos de $^1/_{10}$ de segundo de tiempo, para el observador resulta ser el segundo una prolongación del primero, pero si el intervalo entre los dos sonidos es de más de $^1/_{10}$ de segundo entonces se distinguen mejor, y el segundo, más nítido, constituye un eco del sonido primero.

Para que el tiempo que tarda la onda sonora en regresar al oído del observador alcance a ser de $^1/_{10}$ de segundo, la distancia mínima a recorrer debe ser de 34 metros, o sea, que medie una distancia mínima de 17 metros entre la fuente sonora y el obstáculo en que se produce la reflexión.

Las trompetillas, bocinas, estetoscopos, megáfonos, etc., son todos aparatos basados en la reflexión del sonido. En las aulas, salones de actos y salas de espectáculos, iglesias, los arquitectos cuidan las condiciones de acústica o sonoridad, estudiando la distribución de las aberturas, la forma de las bóvedas, y la distribución de los ornamentos, de tal modo que la audición sea clara, lo que significa que no haya eco ni sonidos reflejados cuya superposición "empastan" el sonido principal.

En los teatros de lírica abundan los cortinados de felpa que anulan la reflexión, y en las salas de trasmisión o "estudios" de radio se alfombran los pisos y se colocan dobles paredes y techos afelpados.

D) VIBRACIONES

Vibraciones del diapasón, tubos y cuerdas. — Resonancia

El diapasón cuya construcción ya hemos descrito (pág. 206) presenta la ventaja que muy difícilmente se subdividen sus varillas al vibrar por lo que, no produciendo sonidos armónicos, el emitido resulta muy puro.

Cuando el diapasón vibra, las dos ramas se mueven simultá-

neamente hacia afuera y hacia adentro y como consecuencia, provocan una segunda oscilación del pie, en sentido longitudinal (fig. 214), que es recogida por la caja y reforzada por resonancia (1).

Como los sonidos emitidos por el diapasón son muy puros, se usa este aparato para producir notas determinadas, que se consiguen variando la longitud y el grueso de las ramas.

La nota adoptada para el diapasón es el la.

FIG. 214. — Vibración longitu-

dinal.

El gobierno francés, en 1859, fijó para el diapasón tipo o diagrama normal 435 oscilaciones por segundo, vale decir 870 oscilaciones simples, y el así construído y controlado, fué depositado

junto al metro patrón. En 1885, por disposición de la conferencia internacional reunida en Viena,

el diapasón fué adoptado universalmente para uniformar la afinación de los instrumentos musicales.

⁽¹⁾ Ver más adelante.

Vibración en los tubos. — Los tubos sonoros, construídos en madera o metal, de sección rectangular o circular, de paredes pulimentadas, con una extremidad cerrada o abierta y la otra, convenientemente adaptada, para permitir hacer llegar al mismo una corriente de aire, son instrumentos destinados a producir sonido por la vibración del aire que pasa alternadamente hacia afuera o hacia adentro. Son de dos clases: de boca y de lengüeta.

Tubos de boca. — Pertenecen a esta clase los tubos de órganos y las flautas. Se denominan así porque producen el sonido

por medio de una abertura lateral o boca provista de dos labios.

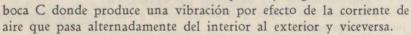
Las partes a considerar en un tubo de boca (fig. 215) son:

el pie (A) que sirve para adaptarlo a la mesa fuelle o productor de aire;

la cámara de aire (B);

la boca (C) limitada por dos labios l y l; la cámara (D) que contiene la columna de aire vibrante.

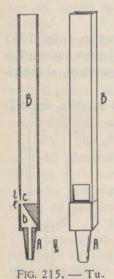
El funcionamiento es el siguiente: el aire producido por el fuelle llega por el pie A a la cámara B y sale a presión por la boca C, formando una lámina elástica de aire. Una parte del aire, choca con el labio superior l y forma una compresión en la parte inferior del tubo D que se propaga hacia arriba, choca y se refleja en el extremo superior y llega de vuelta a la



Las ondas directas y las reflejadas originan una interferencia que produce ondas estacionarias.

Cuando el tubo es cerrado, en el extremo superior se produce un nodo y en la boca un vientre.

Si el tubo es abierto el fenómeno que se produce es el mismo,



bo sonoro.

pero entonces, en lugar de formarse un nodo arriba y un vientre abajo, se forman dos vientres —uno arriba y otro abajo— y un

nodo al medio, resultando entonces — oscilaciones por segundo,

vale decir, que la frecuencia es la mitad de la correspondiente al cerrado; en otra forma, el sonido fundamental de un tubo cerrado es el mismo que el de un tubo abierto cuyo largo sea el doble.

Las diversas notas se obtienen con tubos de distinta longitud.

Tubos de lengüeta. — Corresponde a este tipo el corno, trombón, pistón, clarín, clarinete, filarmónica, bandoneón, etc.

Llámanse así porque la vibración se obtiene por una laminilla elástica de metal denominada lengüeta (fig. 216), cuya longitud puede ser variada a voluntad. La lengüeta puede ser libre o batiente, según que no apoye en los bordes de la abertura o se aplique a los mismos (figs. 217 y 218).

Cuando se sopla, el aire empuja a la lengüeta y la hace vibrar, lo que a su vez hace vibrar el aire del tubo, al cerrar y abrir alternativamente su paso al exterior.

El modo de funcionar de una lengüeta es güeta regulaanálogo al de una placa o una varilla y por lo tanto sujeta a la misma ley: el número de vibraciones es directa-



FIG. 216. — Tubo de lengüeta regulable.

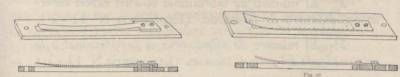


FIG. 217. — Lengüeta libre.

FIG. 218. -- Lengüeta batiente.

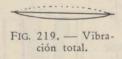
mente proporcional al grueso e inversamente proporcional a la longitud.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 15.

Cuerdas. — Las cuerdas son hilos metálicos, desnudos o forrados (1) o de tripa retorcida (2) como las empleadas en el contrabajo, violoncelo, violín, etc., fijas en sus extremos y mantenidas a gran tensión por medio de una clavija.

Para que una cuerda pueda vibrar es indispensable una fuerza exterior que la separe de su posición de equilibrio y que soltándola de pronto, provoque la vibración que produce el sonido.

El sonido resulta prolongado cuando la fuerza exterior también lo es, como sucede con el arco del violín (3).



Toda cuerda sostenida únicamente en sus extremos vibra en toda su longitud (fig. 219) dando un sonido fundamental que es el más bajo que se puede producir.

Diversos factores influyen en la modificación de la altura del sonido producido por una cuerda y para estudiarlas se hace uso del sonómetro (fig. 220) que es una caja sonora en la cual pueden colocarse cuerdas en distintas condiciones de tensión.

Las leyes de vibración de las cuerdas son cuatro, a saber:

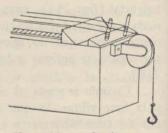


FIG. 220. - Sonómetro.

- 1° El número de vibraciones de una cuerda está en razón inversa de su longitud. (Experiencia N° 12 1°).
- 2° El número de vibraciones está en razón inversa del diámetro de la cuerda. (Experiencia N° 12 2°).
- 3ª El número de vibraciones es proporcional a la raiz cuadrada del peso de tensión. (Experiencia Nº 12 3º)

1) Cuerdas de guitarra, de piano, arpa.

(3) Se emplea resina que adhiriéndose produce una continuidad de "saltadas".

⁽²⁾ Se fabrican empleando intestinos de cordero y de gato, retorciéndolos con diversas tensiones antes de secarlos en cuadros especiales, transportables.

4ª El número de vibraciones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad de la substancia constituyente de la cuerda. (Experiencia Nº 12 - 4º)

Resonancia. — Se da el nombre de resonancia, a la propiedad de algunos cuerpos de sonar cuando en su cercanía se produce el mismo sonido que son capaces de producir.

Supongamos estar observando dos chicos que juegan en un columpio y a uno de ellos, sentado, dispuesto a que el compañero lo impulse. El chico sentado está representando un péndulo capaz de adquirir movimiento oscilatorio. Cuando el compañero lo impulsa, se observa que hace gran esfuerzo, pero la amplitud de la oscilación es relativamente poca. Cuando el chico sentado ha regresado donde se encuentra el compañero, acaba de cumplir un período de oscilación completo. Si entonces recibe un nuevo impulso, éste se suma al primero y así sucesivamente hasta que la oscilación alcanza gran amplitud.

De la observación surge que el chico que impulsa calcula instintivamente cuándo debe ejercer acción para obtener rendimiento, o sea recibe con sus manos al compañero sin impedir el movimiento hacia él y vuelve a empujarlo en el mismo instante que inicia el movimiento contrario.

Si a un sistema que oscila se le comunican impulsos del mismo sentido cuyos períodos correspondan, los impulsos se añaden, pero si éstos no tienen el mismo período que las oscilaciones, obran distintamente, unas veces en el mismo sentido y otras en sentido contrario, sumando los efectos algunas veces y destruyéndolos otras.

Algo semejante sucede con el impulso vibratorio de una cuerda con respecto a otra afinada para emitir la misma nota. La primera cuerda al oscilar produce compresiones y depresiones que llegan y chocan con la otra, comunicándole un pequeño impulso; por su elasticidad vuelve esta última atrás y en el instante en que comienza el movimiento contrario llega una nueva compresión o nuevo impulso que se suma y aumenta su amplitud de oscilación; así, un tercero, un cuarto, etc. hasta que llega el momento que si se detiene la primera cuerda, la segunda sigue oscilando. (Ver experimentación Nº 12).

Todo lo expresado, no sucede cuando las cuerdas no tienen igual duración de sus oscilaciones.

Los resonadores son aparatos que sirven para analizar los sonidos. Los construídos por Helmholtz (fig. 221) son globos de latón, huecos, de dimensiones adaptadas a distintas frecuencias de tal modo que resultan capaces de reforzar todas las notas de la gama musical.



FIG. 221. — Resonadores de Helmholtz.

Todo resonador tiene dos aberturas, una de ellas cilíndrica y otra cónica para ser adaptada al oído, correspondientes ambas, a los extremos de un mismo diámetro. El sonido que penetra por la abertura cilíndrica no es escuchado por el experimentador



FIG. 222. — Resonadores de Koening.

sino es el que corresponde al resonador, caso contrario, es percibido por débil que sea.

Para terminar, diremos que los resonadores refuerzan no solamente al sonido fundamental sino también a los armónicos que le acompañan.

E) NOCIONES DE ACUSTICA MUSICAL

Música es el arte de combinar los sonidos de tal manera que resulten agradables al oído.

La percepción simultánea o sucesiva de dos sonidos, producen una impresión que no depende de la altura de los mismos sino del intervalo con que se producen. Denomínase intervalo, a la relación entre el número de vibraciones por segundo, o lo que es igual a la relación entre las correspondientes frecuencias.

Cuanto más simple sea la relación, más agradable resulta al oído. Los sonidos pueden ser emitidos en forma sucesiva, constituyendo en tal caso una melodía, base de todos los cantos y músicas populares y tema de toda composición musical seria, o en forma eimultánea originando un acorde. El acorde más sencillo es aquel que corresponde a sonidos de idéntico número de vibraciones. Asíllamando 1, al número de vibraciones se establecería la relación:

 $\frac{1}{1}$ = 1 por lo que se dice que los sonidos están al unisono.

Después del unísono, a cada uno de los sonidos se ha dado un nombre, que según los intervalos son:

Intervalos:
$$\frac{1}{1}$$
, $\frac{9}{8}$, $\frac{5}{4}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{3}$, $\frac{15}{8}$, $\frac{2}{1}$

Nombre: unísono 2^{3} 3^{3} 4^{3} 5^{3} 6^{4} 7^{3} 8^{3}

Sonido: do re mi fa sol la si do

El conjunto de intervalos ordenados de menor a mayor constituyen la gama o escala diatónica mayor.

Los acordes pueden ser consonantes y disonantes. Son consonantes, los correspondientes a octava 2/1, tercera mayor 5/4 y quinta 3/2; los de segunda 9/8; cuarta 4/3, sexta 5/3 y séptima 15/8 son disonantes.

Intervalos y tonos. — Hemos dicho que el intervalo es la relación que existe entre las correspondientes frecuencias. Más claramente podemos decir que es el cuociente que resulta de dividir el número de vibraciones de una nota por el número correspondiente a las vibraciones de otra nota. De acuerdo a esto es posible averiguar el intervalo entre dos notas consecutivas estableciendo la relación entre las fracciones correspondientes. Así:

Entre
$$do - re = \frac{9}{8}$$
 : $1 = \frac{9}{9}$ (Tono mayor)

,, $re - mi = \frac{5}{4}$: $\frac{9}{8} = \frac{10}{9}$ (Tono menor)

,, $mi - fa = \frac{4}{3}$: $\frac{5}{4} = \frac{16}{15}$ Semitono mayor

,, $fa - sol = \frac{3}{2}$: $\frac{4}{3} = \frac{9}{8}$ (Tono mayor)

,, $sol - la = \frac{5}{3}$: $\frac{3}{2} = \frac{10}{9}$ (Tono menor)

,, $sol - la = \frac{5}{3}$: $\frac{3}{2} = \frac{10}{9}$ (Tono menor)

,, $la - si = \frac{15}{8}$: $\frac{5}{3} = \frac{9}{8}$ (Tono mayor)

,, $si - do = 2$: $\frac{15}{8} = \frac{16}{15}$ Semitono mayor

Se observa que aparecen tres fracciones o intervalos que se distinguen con los nombres de tono mayor $\frac{9}{8}$; tono menor $\frac{10}{9}$;

semitono mayor $\frac{15}{16}$.

ESCALA TEMPLADA. — La escala musical a la cual acabamos de referirnos se llama también escala natural pero no es la usada por los músicos por razones que aquí no hemos de considerar.



FIG. 223. - Teclado de piano.



FIG. 224. — Notas y número de frecuencias.

En música se emplea la escala templada (1) en la cual, el intervalo de octava se halla dividido en 12 semitonos iguales, por consiguiente, a $\sqrt[12]{2}$. En la escala templada, un teclado de piano (fig. 223) entre una tecla corres-

Se acostumbra a decir templada, pero lo corriente es decir temperada.

pondientes a una nota (1) y aquella correspondiente a una octava, hay 12 teclas intermedias entre blancas y negras, subiendo o descendiendo en el tono, pasando de una tecla a otra. Las teclas negras representan el sostenido de la nota precedente y el bemol de la siguiente.

RESUMEN

- Sonido es la sensación particular que experimentamos por nuestro órgano auditivo: el oído. Se debe a un movimiento periódico o vibratorio. Se propagan, estos movimientos oscilatorios, continuos y regulares, en ondas sonoras.
- 2. Amplitud del movimiento vibratorio es la distancia comprendida entre la posición de equilibrio y la de máximo apartamiento. Período, el tiempo empleado en efectuar una oscilación completa y frecuencia, el número de oscilaciones completas efectuadas en la unidad de tiempo.
- 3. La intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones del cuerpo sonoro. La altura depende de la frecuencia del movimiento vibratorio, o sea, del número de vibraciones efectuadas en la unidad de tiempo.

El timbre es la cualidad del sonido que permite distinguirlo de otros productos por instrumentos distintos.

- 4. Ondas transversales son aquellas que se producen cuando las vibraciones del medio son perpendiculares a la propagación del movimiento. Cuando las ondas se producen en la misma dirección en que se propaga el movimiento son ondas longitudinales.
- 5. La longitud de onda debe ser considerada para las ondas transversales y para las longitudinales. Definimos como longitud de onda al espacio que comprende todas las moléculas influenciadas por el movimiento de la primera, mientras ésta cumple una oscilación entera.

Para las ondas longitudinales debºremos considerar una semionda condensada y una semionda dilatada.

6. Deben ser estudiados varios casos de superposición de ondas y las ondas resultantes para cada uno:

⁽¹⁾ Las letras indican las notas de acuerdo a la notación alemana. Damos aquí su equivalencia con la notación usual, indicando a la vez su frecuencia.

- 1º Ondas de igual amplitud y longitud, se mueven en el mismo sentido y el origen de una corresponde exactamente en distancia a una longitud de onda. LA ONDA RESULTANTE ES DE AMPLITUD DOBLE.
 - 2º El mismo caso anterior pero el origen de una de ellas corresponde en distancia a la mitad de una longitud de onda: SE ANULAN.
 - 3º Dos ondas cualquiera se mueven en el mismo sentido: LAS AMPLITUDES SE SUMAN O SE RESTAN Y LA ONDA RESULTANTE DIFIERE EN AMPLITUD Y LONGITUD DE LOS COMPONENTES.
 - 4º Dos ondas de igual amplitud y longitud se mueven en sentido contrario: VARIOS CASOS.
- 7. El sonido no se propaga en el vacío y la velocidad de propagación es máxima en los cuerpos sólidos, menor en los tejidos y mínima en los gases. En el aire la velocidad es de 331 metros por segundo, en el agua 1437 y en los sólidos varía para cada uno.
- 8. Cuando las ondas sonoras chocan con un obstáculo, el sonido regresa: decimos que se ha producido la reflexión. La resonancia y el eco son casos de reflexión del sonido, siendo cuestión de tiempo y distancia que se produzca uno u otro.
 - 9. Los tubos sonoros son instrumentos destinados a producir sonido por la vibración del aire que pasa alternadamente hacia afuera o hacia adentro. Son de dos clases: de boca y de lengüeta.
- 10. Las cuerdas son hilos metálicos, etc.; puestos en tensión vibran al softarlos después de haberlas separado de su posición de equilibrio. Hay cuatro leyes de vibración de las cuerdas.
- 11. Se da el nombre de resonancia a la propiedad de algunos cuerpos de sonar cuando en su cercanía se produce el mismo sonido que son capaces de producir.

PROBLEMAS

Una cuerda de 1 m. de largo da la nota Do_2 . ¿Dónde hay que poner el puente para que dé la nota La_4 ?

—Una cuerda de 0.5 mm. de diámetro que está tendida por una fuerza de 9 kilos da la nota Fa_2 que hace 174 oscilaciones por segundo. ¿Qué diámetro deberá tener la cuerda que dé la nota Do_3 ? ¿Que tensión habrá que aplicarles para que la nota sea la_3 ?

—Acortando 10 cm. una cuerda da la nota Mi_3 , y si le acorta otros 2,5 cm. da la nota Fa_3 . ¿Qué largo tiene la cuerda y que sonida da?

(Ziegler)

- —Una cuerda de 48 cm de largo da la nota Mi_3 . ¿Cuánto habrá que acortarla para que con la misma tensión dé la nota La_3 ?
 - —Una cuerda tensa con 25 kilos da la tercera mayor ¿Cuál será el peso que habría que emplear para obtener la tercera menor?
 - —Dos cuerdos de igual longitud y con la misma tensión tienen, como respectivos pesos específicos 7.4 y 8.4. ¿Qué relación habrá entre sus frecuencias?
 - —Una cuerda de 80 mm. de largo y 0.3 mm. de diámetro, tienen como peso específico 0.9 y su tensión es de 9 kilos. ¿Cuál será la frecuencia del sonido que produce?
 - —¿Cuál será el peso que habrá que colocar en una cuerda de acero (P.E = 7.5) de 60 cm. de longitud y de 0.4 mm. de diámetro, para que dé la nota do_3 de 2610 vibraciones por segundo?
 - —Una cuerda de 73 cm. de longitud y un diapasón vibran al unísono. Si se acorta medio centímetro la cuerda, ambos instrumentos dan tres pulsaciones por segundo. ¿Qué frecuencia tiene el diapasón?
 - —Una cuerda de 0.5 mm. de diámetro soporta un peso de 9 kilos y da la nota Fa_2 de 174 vibraciones por segundo. ¿Cuál tendrá que ser su diámetro para que dé la nota Do_3 ? ¿Cuál tendrá que ser su tensión para que dé la nota La_2 ?
 - —¿Qué nota dará una cuerda cuya frecuencia es dos veces mayor que la de la nota C_1 (Sol_1)?

(Mahler).

CAPITULOS VI, VII, VIII

EXPERIENCIAS DE GABINETE

- Nº 7. Determinación del peso específico de sólidos y líquidos.
- Nº 8. Densidad de líquidos. Por comparación.
- Nº 9. Gráfico de volúmenes con relación al peso específico.
- Nº 10. Flotadores o areómetros. Construcción, empleo, escalas.
- Nº 11. La presión. El barómetro. Manómetro.
- Nº 12. Vibración de las cuerdas. Sonómetro. Resonancia.

EXPERIENCIA Nº 7

DETERMINACION DEL PESO ESPECIFICO DE SOLIDOS Y LIQUIDOS

a) Método de la probeta; b) Método del frasco o picnómetro; c) método de la balanza

Material: Una probeta de 500 c.c., una balanza, picnómetros, mortero, balanza hidrostática, alambre de cobre, clavos, mármol, granito, plomo, zinc, alcohol, bencina.

Manipulación: a) Método de la probeta. 1º En una probeta de 500 c.c. coloque agua hasta enrasar unos 250 c.c., deje en

reposo, lea y anote la medida justa del enrase. Por otra parte, provéase de alambre de cobre, clavos de hierro, un pedazo de mármol, un trozo de granito, etc., péselos separadamente y anote sus pesos. Ate cada una de estas substancias con un hilo de coser para poder sumergirlas, una por una, en el agua contenida en la probeta.

2º Introduzca en la probeta, separadamente, el alambre, los clavos, el mármol, etc., y observe que al sumergirlos el enrase del agua en la probeta asciende. Lea la medida indicada en el nuevo enrase y anótela. Repita la operación por cada cuerpo leyendo antes y después de la inmersión los volúmenes indicados.

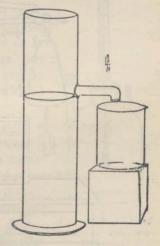
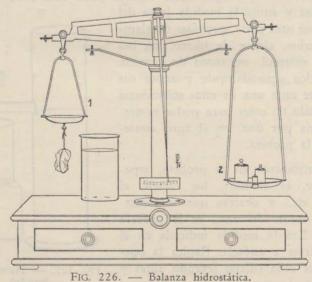


FIG. 225. — Probeta para densidad.

3º Con estos datos proceda por parte restando del volumen

mayor (cuerpo sumergido) el volumen primitivo; la diferencia le indica el volumen del cuerpo cuvo peso específico desea encontrar.

- Conocido el peso y el volumen haga el cálculo que conoce por teoría, v aplicando la fórmula: — = D obtendrá la densidad del cuerpo considerado.
- 5º Si dispone de una probeta como la de figura 225, una vez en reposo sobre la mesa, agregue agua en exceso y pierda lo que rebase por el tubo lateral. Coloque el vaso o una probeta graduada debajo de la boca de rebalse y entonces eche dentro el cuerpo cuya densidad desea determinar. El agua recogida le indicará directamente el volumen del cuerpo sumergido.
- Método de la balanza. Si dispone de balanza hidrostática suspenda el sólido, cuya densidad desea determinar, del pla-



to más corto (fig. 226 - 1); si no lo tuviera, con una lata o unas maderitas haga un puente en forma que uno de los platos se mueva libremente y que sobre ese puente sea posible apoyar el vaso sin molestar el movimiento de la balanza. Cuelgue el sólido en el medio de los dos brazos de suspensión del plato de la balanza procurando quede, aproximadamente, en la parte media.

En cualquiera de los dos casos, ponga pesas en el plato (figura 226-2) hasta alcanzar el equilibrio y anote, $P=\ldots$. Acerque el vaso de precipitación con agua y sumerja el sólido en el mismo. Una vez roto el equilibrio, (recuerde el principio de Arquímedes), según el caso, ponga pesas en el plato 1, o quítelas del plato 8, y vuelva a anotar, $P=\ldots$. Por diferencia, obtiene el volumen V del cuerpo considerado. En posesión de los datos, peso y volumen, determine por cálculo la densidad.

c) Método del picnómetro. — Al determinar densidades por el método de la probeta en la práctica anterior, lo hemos hecho

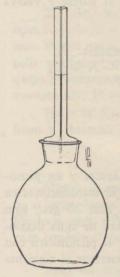


FIG. 227. — Picnómetro.

por apreciación directa de pesos y volúmenes. Utilizando el método del frasco o picnómetro, llegaremos a iguales resultados substituyendo la defectuosa exactitud de la lectura de volúmenes por una segunda pesada, con lo que alcanzamos resultados más exactos.

Los llamados frascos o picnómetros son pequeños recipientes de las más variadas formas, construídos en vidrio, de paredes delgadas. Los que a nosotros nos interesan son en forma de pequeños matracitos o botellas con tapa esmerilada, pro-

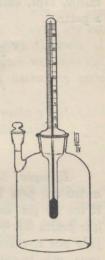


FIG. 228. — Picnómetro con termómetro.

longada por un tubo capilar o vástago (fig. 227), sobre el que marca úna línea que indica el enrase fijo correspondiente a un vo-

lumen determinado. Los hay con termómetro (fig. 228) y sin él, de boca angosta o ancha, según se les destine a líquidos o a sólidos.

1º Determinación con picnómetro del P. E. de sólidos: Si el sólido está ya pulverizado pese con exactitud unos gramos del mismo, de lo contrario redúzcalo a trozos pequeños haciendo uso del mortero. Proceda luego como en la operación anterior y anote:

Peso de la substancia: P
,, ,, picnómetro vacío: p
,, del picnómetro lleno de agua: A

Coloque la substancia previamente pesada, en el picnómetro lleno de agua. Desalojará un volumen equivalente. Seque rápidamente, tape, cuide la coincidencia del nivel con el enrase y vuelva a pesar.

Peso del picnómetro con la substancia: P_1 Substancia en el agua pesa: P_1 — $A = P_2$ Agua desalojada: P — P_2 = V

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

Ejemplo: Supongamos tener 20 grs. de mármol y un picnómetro que pesa 32 grs. y lleno de agua 82 grs. Si introducimos en él los 20 grs. de mármol ya no pesará 82 grs. más 20 grs., sino que pesará 82 + 20 menos el peso de la cantidad de agua desalojada por el mármol. Pesando, encontramos que el picnómetro con agua, más la substancia, pesa 94 gramos 60; hacemos el siguiente cálculo:

	del	picnómetro	con la substancia	94.60 82.—
11	de	la substancia	sumergida en agua	12.60

La substancia en el aire pesaba 20 grs. y sumergida 12.60 gramos; por lo tanto ha perdido 7.4 grs. de su peso que corresponde al peso del volumen de agua que decaloja; luego el volumen de la substancia es de 7.4 cm³. que es el dato que deseábamos conocer. Ahora, aplicando la fórmula conocida tenemos:

$$D = \frac{P}{V} = \frac{20}{7.4} = 2.7$$

Para abreviar, podemos pesar directamente el picnómetro con agua (A) y luego con la substancia (A_1) obtenemos peso de la substancia sumergida (P_1) . Conociendo el peso (P) de la misma en el aire tenemos: $P \longrightarrow P^1 = V$ volumen de la substancia encontrado por el peso del agua desalojada.

 2° Aplicación del picnómetro a la determinación del peso específico de líquidos. — Tome un picnómetro y observe que esté seco. Péselo vacío y anote: p = . Llénelo de agua destilada, tápelo, y observe que el líquido llegue hasta el enrase marcado. Séquelo exteriormente con rapidez; colóquelo en la balanza y anote nuevamente: P =

Halle la diferencia entre el peso del frasco vacío y del frasco lleno y obtendrá el peso del volumen del agua contenida:

$$P - p = A$$

Vierta el agua, pásele alcohol repetidas veces para quitarle toda el agua, luego llénelo de este líquido igualmente hasta el enrase. Péselo y anote: $P_1 =$ Efectúe igual operación que con el agua para conocer el peso de un volumen igual de alcohol:

Peso del frasco lleno de alcohol: P_1 . Peso del volumen de alcohol: $P_1 - p = A_1$.

NOTA. — Al introducir el cuerpo en el agua se forman burbujas de aire que es necesario hacer desaparecer agitando el cuerpo ya sumergido, de lo contrario el volumen hallado no sería exacto.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 16.

Divida el peso del volumen de alcohol por el peso de igual volumen de agua y obtendrá la densidad del mismo: $\frac{A_1}{A} = D$.

Ejemplo:

Peso del picnómetro vacío p=13 grs. 70 ..., ..., ..., lleno de agua P=63 grs. 70. ..., ..., ..., alcohol $P_1=53$ grs. 40. ..., volumen de agua: P-p=A, o sea 63.70-13.70=50. ..., ..., alcohol: $P_1-p=A$, o sea 53.40-13.7=39.70.

Densidad del alcohol: $\frac{A_1}{A} = D$ o sea $\frac{39.70}{50} = 0.794$

EXPERIENCIA Nº 8

DENSIDAD DE LIQUIDOS

(por comparación)

Material: Tubos de vidrio, unión de vidrio, vaso de precipitación de 250 c.c., metro, soporte, una llave de vidrio, goma de aire, bomba de aire.

Manipulación: 1º Con dos tubos de vidrio de 6 á 8 mm. de diámetro y 1 metro de largo, una unión de vidrio en T, dos vasos de precipitación de 250 c.c., y una regla graduada o un metro, disponga un conjunto como muestra la figura 229.

2º Conecte una goma de aire (de paredes resistentes) o la T de unión intercalando una pinza de Hoffmann como llave de interrupción y una el extremo con la bomba de aire para efectuar el vacío. Obture con los dedos los extremos de los tubos, que llamaremos A y B, haga funcionar la bomba de vacío y compruebe que no hay pérdi-

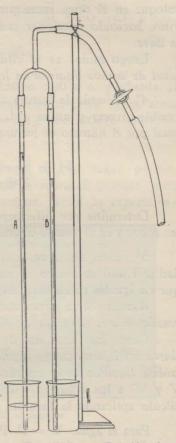


FIG. 229. — Relación de densidad y altura.

das. Vea que las dos extremidades de los tubos correspondan a un mismo plano, estando ambos bien verticales. Ratifique la comprobación echando agua en ambos vasos y haciendo funcionar la bomba. Cuando la columna asciende a 50 ó 60 cms., cierre la llave de interrupción y observe si las alturas no varían.

3º Prepare una solución concentrada de sal, otra de azúcar, procure un poco de vino y dejando el agua en uno de los vasos coloque en el otro, sucesivamente, las soluciones de sal, azúcar o vino, haciendo funcionar cada vez la bomba de agua y cerrando la llave.

Luego mida: a) la altura de las columnas; b) la altura del nivel de ambos líquidos en los vasos.

4º Efectúe la lectura tres o cuatro veces, para evitar en lo posible errores y anote cada vez el resultado dividiendo luego el total por el número de lecturas. Ejemplo:

$$54 + 55 + 55 + 55 = 219$$

 $219 \div 4 = 5475$

Determine por diferencia entre las alturas de los líquidos en los tubos y en el vaso la altura real o longitud de la columna líquida.

5º Debe ahora contestar la pregunta ¿si el agua cuya densidad es 1.000 asciende a . . cm., cuál será la densidad de un líquido que en iguales condiciones llega a una altura de . . de columna?

Razone. Si la altura akanzada es menor, el líquido será más pesado, o sea, tiene mayor densidad que el agua.

Como los tubos son de igual diámetro, quiere decir que distintos volúmenes tienen iguales pesos; en otra forma, los pesos de ambos líquidos están en razón inversa de sus volúmenes. Llame V y V' a los volúmenes de ambos líquidos que determinará por cálculo aplicando la fórmula del cilindro: π R² \times A.

Para el agua: V = P. Para el líquido: V' = P'. Ahora bien: como P = P'

$$D = \frac{P}{V} \qquad D' = \frac{P'}{V'}$$

EXPERIENCIA Nº 9

GRAFICO DE VOLUMENES CON RELACION AL PESO ESPECIFICO

Problemas aplicados

Material: Balanza, probeta de 250 o 500 c.c. graduada al ¹/₁₀ hilo de coser, papel milimetrado, regla, picnómetro, lápiz, zinc, cobre, plomo, hierro, aluminio, estaño, magnesio, azufre, mármol, granito, etc.

Manipulación: 1º Tome pesos iguales de zinc, cobre, plomo, hierro, aluminio, estaño, magnesio, azufre, mármol, granito, etc., introdúzcalos sucesivamente en una probeta, según lo experimen-

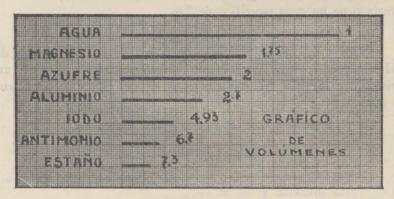


FIG. 230. — Gráfico de volúmenes.

tado en la práctica Nº 7; lea los volúmenes y trace con regla y lápiz sobre papel milimetrado, líneas de longitudes proporcionales a los volúmenes de cada substancia que corresponden a un mismo peso y obtendrá un gráfico de volúmenes.

En el gráfico encontramos resueltos los correspondientes al

agua, magnesio, azufre, etc., con sus densidades escritas al margen.

Ejercitese trazando igualmente sobre papel milimetrado el gráfico de volúmenes correspondientes a iguales pesos de:

Zinc				D	=	7	Plata .		*	36 -	D	=	10.6
Hierro	1		4	**	=	7.4	Plomo			*	**	=	11.4
Cobre				**	=	8.8	Mercurio	,			2.2	=	13.6
Niquel	*	,		2.5	=	8.9	Oro .	,	,	-	**	=	19.3
Bismuto				22	=	9.8	Platino				11	=	21.5

- 2º Controle la lectura del volumen efectuado por el método de la probeta, con el método del picnómetro.
- 3º Escriba al costado de cada línea el peso específico que le resultare.
 - 4º Proceda a la inversa resolviendo el siguiente problema:

¿Qué peso de hierro debo tomar para obtener un volumen de? (aquí la cifra que encontró u otra), sabiendo que la substancia tiene un peso específico de 7.4.

5º Resuelva por cálculo los siguientes problemas:

¿Qué longitud de alambres de hierro de sección circular de diámetro: 2, 3, 4, 5, 7 y 12 mm., deberé tomar para obtener un mismo peso de 120 grs., sabiendo que el peso específico del hierro es igual a 7.4?

Ejemplo correspondiente al alambre de 5 mm. de diámetro:

Por definición p. e.
$$=\frac{P}{V}$$

Substituyendo en la fórmula tenemos:

$$V = \frac{120}{7.4} = 16.216 \text{ cm}^3. = 16.216 \text{ mm}^3.$$

Recordemos la fórmula para hallar el volumen de un cilindro:

$$(\pi R^2) \times A = V$$
 o sea $(3.1416 \times 2.5^2) \times A = 16.216$ c.c.

$$A = \frac{16216}{3.1416 \times 6.25} = \frac{16216}{19,635} = 825$$

Respuesta: El alambre de 5 mm. de diámetro de sección, deberá tener una longitud de 825 mm. para pesar 120 grs.

¿Qué longitudes de planchuela de cobre de 1 mm. de espesor y ancho de 10.1 mm., 15.3 mm. y 25 mm., deberé tomar para que correspondan a un mismo peso de 340 grs., sabiendo que el p.e. de cobre es igual a 8.8?

Ejemplo correspondiente a una planchuela de sección 2 × 8 milímetros. Volumen del paralepípedo recto = área de base × altura o longitud.

Area de base =
$$2 \times 18 = 36 \text{ mm}^2$$
.
 $36 \times X = V$

La fórmula de densidad es:

$$D = \frac{P}{V} \text{ y para este caso } 8.8 = \frac{304}{V}$$

$$V = \frac{340}{8.8} = 38,636 \text{ cm}^3 = 38636 \text{ mm}^3$$

Planteando en la fórmula anterior:

$$36 \times X = 38636 \text{ mm}^3$$

resolviendo X

$$X = \frac{38636}{36} = 1073 \text{ mm}.$$

Respuesta: La planchuela de cobre de 2×18 mm. de sección deberá tener una longitud de 1073 mm. para pesar 340 grs.

Basándonos en estas cifras podemos plantear un problema de comprobación:

¿Cuánto pesará una planchuela de cobre de 2 × 18 mm. de base y 1073 mm. de longitud sabiendo que el p.e. del cobre es 8,8?

Tenemos:

$$2 \times 18 \times 1073 = 38628$$

Esa cifra corresponde al volumen de la planchuela en mm³. Ahora, como la fórmula conocida es:

$$D = \frac{P \cdot P}{V} \cdot \lim_{n \to \infty} A \cdot D \cdot \text{ab orden} \quad i$$

y nosotros deseamos conocer P, tenemos:

$$P = V \times D$$

o sea

$$P = 38628 \times 8.8 = 339,93$$

Respuesta: 1073 mm. de planchuela de cobre de 2×18 mm. de sección, pesan 339 grs. 93.

Un picnómetro lleno de agua pesa 99 grs. 937; lleno de alcohol pesa 90 grs. 983. ¿Cuál es el p. e. de alcohol? Fórmula general:

p. e. =
$$\frac{P' - P''}{P - P''}$$

P = peso del picnómetro con agua.

P' = ,, ,, ,, el líquido cuyo peso especí-P'' = ,, ,, vacío [fico se desea conocer.

Un picnómetro lleno con agua pesa 99.937 grs., vacío pesa 49.983. ¿Cuánto pesará lleno con un aceite cuyo p. e. es de 0.916, con ácido sulfúrico concentrado p. e. = 1.840, glicerina p. e. = 1.260, nafta p. e. = 0.717?

De la fórmula general anterior se deduce:

$$P' = p. e. (P - P'') + P''$$

¿Qué pérdida de peso experimentarán sumergidos en agua 30 gramos de mármol, de hierro, de cobre y de zinc?

¿Qué volumen de agua desalojan respectivamente? ¿Cuál es el peso específico de cada uno?

¿Qué volumen ocuparán 50 gramos de líquidos cuyos p. e. son: 1.26, 0.805, 0.750, 1.400, 1.150?

Con un compás tome sobre una regla milimetrada cada una de las cifras que le resulten o submúltiplos y trace en un papel los círculos correspondientes. Obtendrá un gráfico de volúmenes necesarios para un mismo peso.

¿Cuánto pesará una chapa de hierro de 1 m² por 2 mm. de espesor? ¿Cuánto una de cobre, zinc, aluminio, plomo y estaño? Trace sobre papel milimetrado las líneas correspondientes a las cifras encontradas y obtendrá un gráfico de pesos para los mismos volúmenes.

¿Cuánto pesará un picnómetro que lleno de agua pesa 96 grs. 583, una vez colocados en él 20 grs. de mármol p. e. = 2.7, 20 grs. de cobre p. e. = 8.8, 20 grs. de hierro p. e. = 7.4, y 20 grs. de grafito p. e. = 2.33?

Cuando se encuentre en el laboratorio resuelva cualquiera de estos problemas y compruebe prácticamente los cálculos haciendo uso de la balanza, la probeta, el picnómetro, la balanza de Mohr Westphal y la regla milimetrada.

EXPERIENCIA Nº 10

FLOTADORES O AREOMETROS

Construcción, empleo, escalas

Material: Tubos de ensayo, soplete, balanza de Mohr, probetas, papel milimetrado, compás, regla, lápiz, azúcar, éter sulfúrico, alcohol, agua destilada, mercurio.

Manipulación: 1º Tome varios tubos de ensayo, estírelos a la llama de un soplete con mariposa, manténgalos tirantes mientras se enfrían (para que no se curven).

- 2º Prepare dos o tres soluciones de distinta concentración usando la balanza de Mohr para controlarlas, y consérvelas separadamente en probetas como soluciones tipo. Las utilizará en la preparación de areómetros para líquidos más pesados que el agua.
- 3° Tome cierta cantidad de éter sulfúrico, lea la densidad en la balanza de Mohr. D = 0.720. Agregue alcohol, D = 0.805, hasta llevar la densidad a 0.750 y conserve la disolución como tipo; le servirá para preparar areómetros para líquidos más livianos que el agua cuya mínima sea 0.750.
- 4º Distribuya los tubos de ensayo ya preparados y que llamaremos cuerpos de areómetro, en las distintas soluciones y vaya cargándolos con lastre (municiones pequeñas o mercurio) valiéndose de un diminuto embudo de papel. Cuide lastrar dejando el vástago fuera de la solución cuando la densidad de ésta sea supe-

rior a la del agua y casi totalmente sumergido cuando la solución tenga una densidad menor de 1.000. Marque el sitio correspondiente al enrase, que corresponderá a la densidad de la solución tipo. Lleve el aerómetro a la probeta con agua destilada y marque el otro enrase, correspondiente a 1.000.

5º Tome un papel rectangular milimetrado, y sobre uno de sus costados, siguiendo una línea próxima a él, divida esta línea en 25 segmentos de igual longitud. Señale luego en el costado opuesto

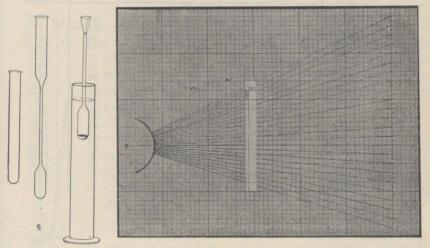


FIG. 231. — Construcción de la escala de un densímetro.

del papel un punto que unirá con las divisiones que acaba de marcar. Corte una tira de papel, marque sobre ella la distancia entre los dos enrases del areómetro correspondientes a su inmersión en las soluciones tipo 0,750 y 1,000 y aplíquela sobre el trazado de líneas en tal forma que las señales de los enrases coincidan con las dos líneas externas.

Marque con una lapicera las divisiones en correspondencia con todas las líneas que crucen y obtendrá, así, con las divisiones ya hechas, una escala para el areómetro considerado. 6º Coloque la escala así construída (¹) en el interior del vástago del areómetro, cuidando que coincidan los enrases marcados en el mismo con los extremos de la escala y fíjela con un poco de goma. Cierre a la llama la extremidad abierta.

Tabla comparativa de grados Beaumé y Densidad para líquidos más pesados que el agua

Grados Beaumé	Densidad	Grados Beaumé	Densidad	Grados Beaumé	Densidad	Grados Beaumé	Densidad
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17	1.0000 1.0068 1.0138 1.0208 1.0280 1.0353 1.0426 1.0501 1.0576 1.0653 1.0731 1.0810 1.0890 1.0972 1.1054 1.1138 1.1224 1.1310	18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35	1.1398 1.1487 1.1578 1.1670 1.1763 1.1853 1.1955 1.2053 1.2153 1.2254 1.2357 1.2462 1.2569 1.2677 1.2788 1.2901 1.3015 1.3131	36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52	1.3250 1.3370 1.3494 1.3619 1.3746 1.3876 1.4009 1.4143 1.4281 1.4421 1.4564 1.4710 1.4860 1.5012 1.5167 1.5325 1.5487 1.5652	54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70	1.5820 1.5993 1.6169 1.6349 1.6533 1.6721 1.6914 1.7111 1.7313 1.7520 1.7731 1.7948 1.8171 1.8398 1.8632 1.8871 1.9117

⁽¹⁾ Al dividir la escala en partes iguales no se ha tenido en cuenta el aumento progresivo del tamaño de las divisiones motivado por la inmersión también progresiva del vástago del areómetro, que como se comprenderá va desalojando su correspondiente volumen del líquido en que se sumerge. En la práctica de la fabricación industrial esta variación sólo se calcula cuando el diámetro del vástago pasa los 5 mm. o es para soluciones con densidades muy distantes, pues de lo contrario el error es tan pequeño, que igual puede cometerse al confeccionarse la escala o al efectuar la lectura.

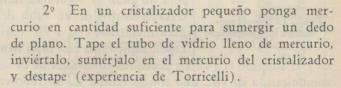
EXPERIENCIA Nº 11

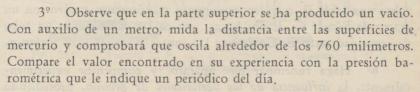
LA PRESION — EL BAROMETRO

Manómetro

Material: Un tubo de vidrio de 8 a 10 mm. de diámetro y de 1 m. de longitud, cristalizador, mechero, metro, dos buretas de 250 c.c., tubos de goma, 2 tubos de seguridad, un robinete de vidrio, un tubo de vidrio de 60 o 70 mm. de diámetro, tapones de goma, un frasco de Wolff, soportes, bomba de vacío, mercurio.

Manipulación: 1º Tome un tubo recto de vidrio de 8 a 10 mm. de diámetro y de 1 m. de largo y cierre uno de sus extremos a la llama. Deje enfriar y llene de mercurio auxiliándose con un embudito de papel.





4º Con una bureta con llave y un separador pequeño, arme un aparato como lo indica la figura 233. Tenga abierta la llave



Fig. 232. — Experiencia de Torricelli.

y llene con mercurio hasta que en ambas ramas tenga un mismo nivel (un poco más de la mitad). Levante el cuerpo b hasta que el mercurio al subir en a desaloje todo el aire. Cierre el robinete. Baje despacio b y observe. Se va produciendo un pequeño vacío

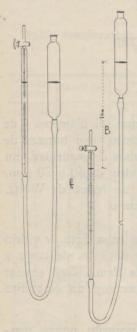


FIG. 233. — Manómetro (comprobación).

en a y el mercurio asciende imperceptiblemente en b. Cuando las superficies del mercurio en el aparato aparezcan como inmovilizadas mida la distancia entre las mismas y volverá a comprobar que es de 760 mm. con lo que demuestra que la presión ejercida sobre el mercurio en b (la atmosférica) es igual o equivalente al peso de la columna de mercurio. Compare con la experiencia de Torricelli y observará que es semejante. Antes, la superficie libre del mercurio correspondía al que se encontraba en el cristalizador, y ahora al contenido en b.

5° Arme un aparato como el indicado en la figura 234. Consta de: un tubo largo A (no menos de 800 cm.), de paredes gruesas, cerrado por uno de sus extremos y unido por el otro, mediante un tubo de goma b, a un tubo de seguridad recto y corto encerrado dentro de un tubo de vidrio D de gran diámetro (60 á 70 milímetros). El tapón superior de este tubo tiene un robinete

a, y el inferior dos tubos acodados colaterales al de seguridad, que comunican, a su vez, uno con la rama l de un tubo en U colocado sobre una tabla B, que denominaremos manómetros, y otro con un frasco de Woolf C, de dos bocas, una de las cuales recibe un tubo de seguridad recto E. Cuide que las juntas y cierres sean perfectos.

63 Haga funcionar este aparato, y compruebe experimentalmente, la influencia de las variaciones de presión, procediendo de la siguiente manera: a) Estando el tubo A suspendido en línea recta con el de seguridad al que se halla unido, llénelo de mer-

curio auxiliándose con un embudito prolongado por un tubo de vidrio. Una vez lleno levántelo pausadamente hasta alcanzar la

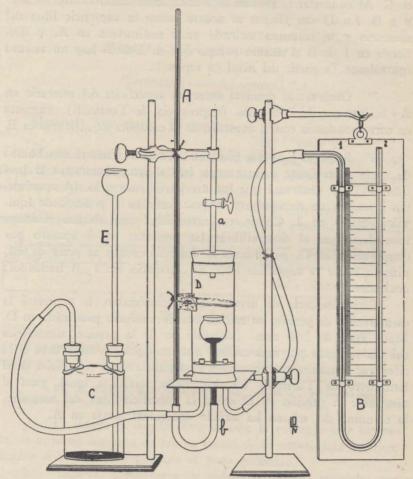


FIG. 234. — Aparato L. P. para la comprobación experimental de la presión atmosférica.

posición vertical inversa, y sujételo al soporte. (Repita la experiencia de Torricelli). b) Por la rama 2 del manómetro B ponga

mercurio hasta alcanzar una altura próxima a la mitad del mismo. c) Cierre el robinete a, y por el tubo E vierta mercurio en el frasco C. Al aumentar la presión ésta se trasmite simultáneamente a D y a B. En D sus efectos se acusan sobre la superficie libre del mercurio y la columna asciende unos milímetros en A, y desciende en 1 de B al mismo tiempo que en 2 de B hay un ascenso equivalente (a partir del nivel en reposo).

- 7º Observe: el desnivel entre las superficies del mercurio en A b, que era de 760 mm. (experiencia de Torricelli), aumenta en correspondencia con el aumento de la columna de mercurio en E.
- 8º Saque E y obture bien con un tapón. Conecte una bomba de vacío al robinete a, mantenga éste abierto, disminuya la presión en D, y observará que los niveles del mercurio del manómetro B sufren un movimiento inverso, sube en 1 y desciende equivalentemente en 2. Como esta extremidad está abierta, podemos bien decir que al desequilibrar las presiones en el aparato por disminución en D, predomina la atmosférica que se pone de manifiesto sobre la superficie libre del mercurio en 2 B haciéndola descender.

Esta diferencia de niveles en el manómetro, le expresará la disminución de presión en milímetros de mercurio producida en D. Mida, reste de 760 mm. (normal), o de la presión atmosférica del día indicada por una oficina meteorológica, y compruebe si la cifra que le resulta corresponde a la distancia entre superficies en el barómetro de Torricelli (A - b). Debe resultarle igual, pues al disminuir la presión en D sobre la superficie libre del mercurio, la columna del mismo ha bajado equivalentemente en A.

EXPERIENCIA Nº 12

VIBRACION DE LAS CUERDAS

Sonómetro. — Resonancia

Material: Sonómetro. Diapasones.

Manipulación: 1º a) Con la llave del sonómetro (fig. 235) tienda las dos cuerdas regulables hasta que vibrando libremente en toda su longitud se encuentren al unísono.

b) Coloque el caballete móvil en medio de las cuerdas y hágalas vibrar. Compare el sonido producido y percibirá claramen-

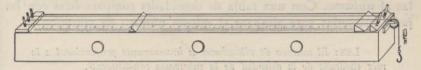


FIG. 235. - Sonómetro.

te que es más agudo. Es la octava aguda del primer sonido, lo que significa que el número de vibraciones es el doble.

LEY: El número de vibraciones de una cuerda está en razón inversa de su longitud.

- 2º a) Ponga la cuerda cuya tensión la consigue por los pesos, al unísono con una de las ya tensas de la experiencia anterior, observe si son iguales y anote el peso necesario.
- b) Sáquela, ponga otra de diámetro doble, tiéndala con igual número de pesos, o sea con igual tensión; hágala sonar y percibirá la octava grave del sonido de la primera cuerda.

LEY: El número de vibraciones está en razón inversa del diámetro de la cuerda.

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 17.

- 3º a) Ponga una cuerda móvil del mismo diámetro que la fija y con las pesas dele la tensión necesaria para ponerla al unísono con la cuerda fija.
- b) Cuadruplique la tensión de la cuerda móvil, hágala vibrar y percibirá, como en el primer caso, el sonido correspondiente a la octava aguda, lo que significa que el número de vibraciones es doble.

LEY: El número de vibraciones es proporcional a la raíz cuadrada del peso de tensión.

- 4º a) Cambie la cuerda móvil por cuerdas de igual diámetro pero de diversas substancias (cobre, bronce, etc.) y en cada caso procure darles igual tensión con las pesas. Hágalas sonar y percibirá que el sonido que producen varía con la naturaleza de la cuerda.
- b) Con las pesas alcance las tensiones necesarias para ponerlas al unísono. Con una tabla de densidades compare éstas con las pesas necesarias para alcanzar el mismo número de vibraciones.

LEY: El número de vibraciones es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad de la substancia constituyente,

RESONANCIA. — a) Ponga al unísono las dos cuerdas fijas del sonómetro y retire la móvil. Haga vibrar una de ellas repetidas veces en forma continuada y en determinado momento enmudézcala apoyando la mano. En el mismo instante acerque el oído a la otra y percibirá el sonido suave producido por encontrarse vibrando.

b) Repita la experiencia con dos diapasones de igual tono colocados paralelamente. Haga sonar repetidamente uno de ellos y acállelo.

Perciba el sonido emitido por el otro que se encuentra vibrando por resonancia.

PARTE CUARTA

CALOR

CALORIMETRIA.

MEDIDA DEL CALOR EN CANTIDAD.

TERMOMETRIA.

MEDIDA DE LA TEMPERATURA EN GRADOS.

FUSION.

PASO DEL ESTADO SÓLIDO A LÍQUIDO.

EBULLICION.

PASO DEL ESTADO LÍQUIDO A GASEOSO.

HIGROMETRIA.

MEDIDA DE LA HUMEDAD ATMOSFÉRICA.

XOIN-

CAPITULO IX

A) NOCION DE TEMPERATURA

Termómetro de mercurio. Puntos fijos. Las tres escalas. Empleo de otras substancias termométricas. Termómetro de máxima y mínima.

La temperatura es una apreciación del calor. Así decimos que un cuerpo está caliente o está frío. Nuestra sensibilidad para el calor nos permite solamente establecer una relación de impresión, pero jamás cuantitativa; así no podemos decir por simple tacto, que un cuerpo está dos, tres, cinco, o diez veces más caliente que otro. Es tan común el errar en esta apreciación que un agua templada nos parecerá caliente si antes estábamos en contacto con agua fría o viceversa.

No podemos en realidad definir lo que es calor, pero, en virtud de los fenómenos que produce: dilatación de los cuerpos, cambios de estado, reacciones de combinación y de descomposición, es posible decir que el calor es una manifestación de energía.

La fuente principal de calor y por lo tanto de energía es el Sol.

En efecto una caldera que mueve un motor a vapor, calienta el agua y comprime su vapor por el calor de combustión de la leña. Esta leña como vegetal, al crecer, tomó su elemento de constitución del suelo y el trabajo químico lo realizó mediante la energía suministrada por el Sol. Esta energía acumu-

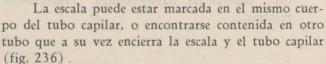
lada se transforma (1) en calor, y sucesivamente en fuerza mecánica o eléctrica, luz, etc.

Termómetros de mercurio. — Los termómetros son aparatos que nos permiten apreciar el grado de temperatura de los cuerpos. Constan fundamentalmente de un cuerpo o substancia cuya dilata-

ción mide la temperatura y de una escala que mide la dilatación sufrida

A cada variación de volumen corresponderá una temperatura leída en la escala del termómetro.

El tipo más común de termómetro consiste en un tubo capilar de vidrio, completamente cerrado en un extremo y con un ensanchamiento olivar, redondo o cilíndrico llamado *cubeta* en el otro; ensanchamiento que contiene mercurio o alcohol.



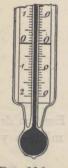


FIG. 236. — Termómetro.

1º Se utiliza el mercurio:

- a) porque es muy buen conductor del calor, de tal modo que indica rápidamente el cambio de temperatura;
- b) por ser un líquido cuyo punto o temperatura de solidificación es baja (39°) y su punto de ebullición muy alto (357°);
- c) porque no se adhiere a las paredes del tubo y el menisco formado es bien definido;
- d) porque su dilatación es grande en relación a pequeños cambios de temperatura y muy uniforme.
- 2º Se emplea alcohol en la preparación de termómetros para medir temperaturas muy bajas, en virtud de su bajo punto o temperatura de solidificación.

Citaremos además los termómetros de máxima y de mínima

⁽¹⁾ Principio de la conservación de la energía.

y los termómetros clínicos de uso médico, de los cuales nos ocuparemos más adelante.

Puntos fijos. — Se conocen bajo esta denominación los puntos extremos en el tubo del termómetro y que convencionalmente corresponden al punto de fusión del hielo (0°) y de ebullición del agua pura a la presión normal de 760 mm. (100°).

El 0º se determina colocando la oliva del termómetro dentro de hielo machacado mediante el dispositivo indicado en la experiencia número 13. Como es de suponer, el hielo se encuentra en fusión, y siendo que el cambio de estado se opera a 0º y de acuerdo

a la ley esta temperatura permanece constante mientras dura el proceso de fusión, basta dejar el termómetro sumergido hasta que la columna interior de mercurio no acuse variaciones, para estar en condiciones de marcar el enrase correspondiente a 0°.

Para determinar el enrase correspondiente a 100° se emplea el aparato que muestra la figura 261, página 324. El termómetro en construcción, se encuentra sumergido en vapor de agua en ebullición, y como sabemos que corresponde a 100° basta marcar el enrase hasta donde llega la columna de mercurio sometida a la influencia de esa temperatura.

Las tres escalas. — Hemos dicho que el punto de fusión del hielo se marca con 0° y el punto hasta donde asciende la columna de mercurio sometida a la acción del vapor de agua hirviendo a la presión normal, se marca con 100°. Esta graduación fué ideada por Celsius; por eso los grados centígrados se denominan también grados Celsius. Reamur dividió el mismo espacio en 80° y Fahrenheit en 180° vale decir que 180° C equivalen 180° F, o lo que es igual:



FIG. 237. — Las tres escalas termométricas.

a 80° R y a

En el termómetro de Fahrenheit el punto de congelación corresponde a 32° y el de ebullición del agua a 212°; por esta causa al convertir Co o Ro a Fo se suma 32 y de Fo a Co o Ro se resta igual cantidad.

De aquí que la conversión de una ecala a otra, se realice de acuerdo a las siguientes fórmulas:

CENTIGRADO
A REAMUR

$$T = 96^{\circ}C$$

CENTIGRADO
A FAHRENHEIT

 $96^{\circ} \times 9.8 = 76^{\circ}8 \text{ R}$
 $96^{\circ} \times 9 = 172^{\circ}8$
 $172^{\circ} + 32^{\circ} = 204^{\circ}8 \text{ F}$

$$T = 70^{\circ}R$$

$$\begin{cases}
REAMUR & 70^{\circ} \times 1.25 = 87^{\circ}5 \text{ C} \\
REAMUR & 70^{\circ} \times 9 \\
A & 157^{\circ} + 32^{\circ} = 189^{\circ}5 \text{ F}
\end{cases}$$

$$T = 180^{\circ}F$$

$$\begin{cases}
FAHRENHEIT & 180 - 32 = 148 \\
CENTIGRADO & 148 \times 5 \\
FAHRENHEIT & 180^{\circ} - 32 = 148 \\
A & 148 \times 4 \\
REAMUR & 9 = 65^{\circ}77 \text{ R}
\end{cases}$$

Se acostumbra a escribir la cifra indicadora de la temperatura acompañada del signo + por arriba de 0°, y del signo — por debajo de 0°.

Empleo de otras substancias termométricas. — Hemos dicho que el mercurio se solidifica a —39° y hierve a 357°; esto hace que para temperaturas, por debajo o arriba de las mencionadas, sea necesario utilizar otras substancias.

El alcohol, que congela a —138° y hierve a 78°5 se emplea para temperaturas bajas, hasta —110°, pues a temperaturas inferiores comienza a ponerse viscoso.

El toluol que hierve a 110°4 y se solidifica a — 93° es utilizado igualmente para temperaturas bajas, por igual causa que la mencionada anteriormente.

Por último, el éter de petróleo cuyo punto de ebullición es de 50° a 60° y con un punto de congelación que permite su empleo para medir temperaturas hasta de — 200°.

Es de suponer que siendo las substancias distintas, lo será la correspondiente dilatabilidad para iguales variaciones de temperatura, de esto, que para graduarlo, se proceda por comparación con un termómetro de mercurio. El cero se marca procediendo igual que lo dicho para con la mezcla de hielo y agua.

Termómetros de máxima y mínima. — Son termómetros apropiados para dar a conocer la máxima y la mínima temperatura del ambiente en contacto, sin requerir la observación continua. Se usan en Meteorología.

Termómetro de máxima. — Los termómetros de máxima, de Rutherford (fig. 238), son termómetros de mercurio que tienen en la unión del tubo con el depósito un pequeño encurvamiento o estrangulación que impide a la columna de mercurio contraerse, hasta

que se hace la lectura, después de haber alcanzado su mayor temperatura. La causa reside



FIG. 238. — Termómetro de máxima.

en el hecho que ese encorvamiento corta la columna estando el termómetro horizontal y el estrechamiento hace lo mismo encontrán-

dose vertical. A esta última clase pertenece el termómetro clínico (fig. 239) cuya escala es de pequeña longitud (32° a 42°), con divisiones en décimos.

El uso de estos termómetros exige restablecer la unión de columna mercurial, lo que es posible imprimiéndole pequeñas sacudidas.

Termómetro de mínima. — Es también horizontal, pero de alcohol (fig. 240), que lleva sumergido en el líquido de la columna un *índice*, constituido por una astillita de vidrio, generalmente negro.

Cuando el alcohol se dilata pasa entre el índice y las paredes del tubo, pero si se contrae, en virtud de la tensión superficial del alcohol arrastra el índice de vidrio que queda marcando el punto más bajo a que ha llegado la temperatura. La lectura se hace en el extremo del índice opuesto a la oliva del termómetro.

Termómetro de máxima y mínima. — Es un termómetro o mejor una combinación de dos termómetros que presenta la ventaja de indicar al mismo tiempo la máxima y mínima

FIG. 239. Termómetro clínico temperatura en que puede encontrarse un lugar durante un tiempo determinado.

La mayor o menor temperatura se produce durante las horas del día o de la noche y su registro obligaría la permanencia continuada de un observador.

Un termómetro muy difundido para cumplir este objeto es el termómetro de máxima y de mínima de Rutherford.

El de la figura 240 A, es el termómetro de máxima, el cual está lleno de mercurio y dentro del mismo se encuentra un bastoncito de hierro a. Cuando la temperatura sube, empuja al bas-

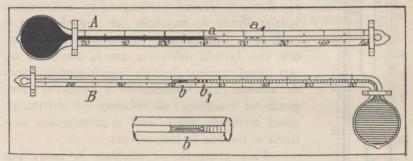


FIG. 240. — Termómetro de máxima y mínima, de Rutherford.

toncito, pero al retroceder el mercurio, el bastoncito queda inmóvil marcando la más alta temperatura alcanzada.

El termómetro B, está lleno de alcohol coloreado y dentro del mismo se halla colocado un tubito de vidrio b, cerrado en ambos extremos. Al bajar la temperatura, el tubito liviano de vidrio es arrastrado por adherencia al menisco de alcohol, en virtud de la tensión superficial y se mantiene luego marcando la más baja temperatura alcanzada, pues en caso de subir, el alcohol pasa alrededor del tubito quedando éste en posición. Si hiciéramos una lectura de acuerdo a lo indicado por la figura 240, deberíamos leer 20° (a₁) como temperatura más alta, y 5° (b₁) como más baja.

Después de cada observación se coloca el tablero verticalmente; entonces el bastoncito de hierro cae sobre el menisco de mercurio y el tubito de vidrio asciende hasta la superficie o menisco de alcohol.

Finalmente diremos que, para que el tubito no pueda caér hasta la ampolla de alcohol, se ha hecho una curva o codo entre el vástago y la ampolla del termómetro.

El termómetro de máxima y mínima o termometrógrafo de Six y Bellani, en un aparato en que ambos termómetros se encuentran reunidos en uno solo (fig. 241).

La ampolla cilíndrica y el tubo continuo están llenos de alcohol, prolongándose en dos ramas iguales llenas de mercurio (en negro) sobre el cual, en la otra rama se encuentra también alcohol, con la sola diferencia que la ampolleta no está completamente llena de líquido sino de vapor de alcohol cuya contracción o dilatación compensa las variaciones de volumen del sistema alcohol mercurio, sin lo cual el termómetro estallaría al elevarse la temperatura.

Para graduarlo se establece la escala por comparación con un termómetro común y la temperatura se lee en ambos extremos de las columnas de mercurio.

Subiendo la temperatura, aumenta el volumen de alcohol contenido en la ampolla cilíndrica y el mercurio baja en esa rama y asciende en trozos iguales en la otra.

Para fijar la más alta y más baja temperatura durante un determinado espacio de tiempo, sirven los indicadores a y b de igual construcción. Son dos tubitos de vidrio a, cerrados en sus extre-

mos, que contienen una barrita de hierro F, encontrándose provistos de finas borlas laterales de vidrio a fin de ajustar con pequeña fricción en el tubo termométrico.

El ascenso o descenso de temperatura acusa igualmente un as-

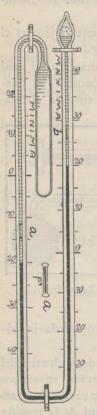


FIG. 241.—Termómetro de Six y Bellani.

censo y descenso simultáneos iguales en ambas columnas de mercurio que empuja el indicador siempre que sube, quedando éste fijo cuando se produce el descenso.

En la figura se leen 15° para la más baja tempertura y 26°

para la más alta.

Después de la lectura, se reconducen los indicadores contra los meniscos de mercurio, con auxilio de un imán.

B) DILATACION DE SOLIDOS

Coeficientes de dilatación

Todos los cuerpos se dilatan por acción del calor, en otra forma, todos los cuerpos aumentan de volumen cuando aumenta la temperatura.

Se demuestra la dilatación de los sólidos mediante el anillo de Gravesande (fig. 242). Consta de una esfera de cobre que pasa ajustadamente a través del anillo encontrándose a igual temperatura.

Cuando es previamente calentada ya no atraviesa el anillo, lo que prueba que se ha dilatado. Es ésta una dilatación cúbica, vale decir, en las tres direcciones. Siempre que nos refiramos a la dilatación de

Siempre que nos refiramos a la dilatación de un cuerpo en volumen hablamos de dilatación cúbica, pero si la apreciación la hacemos en un solo sentido, estamos refiriéndonos a dilatación lineal.

Con el pirómetro de cuadrante, se demuestra la dilatación lineal, vale decir, la dilatación en sentido horizontal.

Consiste este aparato en un soporte con dos bornes (A y B) y un tubo de gas para calentar. El borne A tiene un tornillo que permite fijar la barra de metal que se ha de calentar. El otro borne permite el deslizamiento por dilatación el que es marcado en el cuadrante (fig. 243).

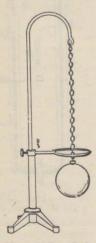


FIG. 242.—Anillo de Gravesande

C, por la aguja D (fig. 243).

En realidad, la dilatación sufrida es en las tres direcciones como en el caso anterior, pero las transversales son despreciables

en comparación con la lineal o longitudinal.

Si en este aparato cambiamos las varillas colocando de diversos metales, como ser: zinc, plata, cobre, hierro, bronce.

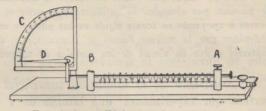


FIG. 243. — Pirómetro de cuadante.

observaremos que la aguja marca distintas dilataciones. Decimos que esto sucede en virtud del distinto coeficiente de dilatación de esos metales.

Coeficientes de dilatación. — Es la relación que existe entre el aumento de longitud, superficie o volumen, por grado de temperatura. De acuerdo a esta definición general, daremos las definiciones en particular:

Coeficiente de dilatación lineal es el aumento de longitud que experimenta una substancia de 1 cm. de largo al aumentar 1° C la temperatura.

Si designamos el coeficiente λ , el largo por l, y el aumento de temperatura por t'-t, o sea la temperatura final menos la temperatura inicial, llegaríamos a establecer para la dilatación D, la fórmula:

$$D = \lambda . l (t' - t)$$

vale decir, que la dilatación lineal se expresa por el producto de tres factores: a) coeficiente (1); b) largo primitivo; c) aumento de temperatura. Lo que nos permite decir:

(1)	COEFICIE	NTE DE DIL	ATACIÓN	LINEAL.	
Madera .		0.000003	a 9	Cobre	0.000017
Vidrio .		0.000008		Bronce (latón)	0.000019
		0.000009		Aluminio	0.000023
		0.000010		Plomo	0.000029
Hierro .		0.000012		Zinc	0.000029

Dilatación = Coeficiente por el largo por el aumento de temperatura.

Es muy importante tomar en cuenta la dilatación lineal en la construcción de puentes, por ejemplo. Si se llegara a someter el error de empotrar los extremos o apoyando en forma rígida en los pilares o muros de sostén, estos serían destruídos por la enorme fuerza de contracción o de dilatación a que se encontraría sujeto en virtud de los cambios de temperatura.

Coeficiente de la dilatación superficial es el aumento de superficie que experimenta una lámina de 1 cm². de superficie al aumentar 1° C la temperatura.

Coeficiente de dilatación cúbica es el aumento de volumen que experimenta 1 cm³. de substancia al aumentar 1°C la temperatura.

Supongamos calentar un cubo; al dilatarse por el calor seguirá siendo de forma cúbica. Si suponemos que el cubo sea de 1 cm. de arista a 0° , a 1° será de $1 + \lambda$, o sea, más su coeficiente de dilatación lineal.

Así el cubo tendrá un volumen igual:

$$(1 + \lambda)^3 = 1 + 3\lambda + 3\lambda^2 + \lambda^3$$

y el aumento de volumen de un centímetro cúbico sería, pues:

 $3 \lambda + 3 \lambda^2 + 3 \lambda^3$ que representa el verdadero coeficiente de dilatación cúbica.

Si tomáramos el caso del hierro ($\lambda=0.000012$) por lo cual λ^2 y λ^3 dan valores tan pequeños ($\lambda^2=0.00000000144$ y $\lambda^3=0.0000000000001728$) que pueden despreciarse. Esto nos permite aceptar el valor 3 λ como coeficiente de dilatación cúbica y decir:

el coeficiente de dilatación cúbica de un cuerpo sólido, es igual al triple del coeficiente de dilatación lineal.

Por ejemplo: si elevamos la temperatura de 1 cm³ en 2°, el coeficiente de dilatación cúbica sería I+3 λ . 2; si fuera t^o , I+3 λ . t. Ahora, si en

lugar de tomar 1 cm³, consideramos v_o (cm³), resultaría v_o (1 + 3 λ .t). Designando este volumen por v_t obtenemos:

$$v_t = v_o (1 + 3 \lambda.t)$$

Siendo que generalmente el volumen de un cuerpo se mide a la temperatura ordinaria, para determinar el coeficiente de dilatación cúbica se hace necesario establecer una relación de volúmenes entre la temperatura considerada y otra cualquiera.

C) DILATACION DE LIQUIDOS

Dilatación absoluta y aparente. — Caso del agua.

La dilatación de los líquidos por efecto de la temperatura es mucho mayor que la de los sólidos, vale decir, conforme a esto, que también lo serán los respectivos coeficientes de dilatación.

La condición de líquido, supone a la vez el vaso que lo contiene, siempre que se hable de dilatación, hecho por el cual, al referirnos a ellas hablando de líquidos, sólo podemos hablar de dilatación cúbica.

La dilatación de un líquido, va siempre inevitablemente ligada a la dilatación del vaso que lo contiene, de aquí que dicha dilatación sea aparente, puesto que se dilatan ambos simultáneamente.

Si pudiéramos independizarnos del vaso, la dilatación observada sería la verdadera, o dilatación absoluta.

La dilatación absoluta, es, pues, igual a la dilatación aparente, más la del vaso.

El coeficiente de dilatación se determina por el procedimiento de Dulong y Petit, que se fundamenta en la teoría de los vasos comunicantes, cuyos niveles, como es sabido, son independientes de los volúmenes. Determinó así el coeficiente Δ (delta) de dilatación absoluta del mercurio:

$\Delta = 0.0001818$

y luego, en base al mismo, el de otros líquidos (1).

⁽¹⁾ Alcohol $\Delta=$ 0.00110; éter $\Delta=$ 0.00163; aguarrás $\Delta=0.00094.$

La fórmula de dilatación de los líquidos es semejante a la de los sólidos:

$$D = \Delta . v . (t' - t)$$

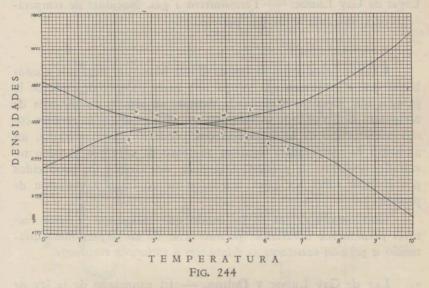
o simplemente

$$D = \Delta . v.t.$$

de donde:

$$V_t = V_0 (1 + \Delta t)$$

Caso del agua. — El agua es una excepción, pues presenta la particularidad de alcanzar su mayor densidad a 4º de temperatura.



Es esta la causa de que al estado de hielo (0°) sea más liviana y flote.

Si esto no sucediera, el agua al congelarse se iría al fondo y luego el calor de los rayos del sol no alcanzarían a volverla a su estado líquido. Por otra parte, si esto sucediera, muchas veces se haría imposible la vida en el agua.

Siendo que el agua se dilata por arriba y por debajo de los 4° de temperatura, la fórmula de dilatación a que nos hemos referido anteriormente, no rige para ella. (Véase Experiencia N° 18).

D) DILATACION DE GASES

Leyes de Gay Lussac. — Termómetro a gas. Nociones de temperatura absoluta y de gas perfecto.

Cuando estudiamos la ley de Boyle Mariotte, llegamos a establecer que el volumen que ocupa una masa gaseosa depende de la presión que soporte, considerada siempre en iguales condiciones de temperatura. En efecto; la temperatura influye sobre la presión como consecuencia de la dilatación que produce, más claramente, un aumento de temperatura significa aumento de volumen y como resultado, aumento de presión. Son pues, dos efectos los producidos por el calor sobre los gases: variación de volumen y variación de presión.

Considerado el gas de tal modo que cualquiera de estos factores permanezca invariable, permite usar de las expresiones: dilatación a presión constante o dilatación a volumen constante.

Ley de Gay Lussac y Dalton. — El enunciado de la ley de Gay Lussac y Dalton es:

Todos los gases a presión constante tienen el mismo coeficiente de dilatación térmica, siendo éste independiente de la presión que soportan.

Es fácil comprobarlo. Se arma un aparato como el indicado en la figura 244. Dejando abiertas las llaves b y c se vierte mer-

curio por D hasta desalojar completamente el aire. Se conecta al

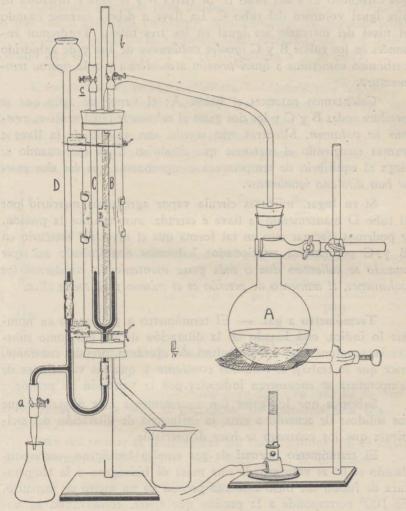


FIG. 245. — Aparato de Gay Lussac.

tubo b un aparato de Kipp productor de anhidrido carbónico Se abre entonces la llave b y simultáneamente la a recogiendo el mercurio desalojado. Procediendo muy pausadamente se llenan de gas carbónico 2/3 del tubo B. Se cierra b y se abre c llenando de aire igual volumen del tubo C. La llave a deberá cerrarse cuando el nivel del mercurio sea igual en los tres tubos. Tendremos entonces en los tubos B y C iguales volúmenes de aire y de anhidrido carbónico sometidos a igual presión atmosférica y a la misma temperatura.

Calentamos entonces el balón A; el vapor de agua que se produce rodea B y C y los dos gases al calentarse igualmente aumentan su volumen. Mientras esto sucede, con auxilio de la llave a vamos recogiendo el mercurio que desalojan hasta que cuando se llega al equilibrio de temperatura comprobamos que los dos gases se han dilatado igualmente.

Si en lugar, mientras circula vapor agregamos mercurio por el tubo D manteniendo la llave a cerrada, aumentamos la presión, y podemos efectuar esto en tal forma que el nivel del mercurio en B y C permanezca estacionado; habremos comprobado así, que cuando se calientan dos o más gases manteniendo constantes los volúmenes, el aumento de presión es el mismo para todos ellos.

Termómetro a gas. — El termómetro a gas, como su nombre lo indica, está basado en la dilatación de un gas como substancia termométrica. La dificultad de operar a presión constante, hace que se trabaje a volumen constante y que las variaciones de temperatura se encuentren indicadas por la variación de presión.

Sabemos que los gases son enormemente más dilatables que los sólidos; de acuerdo a esto, la influencia de dilatación del recipiente que los contenga se hace despreciable.

El termómetro normal de gas emplea hidrógeno, correspondiendo el 0° al volumen de una masa de hidrógeno a la temperatura de fusión del hielo con una presión de un metro de mercurio. El 100° corresponde a la presión que ejerce, conservando su volumen, cuando esa misma masa ha sido sometida a la acción del vapor de agua. La experiencia demuestra que a 100° corresponde una presión de 36.62 cm. de mercurio.

En un termómetro a gas, un grado centígrado es la variación de temperatura necesaria para producir en una masa de hidrógeno mantenida a volumen constante, una variación de presión igual a la centésima parte de la variación total sufrida entre 0° y 100°. Siendo ésta de 36 cm 62, 1° C corresponderá a 0 cm 3662.

Concepto de temperatura absoluta. — Considérase temperatura absoluta aquella referida sobre el cero absoluto. Llámase cero absoluto a la temperatura a la cual, mantenido el volumen constante de un gas, desaparece toda presión.

Si llamamos p_0 a la presión del hidrógeno a 0° y p_{100} a 100°, la presión correspondiente 1° sería:

FIG. 246. representando la magnitud $\frac{p_{100} - p_0}{100}$ el coeficiente

termométrico. Ya hemos establecido para 100° 36 cm. 62 de mercurio de acuerdo a esto, el coeficiente de referencia será igual a 0.003662.

Para determinar la temperatura del cero absoluto con la escala del termómetro de hidrógeno, basta hacer p = 0, de donde:

$$t = \frac{100 \, p_0}{p_{100} - p_0}$$

Substituyendo valores, p_0 por 100 y p_{100} — p_0 por 36,62, resulta:

$$t = -273^{\circ}$$

Como hemos dicho anteriormente que la temperatura absoluta es la considerada por arriba del cero absoluto, en la escala normal será:

$$T = t + 273$$

Concepto de gas perfecto. — Para poder considerar un gas como perfecto, debe este obedecer rigurosamente a las leyes de Gay Lussac y de Boyle Mariotte. Como no existen gases así, podemos decir que no existe gas perfecto.

RESUMEN

- Temperatura es una apreciación de calor. No es posible definir lo que es calor, pero en virtud de los fenómenos que produce, es posible decir que es una manifestación de energía.
- 2. Los termómetros son aparatos que nos permiten apreciar el grado de temperatura de los cuerpos. Constan de un cuerpo o substancia cuya dilatación mide la temperatura y de una escala que mide la dilatación sufrida. Como substancia dilatable mejor conductora y de gran dilatación se emplea el mercurio.
- 3. Los puntos fijos de un termómetro son el 0° y 100° que corresponden a la temperatura de fusión del hielo y de ebullición del agua. Se conocen tres escalas termométricas: Centigrado o Celsius, Reamur y Fahrenheit. En la escala centigrado hay 100 divisiones entre 0° y 100°, en la Reamur 80° y en la Fahrenheit 180°, lo que es igual: 5° C = 4° R = 9° F.
- 4. Los termómetros de máxima y de mínima son los apropiados para dar a conocer la máxima y la mínima temperatura del ambiente en contacto, sin requerir la observación continua. Se conoce el de Rutherford y el de Six y Bellani.
- 5. Todos los cuerpos se dilatan por acción del calor, o sea, aumentan de volumen al aumentar la temperatura. La dilatación puede ser considerada para los sólidos, los líquidos y los gases.

Llámase coeficiente de dilatación a la relación que existe entre longitud, superficie o volumen, por grado de temperatura.

6. La dilatación de los líquidos por efecto de la temperatura es mucho mayor

que la de los sólidos, por lo tanto también lo serán los respectivos coeficientes de dilatación.

Para los líquidos sólo podemos hablar de dilatación cúbica y como inevitablemente debe ser considerado el vaso que lo contiene, la dilatación es aparente. La dilatación absoluta de un líquido es igual a la dilatación aparente más la del vaso.

El agua es una excepción por alcanzar su mayor densidad a 4° de temperatura.

- El calor produce dos efectos sobre los gases: variación de volumen y variación de presión. De esto que sea posible considerar la dilatación de un gas a presión constante o a volumen constante.
- Considérase temperatura absoluta aquella referida sobre el cero absoluto. Llámase cero absoluto a la temperatura a la cual, mantenido el volumen constante de un gas, desaparece toda presión.

PROBLEMAS

- —Una barra de hierro tiene una longitud de 52 centímetros a 16º ambiente. ¿Cuál será su longitud calentada a 95º sabiendo que el coeficiente de dilatación del hierro es de 0.000012?
- —¿Cuál será la longitud de una barra de bronce (coeficiente = 0.000019) a 80° , 100° y 120° si medida a 14° tiene 87 centímetros?
- —Una barra de bronce calentada a 280° tiene una longitud de 68 centímetros. ¿Qué contracción en milímetros acusará al enfriarse a 18° de temperatura, siendo su coeficiente de dilatación igual a 0.000017?
- —¿A qué temperatura habrá que calentar una esfera de cobre (coeficiente = 0.000017), de 8 centímetros de diámetro a 16° para que ajuste en un anillo de 8.2 cm. de diámetro?
- —¿Cuál será el aumento de superficie en milímetros de una chapa de zinc (coeficiente = 0.000029) que a 17º mide 21 centímetros de lado?
- —Un trozo de vidrio tiene un volumen v de 56 cm.³ a $t=11^\circ$. ¿Cuál será su volumen v_I a $t_1=65^\circ$? Si para la primer temperatura acusa un peso específico igual a 2.4, ¿cuál será su peso específico a 65° ?

- —¿Cuál será la dilatación de un puente de 130 metros de longitud a 0° si llega a calentarse en verano hasta 50°?
- —¿Qué volumen tendrá a 200° un trozo de plomo que a 0° mide 25 cm.³? (coeficiente = 0.000029).
- —Un disco de plomo de 15 cm. de radio a 20°C se calienta a 80°F ¿Cuál será su diámetro a esta temperatura?

CAPITULO X

the creation is determined by the property and appreciated or received

A) CANTIDAD DE CALOR

Diferencia entre temperatura y cantidad de calor. — Calor específico. — Calorímetros. — Calor específico de gases a presión constante y a volumen constante.

No debemos confundir calor, o mejor, cantidad de calor, con temperatura.

Esta última nos da el estado calorífico de un cuerpo aunque la cantidad de calor puede variar según la cantidad de masa de ese cuerpo.

Con la experiencia Nº 17, página 333, se demuestra que cantidad de calor y temperatura son dos magnitudes independientes entre sí.

Como puede verse son dos vasos de precipitación de 500 c.c. y 100 c.c., respectivamente, en los que se coloca agua hasta la mitad, más claramente 250 c.c. y 50 c.c.

Al calentarlos simultáneamente empleando un mismo mechero, o sea, que la fuente calorífica usada suministre la misma cantidad de calor, es dado observar que para iguales tiempos alcanzan distintas temperaturas; inversamente, para llegar a la misma temperatura se requieren diversos tiempos.

Si en vasijas iguales colocamos cantidades iguales de agua y a una de ellas la calentamos a 90° por ejemplo, mientras la otra se mantiene a la temperatura ambiente (supongamos 20°), mezclándolas y tomando nuevamente la temperatura, ésta habrá descendido proporcionalmente a la mitad.

Antes de pasar adelante distinguiremos más claramente con otro ejemplo, la diferencia que hay entre temperatura y cantidad de calor, conceptos que es necesario aclarar y diferenciar para evitar confusiones al referirnos a temperatura de fusión y calor de fusión. Si sometemos a la acción de dos fuentes idénticas de calor. recipientes cuya capacidad sea de 1 y 10 litros, respectivamente, y después de calentar durante un cuarto de hora tomamos con un termómetro la temperatura de ambos, comprobaremos que en el menor ésta se ha elevado mucho más, no obstante haber sido calentados los dos durante el mismo tiempo. Vale decir, que, a pesar de haber recibido la misma cantidad de calor, las temperaturas no son iguales, sino que están en relación con la cantidad de substancia calentada; en el recipiente menor el calor se ha concentrado produciendo una notable elevación de temperatura, y en el segundo se ha difundido en una cantidad mayor de substancia por lo que el aumento de temperatura ha sido menor.

Hemos dicho que es necesario distinguir entre la temperatura de un cuerpo y la cantidad de calor necesaria para llevarlo a esa temperatura. Esa cantidad de calor se puede medir comparándola con una cantidad de calor elegida como unidad. El procedimiento se denomina calorimetría y la unidad de calor, caloría.

Llámase caloría a la cantidad de calor necesaria para elevar en 1º la temperatura de un kilo de agua.

Es ésta la gran caloría. En la práctica se emplea más la pequeña caloría a la que corresponde igual definición pero con referencia a 1 gramo.

Calor específico. — Si en un gramo de agua calentada a 50° colocamos un gramo de hierro a 0°, cuando los dos cuerpos están a igual temperatura el agua estará a 45°.

Si en un kilo de mercurio a 100° se vierte un kilo de hielo (0°) el líquido resultante tiene sólo 3° . El mercurio bajó 97° su temperatura y el calor perdido ha calentado la masa de agua en sólo 3° , vale decir, que igual masa de agua necesita $(32 \times 3 =$

96) 32 veces más calor que el mercurio para alcanzar igual temperatura.

Si en igual forma calentamos a 100° un kilo de plomo, un kilo de cobre, un kilo de antimonio, un kilo de aceite, etc., y repetimos la experiencia, las temperaturas que alcance el agua serán distintas. Es porque los cuerpos mencionados adquirieron distinta cantidad de calor para alcanzar igual temperatura.

Se llama calor específico de un cuerpo a la cantidad de calor necesaria para elevar en 1º la temperatura de un gramo de ese cuerpo.

Como hemos tomado como unidad de calor, la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°, 1 gr. de agua, a la que damos el nombre de pequeña caloría, el calor específico del agua será 1.

Calorímetros. — Los aparatos empleados para medir la cantidad de calor absorbido o producido por cualquier clase de fenó-

meno físico o químico, se llaman colorímetros. Existen muy variados tipos. Nosotros nos referiremos al calorímetro de las mezclas (fig. 247). Consiste en un vaso cilíndrico A, de metal bruñido, para evitar pérdidas de calor por radiación, de substancia mala conductora del calor, dentro de otro depósito B, provisto de una tapa con dos orificios, uno T para el termómetro, con divisiones al décimo y otro V para una varilla de vidrio que sirve de agitador.

Para usarlo se procede del siguiente modo:

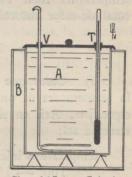


FIG. 247. — Calorímetro.

- 1º Se coloca una cantidad de agua previamente pesada y se anota la temperatura.
- 2º Se pesa el cuerpo cuyo valor específico se desea determinar.
- 3º Se calienta el cuerpo a la temperatura conocida.
- 4º Se introduce el cuerpo en el agua agitando ésta mientras se vigila el termómetro, anotando la máxima temperatura alcanzada.

5º Se multiplica el número de gramos de agua por la diferencia de temperatura anotadas antes y después.

Para mayor claridad, tomando cantidades al arbitrio, daremos un ejemplo:

0	250
Cantidad de agua	350 C.C.
Temperatura del agua	17°2
Peso del cuerpo	50 grs.
Temperatura del cuerpo	100°
Temperatura final alcanzada	19°

Observamos:

a) Calor absorbido por el agua. — Un gramo de agua necesita 1 cal. para elevar su temperatura en 1°. En nuestro ejemplo, 350 grs. han aumentado 1°8 la temperatura porque:

temperatura final 19° — 17°2 temperatura inicial de donde el total de calor absorbido será:

$$350 \times 1^{\circ}8 = 630$$
 cal.

b) Calor que el cuerpo cede al agua. — Al disminuir 1° la temperatura de un cuerpo, el calor que cede es igual a su calor específico. Así, en el ejemplo, la cantidad de calor cedida se determina así:

temperatura inicial 100° — 19° temperatura final 100° — 19° = 81° que rebaja el cuerpo su temperatura, pero como son 50 grs. la cantidad de calor total cedido será:

$$50 \times 81 \times Ce = 4050 \times Ce$$

y esta cantidad de calor cedido es igual al absorbido por el agua al aumentar en 1º8 su temperatura, es decir, que:

630 cal. =
$$4050 \times Ce$$

de donde, resolviendo tenemos:

$$\frac{630 \text{ cal.}}{4050} = \text{Ce} = 0.15$$

vale decir que el calor específico del cuerpo es de 0.15.

Calor específico de gases a presión constante y a volumen constante. — El calor específico en los gases debe ser considerado a presión constante y a volumen constante.

Calor específico a presión constante es la cantidad de calor necesaria para elevar de 0° a 1°, 1 gramo de gas, permitiéndole dilatarse libremente a presión constante.

Calor específico a volumen constante, es semejantemente a lo anterior, la cantidad de calor necesaria para elevar de 0° a 1°, 1 gramo de gas manteniendo constante su volumen.

Es muy difícil determinar, sin grandes errores, el calor específico a volumen constante, pues debe ser considerada la masa del recipiente, que por delgada que sea es siempre grande en relación a la cantidad de gas. La determinación del calor específico a volumen constante Cv se deduce del valor Cp, o sea el calor específico a presión constante.

Para hacer esta determinación se procede de la siguiente manera: llamaremos P al peso del gas que haremos pasar, en presión constante, por el serpentín sumergido en el agua de un calorímetro; t, a la temperatura de entrada y t' a la de salida; Q a la cantidad de calor absorbida por el agua del calorímetro. Tenemos:

$$Cp P (t-t') = Q$$

de donde despejando:

$$Cp = \frac{Q}{P(t-t')}$$

B) EQUIVALENTE MECANICO DEL CALOR

Conservación de la energía

Denominamos energía a la capacidad que tiene un cuerpo para producir un trabajo. Ella puede ser mecánica, térmica, eléctrica, magnética, química y radiante. En general, la energía se presenta bajo dos estados: energía potencial y energía cinética.

La energía potencial es la que, existiendo en un cuerpo o sistema de cuerpos, no se exterioriza; transformada en energía cinética se la aprecia cuando el cuerpo cae, efectuando un trabajo, ya sea de deformación de la superficie, aumento de temperatura por el choque, etc. Pueden considerarse energías potenciales, asimismo, las que en forma latente tienen: el agua embalsada en un dique, un trozo de combustible, un acumulador eléctrico cargado, un imán, un explosivo, un resorte tendido (por ejemplo la cuerda de un reloj), etc.

Las diversas maneras de manifestarse la energía resultan de sus propias transformaciones. En estas transformaciones se observa siempre una exacta equivalencia cuantitativa, de manera que cuando en apariencia desaparece una energía, ella se presenta bajo otro aspecto en una cantidad equivalente.

Una caída de agua puede poner en marcha una turbina (energía mecánica), y ésta comunicar el movimiento a un dínamo generando corriente eléctrica (energía eléctrica) que, a su vez, sirve para encender una lamparilla (energía luminosa), una plancha o una estufa (energía térmica), para provocar la combinación o descomposición de substancias (energía química), poner en marcha una máquina (nuevamente energía mecánica, etc.).

Es un fenómeno común observar que los cuerpos se calientan

por efecto de rozamiento continuado o de resistencias que se opongan bruscamente al movimiento. Un martillo que golpea sobre un metal, dos superficies duras que rocen, una bala que choca con una superficie dura que se opone a su paso, un eje de transmisión cuyo cojinete no está lubricado, producen calor.

Hemos dicho anteriormente que la energía se transforma, no se destruye. De acuerdo a este principio, cuando una energía apatentemente se pierde, aparece una nueva fuerza física o trabajo mecánico equivalente, de manera que existe siempre una relación constante entre la causa y el efecto

producido.

Una experiencia muy demostrativa es la ideada por Tyndall (fig. 248).

Consta de un dispositivo que permite hacer adquirir gran velocidad de rotación a un tubo de metal en el que se ha colocado éter, tapándolo con un corcho bien ajustado. Puesto en rota-

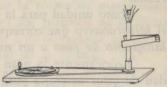


FIG. 248. — Experiencia de Tyndall.

ción, apretando con una manopla de madera, el calor producido hace hervir el éter y el tapón salta por efecto de la presión de los vapores.

Lo dicho nos permite formular las siguientes conclusiones:

a) Que el trabajo puede transformarse en calor, y éste, a su vez, producir trabajo.

(El roce calentó al éter, y los vapores de éste hicieron saltar el tapón).

b) Que hay una relación constante entre la cantidad de trabajo y el calor producido, y recíprocamente.

En efecto, si aumentamos la superficie de frotamiento tendremos que hacer mayor fuerza pero también produciremos más calor.

La relación constante que existe entre trabajo y calor se llama equivalente mecánico del calor.

La posibilidad de transformar una energía en otra nos permite

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 19.

seleccionar el método más conveniente para valorarla. El trabajo mecánico, el trabajo eléctrico, el trabajo químico, se pueden todos transformar en calor; se deduce de ello que podamos usar con propiedad la unidad de medida del calor para valorar otros trabajos, vale decir, las formas de energía equivalentes.

Todos hemos visto funcionar máquinas a vapor y sabemos que en definitiva no son sino artificios creados por el hombre, para la transformación de la energía térmica del combustible empleado en trabajo mecánico que se aprovecha mediante transmisiones adecuadas.

Como unidad para la medición del trabajo mecánico se utiliza el kilográmetro que corresponde al trabajo necesario para elevar un kilogramo de peso a un metro de altura.

Teóricamente la gran caloría, que como sabemos es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua de 0° a 1°, es susceptible de originar un trabajo de 427 kilográmetros. Inversamente, una energía de 427 kilográmetros puede transformarse en una cantidad de calor igual a una caloría o sea:

Si llamamos E al coeficiente de equivalencia entre calor y trabajo, denominado, según hemos dicho, equivalente mecánico del calor, y A a la relación inversa entre trabajo y calor, estaremos en condiciones de establecer las igualdades:

$$Q = AT$$
 $T = EQ$

donde: Q = calor; T = trabajo; que corresponde, según lo sabemos, a kilográmetros y grandes calorías, respectivamente.

En la práctica, estas transformaciones van acompañadas de fenómenos complejos que deben ser tenidos en cuenta al valorar los efectos, pero nosotros, sin entrar en detalles, nos limitaremos a un ejemplo.

Supongamos que un kilo de combustible produzca al quemarse 7200 calorías; dicho combustible estará en condiciones teóricas de rendir un trabajo de 3046,400 kilográmetros. Ahora, si en una hora, o sea en 3600 segundos, se quema 3 k 600 de ese carbón, se tendría, en forma teórica una potencia de:

$$\frac{5000}{3600} \times 7200 \times 427 = 3074 \text{ kilográmetros por segundo}.$$

De modo semejante, si dijéramos que el esfuerzo de un golpe realiza una presión cuyo trabajo es el equivalente de 8540 kilográmetros, es lo mismo decir que ese trabajo vale 20 calorías, pues 8540 ÷ 427 = 20.

Del mismo modo, las distintas manifestaciones de energía tienen sus relaciones de equivalencia absolutamente determinadas e invariables. Compruébase que las fuerzas o energías que durante un fenómeno cualquiera actúan en un sistema de cuerpos determinado, mantienen un valor constante (teniendo en cuenta dichas relaciones de equivalencia) mientras dura el fenómeno, a pesar de las modificaciones que sufra la energía al cambiar la forma de manifestarse. Es este hecho, análogo al observado en los procesos de combinación y descomposición de las substancias o de la materia, en las que nunca hay pérdida ni creación ponderal de la misma.

En 1842, Julio Roberto Mayer enunció por primera vez el llamado principio de la conservación de la energía, que dice:

La energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma, manifestándose de diferentes maneras.

En 1847, Hermann puso en evidencia la importancia de este principio en un trabajo sobre "la conservación de la fuerza", y en 1850, Joule la confirmó en forma rigurosa con sus investigaciones acerca del equivalente mecánico del calor.

Podemos definir esta relación, diciendo que:

Equivalente mecánico del calor es el número de unidades de trabajo o de energía mecánica necesaria para producir una caloría.

C) PROPAGACION DEL CALOR

nen que relaciones de equivalencia absolutamente detectoinadas e in-

Conducción — Convección — Radiación

La experiencia demuestra que si se suministra calor a una parte cualquiera de un cuerpo, éste tiende a propagarse con mayor o menor facilidad, a toda la masa del mismo, como si pasara de una capa a otra, aumentando la temperatura instante por instante.

Si colocamos el extremo de una varilla metálica sobre una llama, pronto percibiremos calor en el extremo opuesto y hasta es posible que lleguemos a quemarnos.

Si la sacamos del fuego y acercamos la mano al extremo más caliente, tendremos la sensación del calor a distancia.

La propagación del calor se hace por: a) conducción o conductibilidad; b) por convección; c) por radiación o irradiación.

a) Conducción. — La conducción o conductibilidad, es una forma de propagación del calor, propia de los cuerpos sólidos, los que conducen el calor con mayor o menor facilidad, de acuerdo a lo cual, pueden ser considerados: buenos conductores del calor; semi-conductores y malos conductores.

Entre los cuerpos buenos conductores podemos a la vez diferenciar la mayor o menor conductibilidad, o sea la conductibilidad específica.

El médico holandés *Ingenhousz*, con el dispositivo indicado en la figura 249, demostró la distinta conductibilidad de los cuerpos sólidos. Consiste, según se vé, en una cuba de latón en una

de cuyas paredes laterales es posible atornillar varillas de diferentes metales previamente recubiertos en cera por inmersión. Se llena la cuba de agua hirviendo y se observará que la cera que recubre

las varillas funde en tiempos diversos. Se comprueba que el mejor conductor es la plata (¹), siguiéndole en orden decreciente, el' c o b r e (0.73), oro

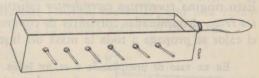


FIG. 249. — Dispositivo de Ingenhousz.

(0.52), bronce amarillo (0.24), zinc (0.19), estaño (0.15), hierro (0.12), plomo (0.085).

La cantidad de calor que se propaga en un cuerpo, depende de su naturaleza y es directamente proporcional a la sección del

conductor, a la diferencia de temperaturas entre los extremos, y al tiempo; e inversamente proporcional al largo del conductor. Consideramos buenos conductores a todos los

Consideramos buenos conductores a todos los metales; semiconductores a las piedras, mármol, vidrio, porcelana, y malos conductores o aisladores, a la madera, el papel, las plumas, la lana, la ebonita, el azufre, el amianto, etc.

Múltiples son las aplicaciones en la vida ordinaria, de las condiciones de buena o mala conductibilidad calórica de los cuerpos

Para proteger las cosas del frío se las envuelve en cuerpos malos conductores; las plantas son a veces envueltas en paja y nosotros aumentamos en invierno nuestros vestidos con tejidos de lana para impedir la irradiación del calor de nuestro cuerpo.

Las telas metálicas de los laboratorios y la lámpara de seguridad de Davy (fig. 250) que se emplea en las minas para evitar las explosiones del gas grisú, son otras aplicaciones.

Si sobre un mechero de gas colocamos una tela metálica, podemos encender el gas por arriba, sin que se encienda el de la parte baja; inversamente, encendido el mechero, la tela impide el paso de la llama hacia la parte superior. Se debe esto a que el calor de la llama se propaga rápidamente por los alambres en todos sentidos, no siendo suficiente el calor remanente para encender el gas al otro lado.



FIG. 250. — Lámpara de Davy.

b) Convección. — Cuando un líquido se calienta se dilata, disminuye en consecuencia su densidad y sube hacia la parte superior más fría, la que a su vez baja a reemplazar a la más caliente. Esto origina corrientes ascendentes calientes y corrientes descendentes frías, denominadas corrientes de convección, en virtud de la cual el calor se propaga a toda la masa del líquido.

En un vaso de precipitación o en un balón con agua (fig. 251) eche algunos cristalitos de permanganato de potasio y observe que al disolverse forman

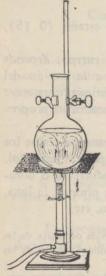


FIG. 251. — Corriente de convección.

una capa fuertemente coloreada. Coloque un mechero encendido y vea cómo de inmediato, una columna de agua se levanta, se ensancha a medida que sube y desciende por los costados, semejando el conjunto, un volcán en erupción.

En la Naturaleza, las corrientes de convección dan lugar a una serie de fenómenos. Las corrientes marinas, los vientos, las brisas frescas del mar, son casos de convección del agua o del aire.

En verano, apenas llegaa la noche, se produce una corriente de aire fresco del mar hacia la tierra; esto se debe al aire frío que viene a reemplazar a la columna de aire caliente que se elevan por su menor densidad. La tierra se calienta más que el mar por su menor calor específico

Hacia la medianoche, el aire va de la tierra al mar, por haberse enfriado ésta más que el mar.

En cuanto a los vientos alisios, van del Polo al Ecuador a reemplazar la columna de aire ascendente que se origina como consecuencia de la alta temperatura. El contralisio o antialisio, va por arriba, del Ecuador al Polo.

Las corrientes de convección tienen aplicación en la vida doméstica, en las instalaciones de calefacción con agua caliente, cuyo mecanismo de circulación se funda en ellas.

c) Radiación. — La radiación o irradiación, es otra forma de propagación del calor a través del éter. Para explicar el fenómeno se supone la existencia de algo ténue e imponderable que llamamos

éter, que llena los espacios intermoleculares. Cuando la temperatura es elevada, el movimiento vibratorio de las moléculas de un cuerpo (energía calorífica) es transmitida al éter circundante propagándose en forma de ondas transversales (energía radiante), con una velocidad de 300.000 km/seg, o sea la misma velocidad de la luz.

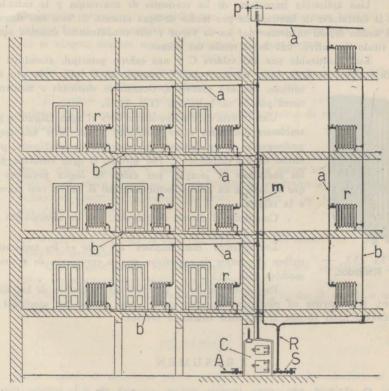


FIG. 252. — Instalación de calefacción.

Existen dos clases de cuerpos: unos llamados diatérmanos que emiten ondas de calor y otros, en los cuales estas ondas se reflejan o son absorbidas, que reciben la denominación de atérmanos.

Llamamos emisión al desprendimiento de calor en ondas, y

poder emisivo a la propiedad del cuerpo de irradiarlo en más o menos tiempo.

El poder absorbente y el poder emisivo son equivalentes, de ahí que un cuerpo que se calienta ligeramente, en igual forma se enfría.

Una aplicación importante de las corrientes de convección y la radiación es la calefacción de habitaciones por medio de agua caliente. Si bien este sistema va siendo dejado en desuso por los de vapor y aire condicionado, daremos aquí, a título ilustrativo, una breve reseña del mismo.

Está constituído por una caldera C y una cañería principal, ascendente m llenas ambas de agua, hasta un reservorio V colocado en el lugar más alto del

edificio, con una válvula a, flotante p, destinada a mantener cierta presión en la caldera (fig. 252).

Una tubería de distribución a lleva el agua caliente a los ambientes destinados a ser templados y allí sufre una larga prolongación o sea aumento de superficie de irradiación, por medio de los radiadores r. Por último, el agua circulada por los radiadores es recogida por caños en lógica pendiente b que la lleva a un caño colector principal R por el cual regresa a la caldera.

Completan el sistema de válvulas: una de alimentación A y otra de descarga S.

Los aparatos "distribuidores" del calor en los ambientes, reciben el nombre de *radiadores*, que se construyen de diversos modelos (fig. 253).

Para poder variar la superficie de irradiación de los mismos, se construye en piezas o elementos iguales, que pueden ser acoplados a voluntad hasta formar la superficie irradiante deseada.



FIG. 253. — Radiador.

RESUMEN

 Cantidad de calor y temperatura son dos magnitudes independientes entre si. Las temperaturas están en relación con la cantidad de substancia y de aquí que, para una misma fuente calorífica o sea, para una misma cantidad de calor, las temperaturas puedan ser distintas.

La cantidad de calor se mide en calorías.

La temperatura se aprecia en grados.

2. Llámase calor específico de un cuerpo a la cantidad de calor necesaria

para elevar 1º la temperatura de un gramo de dicho cuerpo. Para el agua es igual a 1.

3. Los aparatos empleados para medir la cantidad de calor absorbido o producido se llaman calotímetros.

El calor específico de los gases debe ser considerado a presión constante y a volumen constante.

- 4. Denomínase energía a la capacidad que tiene un cuerpo para producir un trabajo. Puede ser potencial o cinética. En las transformaciones de energía se observa siempre una exacta equivalencia cuantitativa.
- 5. Cuando una energía aparentemente se pierde, aparece una nueva fuerza física o trabajo mecánico equivalente.

El trabajo puede transformarse en calor y éste, a su vez, producir trabajo. Existe una relación constante entre la cantidad de trabajo y calor producido y recíprocamente.

- 6. Como unidad para la medición del trabajo mecánico se utiliza el kilográmetro, que corresponde al trabajo necesario para elevar un kilogramo de peso a un metro de altura. El coeficiente de equivalencia entre calor y trabajo se denomina equivalente mecánico del calor y su valor fué dado por Joule, en 1850.
- La propagación del calor se hace por conducción, por convección y por radiación o irradiación.

Los cuerpos pueden ser considerados como buenos conductores del calor; semiconductores y malos conductores.

Entre los buenos conductores podemos diferenciar los de mayor o menor conductibilidad, o sea la conductibilidad específica.

PROBLEMAS

Una tonelada de carbón de piedra cuesta \$ 36 y el poder calorífico es de 8000 calorías. En esa relación ¿cuánto debería costar una tonelada de leña Campana que tiene 3400 calorías?

—¿Qué cantidad de calor obtendremos por la combustión de 7 kilos de carbón cuyo calor específico es de 8.100 calorías?

—Sin tener en cuenta pérdidas ¿cuál sería el trabajo realizable por combustión de 1 kilo de gas de alumbrado de 6.0000 calorías?

- —¿Cuántos kilos de carbón se necesitarán para evaporar por ebullición (100°) 8 kilos de hielo a 0°, calculando tener un carbón de 7.500 calorías y suponiendo una pérdida de 18 %?
- —El petróleo argentino tiene 10.400 calorías y vale \$ 50 la tonclada. ¿Cuál será el gasto para evaporar 100 litros de agua calculando 20 % de pérdidas?
- —¿Cuántas calorías se necesitan para evaporar 50 litros de agua de 12º a 100º?
- —¿Cuántos litros de agua a $t=14^{\circ}$ podemos calentar a 50° virtiendo en ella plomo fundido? (P.F = 335°; calor específico 0.0314).
- —¿Cuál será la temperatura t' del hierro al rojo sabiendo que el calor específico de este metal es 0.114 y que 0.500 grs. en esas condiciones, sumergidos en 2 kilos de agua a 15º dan una temperatura final de 28º42?

The state of the s

(Mahler)

CAPITULO XI

A) FUSION

Punto de fusión, influencia de la presión. — Calor de fusión.

Sabemos que las substancias en sus diversos estados de agregación se nos presentan como sólidas, líquidas o gaseosas. Una substancia sólida puede convertirse en líquida y aun en gaseosa, y una gaseosa, inversamente, es susceptible de ser licuada y también solidificada. Hemos dicho que estos pasajes de un estado a otro se realizan por influencia de la temperatura que suministrando o substrayendo calor, modifica la fuerza que mantiene unidas a las moléculas (cohesión).

Cuando un cuerpo sólido pasa al estado líquido, decimos que funde y a este proceso de fundir lo llamamos fusión.

Un cuerpo sólido que ha fundido, vuelve a su estado primitivo al enfriarse. Este fenómeno es llamado solificación.

También los gases son susceptibles de ser transformados en sólidos por la acción del frío, requiriendo en algunos casos un aumento adecuado de presión.

La temperatura a que funden los cuerpos no es igual para todos; la temperatura de fusión o punto de fusión, constituye una propiedad específica como lo son el color, la dureza, la densidad, etc., y puede utilizarse muchas veces para caracterizar una substancia. Si aumentamos la cantidad de calor en un mismo espacio de tiempo, la fusión se hace más rápida, pero la temperatura de fusión

no se eleva. Esto se debe a que el cambio de estado se efectúa con absorción de calor, que se hace *latente*, es decir, insensible al termómetro en virtud de gastarse en el trabajo necesario para disminuir la cohesión.

Hay cuerpos que para pasar del estado sólido al líquido requieren una cantidad de calor tan grande con respecto a la unidad de tiempo, que nos resulta imposible suministrar con los medios a nuestro alcance. A estos cuerpos, que no funden, los llamamos refractarios.

De acuerdo con lo que acabamos de decir, podemos enunciar dos leyes que rigen este cambio de estado:

- 1º Cada cuerpo funde a una determinada temperatura llamada temperatura de fusión.
 - 2º Mientras dura la fusión la temperatura del cuerpo no varía.

Influencia de la presión. — Por regla general, todos los cuerpos se dilatan al fundirse, constituyendo una excepción el agua, el bismuto y el hierro de fundición.

Si se llena una esfera de hierro de 1 cm. de espesor de pared, con agua y sumergiéndola en una mezcla frigorífica a —20°, el agua contenida se dilata al solidificarse y la esfera se rompe.

Esta experiencia explica la erosión de las rocas en el invierno. También las plantas, expuestas a los grandes fríos, sufren la congelación de la savia que destruye los tejidos, se "queman".

La presión influye en el punto de fusión elevando su temperatura. Si hacia la mitad de una barra de hielo, suspendida en sus extremos, colocamos un alambre que sostenga pesas iguales en ambas puntas, observaremos que éste va penetrando lentamente, hasta caer del otro lado, sin dejar huella alguna.

Se explica esto, porque la presión que ejerce el alambre impide que el agua permanezca sólida a 0° y de ahí, que funda y el alambre pase. Pero cuando el agua se encuentra arriba del mismo, sólo soporta la presión atmosférica y encontrándose a 0° se congela nuevamente. Este fenómeno se denomina rehielo.

En el agua y en los cuerpos que se contraen al fundir, la presión produce un descenso del punto de fusión, contrariamente, la presión influye elevando el punto de fusión de todos los cuerpos que se dilatan al fundir.

Para el agua, el aumento de 1 atmósfera de presión significa un descenso de 0.0075°.

La formación de los ventisqueros se explican por la influencia de la presión sobre el punto de fusión del agua. En efecto, las grandes masas de nieve que cacn sobre el hielo, lo comprimen haciendo que funda, pero el agua formada que corre por la inclinación del suelo, se rehiela apenas se encuentra libre de la presión

Solidificación. — El proceso inverso al de fusión recibe el nombre de solidificación. Un cuerpo que pasa del estado líquido al sólido se solidifica. Damos el nombre de congelación al proceso de solidificación a una temperatura de 0° o inferior, y el de cristalización, cuando, al solidificarse los cuerpos adquieren formas poliédricas regulares.

Todos los líquidos se solidifican al ser sometidos a temperaturas suficientemente bajas, y si durante mucho tiempo no ha sido posible solidificar a todos, ello se debe a que no se ha conseguido producir temperaturas tan bajas como algunos requieren.

Denominaremos temperatura o punto de solidificación a la temperatura a que un líquido se transforma en sólido. Como para la fusión, podemos enunciar dos leyes que rigen este fenómeno:

- 1º Cada cuerpo se solidifica a una determinada temperatura, que es idéntica a la de su fusión.
- 2º Mientras dura la solidificación, la temperatura permanece invariable.

Cuando un cuerpo se solidifica, abandona el calor latente de fusión en la misma proporción que lo absorbió al fundir.

Calor de fusión y de solidificación. — Hemos dicho, anteriormente, que los cuerpos sólidos pasan al estado líquido absorbiendo

calor y que, inversamente, los líquidos desprenden calor al solidificarse. Un trozo de hielo puesto al sol se licúa rápidamente. Si dentro de una vasija que contenga agua caliente colocamos hielo, observaremos, después de un rato, que el hielo ha desaparecido y el agua se ha enfriado. El ambiente de un recipiente cerrado se refrigera con la presencia de hielo. Todos estos ejemplos demuestran que el hielo ha absorbido calor al fundir. Si volcamos en un recipiente con agua una cantidad de metal en fusión éste se solidifica y el agua se calienta, porque el metal ha desprendido calor. Si la cantidad de metal es poca en relación al agua, ésta recibe la cantidad de calor almacenada por aquél y llega un momento en que ambos se encuentran a igual temperatura. Si el volumen del metal es grande con respecto al agua, la cantidad de calor que de él se desprenda también lo será; entonces el agua entrará en ebullición y continuará hirviendo mientras el metal le suministre calor.

La cantidad de calor necesaria para fundir un kilogramo de substancia recibe el nombre de calor de fusión, y se denomina calor de

solidificación a la cantidad de calor desprendida de un kilogramo de substancia al solidificarse.

manezca inmóvil, aislada de la mezcla refrigerante.

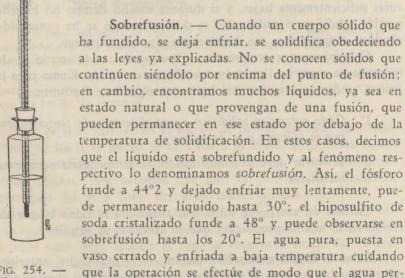


FIG. 254. — Sobrefusión del agua.

permanece líquida aun a los — 20° o — 25°, o sea se encuentra sobrefundida, puesto que su temperatura de solidificación es de 0°. En los casos mencionados basta agregar una pequeña partícula sólida o agitar bruscamente el cuerpo para que se solidifique instantáneamente y la temperatura ascienda de inmediato al límite correspondiente a su punto de solidificación. Podemos decir que el fenómeno de sobrefusión corresponde a un equilibrio inestable, semejante a lo que ocurre en una balanza en equilibrio cuando sobre uno de los platos agregamos pesas y ésta no funciona; basta un golpe para hacer desaparecer el impedimento y restablecer el equilibrio.

B) VAPORIZACION

Tensión de vapor. — Vapores saturados y no saturados. — Ebullición. — Punto de ebullición y calor de vaporización. — Influencia de la presión.

Si colocamos sobre una tela metálica un vaso de precipitación conteniendo agua y lo calentamos, observaremos sucesivamente lo siguiente: Al comenzar a calentar, se forman pequeñas burbujas que ascienden hasta la superficie y se desprenden. Son burbujas de gases (aire) que se encontraban disueltas o adheridas a las paredes del recipiente. Este desprendimiento cesa prontamente, pero al aumentar la temperatura, comienzan a formarse otras burbujas en la parte inferior del recipiente (en la zona de contacto con la llama o en las más cercanas), que ascienden un pequeño trecho y desaparecen; son burbujas de vapor de agua que al ascender a regiones más frías se condensan rápidamente contribuyendo así a propagar calor en el interior del líquido. Llega un momento en que, como la temperatura continúa aumentando, la formación de burbujas tiene lugar en toda la masa líquida, llegando a alcanzar la superficie de la misma y desprendiéndose. El líquido hierve y el fenómeno se denomina ebullición.

Con frecuencia un líquido pasa al estado de vapor sin necesidad de ser calentado, como ocurre con el agua estancada o con el alcohol, colocado en un plato; en estos casos, se trata de una evaporación. En resumen, ebullición es el paso de un cuerpo del estado líquido al estado gaseoso efectuado simultáneamente en toda la masa del mismo, con auxilio del calor; acompaña a este fenómeno notable efervescencia. Evaporación es el mismo paso efectuado insensiblemente en la superficie del líquido.

Un cuerpo gaseoso, ya lo sea por su estado natural o que provenga de un líquido vaporizado, puede ser transformado por la acción del frío en un cuerpo líquido, proceso éste que, según el case, denominamos licuación o condensación respectivamente, cuanto mayor haya sido el calor empleado para hacerlo pasar, de su estado natural al de vapor.

Ebullición. — Punto de ebullición. — Podemos definir la ebullición diciendo que es el paso rápido de una substancia del estado líquido al gaseoso con formación de burbujas de vapor en toda la masa del líquido. Queda bien diferenciado así este fenómeno del de la evaporación, que es una vaporización lenta en la superficie del líquido.

La ebullición tiene lugar por la influencia del calor, es decir, que para hacer hervir un líquido se le calienta, y al llegar a una determinada temperatura el líquido hierve. La temperatura de ebullición varía según el líquido de que se trate y es siempre constante para uno mismo, constituyendo su punto de ebullición, que es una característica específica de cada substancia, que permite, por sí sola, identificarla en muchos casos.

Es fácil comprender que el desprendimiento de vapor recién tendrá lugar cuando su fuerza expansiva (tensión), sea igual o mayor que la presión ambiente y que, en consecuencia, el punto de ebullición varía con la variación de la presión. (Experiencia Nº 18, página 335). Así el agua que al nivel del mar hierve a 100°, en el territorio de Los Andes, a más o menos, 4000 metros de altura, lo hace a unos 87° en virtud de la menor presión que soporta.

Para terminar, y como resumen, enunciaremos las leyes a que se encuentra sometido el fenómeno de la ebullición:

- 1º Cada líquido hierve a determinada temperatura, que no varía mientras no se modifique la presión.
- 2º Mientras dura la ebullición la temperatura no cambia.
- 3º La ebullición se produce a la temperatura que se requiere para que la presión del vapor que se forma en la masa

del líquido iguale a la presión ejercida sobre la superficie del mismo.

Vapores saturados y no saturados. — Imaginemos un aparato semejante al utilizado en la comprobación de la ley de Boyle Mariotte (fig. 255), estando el robinete del tubo a abierto; levantemos el tubo b a fin de desalojar del tubo a todo el aire como consecuencia

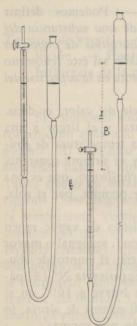


FIG. 255. — Comprobación de vapores satuados.

de haber subido el nivel del mercurio en el mismo. Cerremos el robinete y bajemos el tubo b: el nivel del mercurio en a descenderá también y cuando quede en reposo podremos comprobar que la diferencia del nivel del mercurio en ambos tubos es de 76 cm., es decir, equivalente a una atmósfera. Si en tales circunstancias, con auxilio del robinete permitimos la entrada de una gota de éter o de alcohol, ésta se evapora de inmediato y el nivel de la columna de mercurio desciende algo. Haciendo entrar una nueva gota, observaremos el mismo resultado, y así sucesivamente, pudiendo comprobar que llega un momento en que las gotas introducidas no se evaporan ya, sino que se depositan líquidas sobre la superficie del mercurio. Cuando esto ocurre, decimos que el vapor está saturado.

No variando la temperatura ni la presión, un espacio determinado admiate una cantidad igualmente determinada de vapor saturado.

En la experiencia que acabamos de enunciar, la diferencia de niveles de la columna mercurial, entre el valor primitivo y el correspondiente al vapor satuardo, mide la tensión del vapor a la temperatura a que se opera. Si aumentamos el espacio V en el tubo a bajando el tubo b, parte del líquido no evaporado pasa al estado de vapor e inversamente, levantando el tubo b, parte del vapor en el tubo a se

licúa. Un hecho semejante se produce aumentando o disminuyendo la temperatura. Si medimos, en el transcurso de estas variaciones, la diferencia de niveles entre las columnas de mercurio, observaremos que ella se mantiene constante. Expresamos esto diciendo que los vapores alcanzan su tensión máxima al estado de saturación.

Calor de vaporización. — Los líquidos absorben, al vaporizar, una notable cantidad de calor. Durante la ebullición de un líquido todo el calor que le es suministrado se gasta en producir la vaporización; como consecuencia de ello, la temperatura se mantiene constante mientras dura la ebullición, siempre que la presión exterior no varíe.

El calor necesario para producir la vaporización de una determinada cantidad de substancia se denomina calor de vaporización y es invariable para igual cantidad de la misma substancia, pero es diferente para dos substancias distintas. Así, la vaporización de un litro de agua requiere menor cantidad de calor que la de un litro de mercurio, entiéndase que nos referimos a cantidad de calor y no a temperatura, diferencia que hemos explicado anteriormente. Cuando una determinada cantidad de vapor se enfría y pasa al estado líquido y a la temperatura inicial, abandona todo el calor que absorbió al vaporizarse y a éste lo denominamos calor latente del vapor; de modo que el calor latente de vapor y el calor de vaporización son equivalentes.

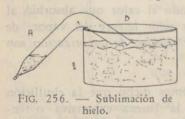
Influencia de la presión. — Hemos dicho que la ebullición de un líquido tiene lugar cuando la fuerza expansiva o tensión de los vapores del mismo llegan a vencer a la presión exterior. Dedúcese de ello que el punto de ebullición varía por influencia de la presión, ya que para vencer una presión mayor será necesario calentar más el líquido a fin de dotar al vapor de mayor fuerza expansiva. Siendo la tensión del vapor igual a la presión exterior que soporta el líquido en ebullición, diremos en definitiva, que la tensión de un vapor y su temperatura son funciones una de la otra y varían en el mismo sentido.

La cantidad variable del líquido que se vaporiza, así como las cantidades de vapor y líquido en contacto no influyen en la tensión del vapor.

No solamente la presión es causa capaz de hacer variar el punto de ebullición; también la presencia de una substancia no volátil que se encuentre disuelta en un líquido, eleva el punto de ebullición de éste proporcionalmente a la concentración de la solución. Así, el agua que a la presión normal hierve a 100°, lo hace a 109° cuando está saturada con cloruro de sodio, a 116° con nitrato de potasio y a 135° cuando lo está con carbonato de potasio. No obstante, la temperatura del vapor de agua será siempre de 100°. Las substancias insolubles no influyen en la variación del punto de ebullición. Por ejemplo, arena, polvo de mármol o de vidrio, puestos en el agua, no alteran el punto de ebullición de ésta.

Sublimación. — Sabemos que la temperatura y la presión intervienen en la modificación de los estados de agregación de la materia.

Un sólido que se caliente convenientemente, funde; un líquido se vaporiza; inversamente un vapor enfriado se licúa, y un líquido se solidifica. Esto es lo que ocurre ordinariamente, pero la vapori-



zación no es una propiedad exclusiva de los líquidos, pues podemos observarla también en muchos sólidos que se vaporizan sin pasar por el estado líquido y sus vapores se solidifican por enfriamiento, igualmente sin pasar por este estado. Al conjunto de estos dos fenómenos,

vaporización y consecutiva solidificación de un cuerpo sólido, sin fusión intermedia, es a lo que damos el nombre de sublimación.

Si colocamos un poco de agua en la rama A de un tubo acodado (fig. 256) y luego de cerrar a la llama el otro extremo, sumergimos en una mezcla frigorífica hasta que congele, retiramos e introducimos de inmediato la extremidad B en otra mezcla frigorífica de temperatura más baja (—18° a —20°), hemos de observar la formación de hielo en la extremidad B del tubo a medida que desaparece el contenido en la extremidad A. Es porque el hielo se ha evaporado sin alcanzar a fundirse y estos vapores convenientemente refrigerados se solidifican.

La tensión del vapor de agua a 0° y la del hielo es de mm. 4,569, vale decir, que el agua sometida a esa presión pasa al estado de vapor. Colocada dentro del tubo en el ejemplo que mencionamos, estos vapores se enfrían de inmediato solidificándose, de modo que dejan libre el ambiente, facilitando nuevas evaporaciones y las consecutivas solidificaciones

Si a un líquido lo sometemos a la acción del calor entra en ebullición cuando la tensión de sus vapores alcanzan el valor de la presión que soportan o son ligeramente superiores a

la misma, esto es, según va lo dijimos (pág. 307), que la tensión de vapor de un líquido aumenta con

la temperatura y varía con la presión.

Si en lugar, sometemos igualmente a la acción del calor a un sólido, al alcanzar la temperatura conveniente funde, y su punto o temperatura de fusión no experimenta variaciones apreciables por influencia de la presión. Llegamos con esto a comprender que si a un sólido lo sometemos simultáneamente a la acción del calor y una disminución adecuada de presión, existe la posibilidad de conseguir que la temperatura de vaporización del líquido llegue a ser menor que la temperatura de fusión, como consecuencia, el sólido se vaporiza antes de llegar al estado líquido y el pasaje por este estado desaparece prácticamente.

De acuerdo con lo manifestado, es posible, de modo teórico, conseguir mediante la disminución



de presión, que muchos sólidos sublimen, y si prácticamente no se hace es porque en muchos casos esta disminución, debe alcanzar valores tan altos que no tenemos medios para efectuarla. Las substancias sólidas que por acción del calor subliman a la presión ambiente, como ser: iodo, ácido benzoico, sal amoníaco, naftalina, alcanfor, es porque la temperatura a la cual ya tienen una tensión de vapor suficiente para vencer dicha presión y vaporizarse, es igual o menor que la correspondiente a su punto de fusión, y si recordamos que punto de fusión y punto de solidificación son equivalentes (pág. 301), deducimos que el proceso inverso de solidificación de los vapores acontece debido a que la temperatura de condensación de los mismos es superior a la ambiente y coincide o es menor que la de solidificación.

Es posible experimentar fácilmente un proceso de sublimación en el dispositivo indicado en la figura 257. En una cápsula con arena se coloca un crisol con la substancia que deseamos sublimar.

Apenas comienza a desprender vapores, se tapa con el embudo frío dispuesto según se vé y se podrá observar la cristalización de la substancia sublimada en las paredes frías del embudo y tubo acoplado.

Se usa generalmente resina de benjuí para recoger ácido benzoico sublimado, iodo, naftalina, etc.

Analogías entre la fusión y la ebullición (1)

FUSIÓN

Paso del estado sólido al líquido por acción del calor.

Los estados sólido y líquido subsisten mientras dura la fusión.

Cada sólido tiene una determinada temperatura de fusión.

La temperatura es constante mientras dura la fusión.

EBULLICION

Paso del estado líquido al de vapor por acción del calor.

Los estados líquidos y de vapor subsisten mientras dura la ebullición.

La temperatura es constante mientras dura la ebullición.

Cada líquido tiene una determinada temperatura de ebullición.

Analogías entre la solidificación y la condensación (1)

SOLIDIFICACION

Paso del estado líquido al sólido por enfriamiento.

La cantidad de calor de fusión (absorbida por el sólido al fundir) es igual a la cantidad de calor de solidificación (abandonada por el líquido al solidificarse).

El punto de fusión, experimenta variaciones mínimas con el cambio de presión.

CONDENSACION

Paso del estado de vapor al líquido por enfriamiento.

La cantidad de calor de vaporización (absorbida por el líquido alvaporizar) es igual a la cantidad de calor de condensación (abandonada por el vapor al licuarse).

El punto de ebullición varía sensiblemente con el cambio de presión.

⁽¹⁾ Al establecer estas analogías consideramos constante la presión bajo la cual se producen los fenómenos detallados.

C) VOLATILIZACION

Acabamos de estudiar los procesos denominados fusión y ebullición y sabemos que ambos tienen lugar por efecto de la temperatura.

Igualmente nos hemos referido a otro cambio de estado con simultáneo regreso al mismo, que hemos denominado sublimación.

En cualquiera de los casos, ya sea de un sólido que funde y una vez en el estado líquido, por aumento de temperatura se volatiliza, o de un líquido que hace igual cosa, nos referimos a vapores. Denomínanse así, los cuerpos gaseosos provenientes de substancias que a la temperatura y presión ordinarias son sólidas o líquidas y que han tomado el estado aeriforme por elevación de la temperatura o por disminución de presión. Son gases todas aquellas substancias que se encuentran en este estado a la temperatura ordinaria y a la presión normal.

Los primeros vuelven fácilmente a su estado líquido cuando simplemente, la temperatura y presión tienden a recobrar su valor normal. Los segundos, requieren para licuarse, enfriamientos por debajo de la temperatura ordinaria, o aumento de presión sobre la normal, o en fin, ambas acciones a la vez.

Decimos que un cuerpo es tanto más volátil, cuanto más bajo sea su punto de ebullición. En efecto, requerirá menor cantidad de calor para alcanzar una tensión de vapor suficiente para vencer la presión exterior. Imaginemos dos cuerpos líquidos, volátiles ambos a diversas temperaturas que suponemos sean de 35° y 100°; es muy natural que puestos sobre una misma fuente de calor, se volatilizará en menor tiempo el de más bajo punto de ebullición. Ahora bien. Si recordamos que la cohesión era la fuerza que mo-

dificaba los estados de las substancias en virtud de su mayor o menor intensidad, deducimos a la vez que será menor en el líquido cuyo punto de ebullición sea más bajo.

Si suponemos a ambas masas líquidas constituídas por esferillas iguales que se encontraran atadas unas a otras por cuerdas de distintos espesores, sería dado imaginar que éstas habrían de ser mucho más delgadas en un líquido cuya cohesión molecular fuera menor.

Llamemos ahora trabajo, al calor. Para igual cantidad de cuerdas (cohesión), que debemos cortar, ¿con cuál deberemos efectuar mayor trabajo? Indudablemente que en igualdad de número (masa), con aquellas cuyas cuerdas sean menos delgadas.

Así, pues. Relacionando, cohesión, tensión de vapor, o fuerza expansiva, punto de ebullición, podemos decir que: a menor cohesión corresponde menor punto de ebullición y menor cantidad de calor para provocar la volatilización, por tener, en consecuencia mayor tensión de vapor o fuerza expansiva.

He aquí, porqué muchos cuerpos se volatilizan o evaporan sin necesidad de suministrarles calor. Una ráfaga de aire basta para alejar de una superficie libre la capa de vapores saturados, y el líquido en virtud de su gran tensión de vapor se va volatilizando en capas sucesivas.

Un hecho vulgar que nos ayudará a ratificar estos conceptos, es lo que sucede en las grandes vías de circulación en días húmedos. Nos es dado observar que las rutas ligeras se secan en la huella de los vehículos. Lo que sucede es que éstos al pasar producen un vacío, o sea una disminución de presión que favorece la tensión del vapor del líquido; éste, evaporado, es a la vez arrastrado por otro vehículo y así sucesivamente, y el tiempo transcurrido entre uno y otro es tan pequeño que no alcanza a permitir el posterior depósito de vapores condensados y la superficie del pavimento se presenta seca.

D) ESTADO HIGROMETRICO

La parte de la Física que se ocupa de determinar la proporción de vapor de agua en la atmósfera o sea el grado de humedad o estado higrométrico del aire atmosférico, se denomina Higrometría.

Estado higrométrico del aire es la relación entre el peso de vapor de agua contenido en determinado volumen de aire, y el peso de vapor de agua que contendría, igual volumen, si estuviese saturado a la misma temperatura. La ecuación que expresa esta relación será pues:

Sabemos (pág. 305) que la tensión del vapor se modifica con la temperatura, de aquí que el grado de humedad atmosférica no sólo depende de la cantidad de vapor, sino también de la temperatura. Habiendo frío, pequeña cantidad de vapor produce humedad por su poca tensión, en lugar estando el aire caliente, puede ser seco aunque contenga gran cantidad de vapor.

Esta cantidad de vapor de agua varía, pues con la mayor o menor temperatura y las fuentes de agua inmediatas, pero tiene un límite denominado humedad máxima que es cuando la atmósfera está saturada y no admitimos vapor. (Véase: vapores saturados, pág. 306).

Vamos a distinguir entonces, entre lo que denominamos humedad absoluta u humedad máxima.

Humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire a la temperatura del momento.

Humedad máxima es la cantidad de vapor de agua que satura a 1 m³ de aire a una determinada temperatura.

En Meteorología, el grado de humedad del aire se aprecia por lo que se llama humedad relativa o estado higrométrico que es la relación entre la humedad absoluta y la humedad máxima que tendría la atmósfera a esa temperatura.

De acuerdo a esto podemos plantear, por definición de humedad relativa, la relación:

$$H r = \frac{H a}{H m}$$

Ahora bien. Como es lógico que las presiones sean proporcionales a los pesos de vapor contenidos en volúmenes iguales de aire, es posible expresar la humedad relativa por la razón pentre la presión del vapor (p), correspondiente a la humedad absoluta y la presión P del vapor correspondiente a la humedad máxima. O sea:

$$Hr = \frac{p a}{Pm}$$

Veamos dos ejemplos. ¿Cuál será la humedad relativa en un día de verano cuya temperatura es de 29° y la presión de vapor (p) igual a 18,6 mm? La tabla nos da como humedad máxima a esa temperatura, 28; así, pues, establecemos:

$$\frac{18.6}{28} = 0.6642 = 66.42 \%$$

Semejante resultados obtendremos con la fórmula de humedad relativa, siendo Ha = 18.6 y Hm 28.

Humedad máxima a diversa	s temperaturas
--------------------------	----------------

Temp.	Hm.	Temp.	Hm.	Temp.	Hm.
10	5.2 gr.	11° 1	0 gr.	21°	18.2 gr.
2°	5.6 ,,	12° 1	10.6 ,,	220	19.2 ,,
30	6 ,,	130 1	1.2 ,,	230	20.4 ,,
40	6.4 ,,	140 1	12 ,,	240	21.6 ,,
50	6.8 ,,	15° 1	2.5 ,,	25°	22.8 ,,
6°	7.3 .,	16° 1	2,5	26°	24.2 ,,
70	7.8 ,,	17° 1	14.4 ,,	270	25.6 ,,
80	8.2 ,,	18° 1	5.2 ,,	28°	27 ,,
90	8.7 ,,	190 1	16.2 ,,	29°	28 ,,
10°	9.3 ,,	20° 1	7.2 ,,	30°	30.1 ,,

La neblina, las nubes, el rocio, la escarcha, la lluvia, la nieve y el granizo, son meteoros acuosos producidos por la existencia del vapor de agua en la atmósfera.

Encontrándose saturada la atmósfera por vapor de agua, al producirse un

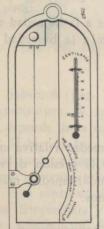


FIG. 258. — Higrómetro de cabello o de Saussure.

descenso brusco de temperatura, el excedente se condensa y produce la neblina si el fenómeno se produce cerca del suelo, caso contrario, las nubes.

El rocio se produce sobre los cuerpos a nivel del suelo por condensación del vapor en la superficie enfriada y cuando la temperatura continua en descenso hasta bajar de cero grados, el rocío se congela y aparece la escarcha. Cuando se produce una condensación de vapor en mayor cantidad, las gotas formadas caen por su propio peso originando las Iluvias y si la temperatura del espacio que atraviesa es de 0º o inferior, llegan a la superficie solidificadas con el aspecto de nieve o granizo.

Los aparatos empleados para medir la humedad ambiente se llaman higrómetros. Hay muchos sistemas conocidos con el nombre de sus autores. El más sencillo es el de Saussure o higrómetro de cabello.

Como puede observarse en la figura 258 en un armazón metálico especial se en-

cuentra fija una escala de 0 a 100 que indica el por ciento de humedad, o sea grados higrométricos. Asimismo, un termómetro hasta 50° C indica la temperatura.

Desde un tornillo lateral superior, se extiende un cabello bien desengrasado, para que sea más sensible a las variaciones de humedad, cabello que llega hasta una aguja con contrapeso. El simple examen de la figura permite comprender que las diversas extensiones que adquiera el cabello en virtud de las variantes de humedad atmosférica, son registradas en la escala en grados higrométricos. Este higrómetro de Saussure, está completamente en desuso, habiendo sido reemplazado por otros, entre los cuales podemos mencionar al de Daniell.

Higrómetro de Daniell. — El higrómetro de Daniell, consta de un tubo de vidrio con doble cerradura en ángulo recto, una de cuvas ramas verticales es mayor, terminando ambas en dos ampo-

llas iguales. La que corresponde a la rama mayor, o sea la más baja, es generalmente construída en vidrio azul obscuro o negro, a fin de facilitar la visión del rocio (empañamiento), producido por condensación de la humedad atmosférica.

La ampolla más baja se encuentra llena de éter sulfúrico, y la más alta está recubierta por una gasa o muselina destinada a ser humedecida con éter por su fácil evaporación.

Completan el aparato, dos termómetros, uno interno y otro externo que darán, respectivamente, las temperaturas de evaporación del éter y la del ambiente en que se

trabaja.

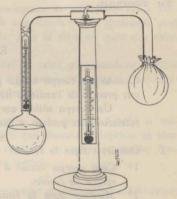


FIG. 259. - Higrómetro de Daniell.

El aparato así dispuesto se encuentra privado de aire, que ha sido extraído por un orificio hacia la parte media del tubo horizontal. Para hacerlo funcionar se humedece con éter la gasa de cubierta y se observa que por el frío producido por su evaporación, el éter contenido en la otra ampolla comienza a evaporarse a la vez que el termómetro contenido en ella acusa gradual disminución de temperatura. Se repite la operación hasta que se observa que aparece rocío en la superficie de la ampolla. Se lee entonces la temperatura del termómetro (t) considerándola como punto de saturación del aire.

Se anota además la temperatura T indicada por el termómetro exterior y luego, en tablas preestablecidas se busca la tensión del vapor saturado a esas temperaturas y se establece la relación $\frac{t}{T} = E$ o sea estado higrométrico.

El higrómetro de Daniell deja mucho que desear, en cuanto a la exactitud de los resultados.

La diversa interpretación, en cuanto a la formación del rocío, basta para dar diferencias.

RESUMEN

 Cuando un cuerpo sólido pasa al estado líquido decimos que funde y a este proceso de fundir lo llamamos fusión.

Un cuerpo sólido que ha fundido, vuelve a su estado primitivo al enfriarse. Este proceso es llamado solidificación.

- 2. Dos leyes rigen la fusión:
 - 1º Cada cuerpo funde a una determinada temperatura llamada temperatura de fusión.
 - 2º Mientras dura la fusión la temperatura del cuerpo no varía.
- Como para la fusión, podemos enunciar dos leyes que rigen este fenómeno:
 - 1º Cada cuerpo se solidifica a una determinada temperatura que es idéntica a la de fusión.
 - 2º Mientras dura la solidificación, la temperatura permanece invariable
- 4. La presión influye en el punto de fusión elevando su temperatura.

La cantidad de calor necesaria para fundir un kilogramo de substancia recibe el nombre de calor de fusión y se denomina calor de solidificación a la cantidad de calor desprendida de un kilogramo de substancia al solidificarse. 5. Ebullición es el paso rápido de una substancia del estado líquido al gaseoso con formación de burbujas de vapor en toda la masa del líquido.

Las leves a que se encuentra sometido el fenómeno de ebullición son:

- 1º Cada líquido hierve a determinada temperatura, que no varía mientras no se modifique la presión.
- 29 Mientras dura la ebullición la temperatura no cambia.
- 3º La ebullición se produce a la temperatura que se requiere para que la presión del vapor que se forma en la masa del líquido iguale a la presión ejercida sobre la superficie del mismo.
- 6. No variando la temperatura ni la presión, en espacio determinado admite una cantidad igualmente determinada de vapor saturado. Se considera que el vapor va saturado cuando una gota de líquido introducida en ese ambiente ya no se evapora.

Los vapores alcanzan su tensión máxima al estado de saturación.

7. El calor necesario para producir la vaporización de una determinada cantidad de substancia se denomina calor de vaporización y es invariable para igual cantidad de la misma substancia, pero es diferente para dos substancias distintas.

Calor latente de vapor es la cantidad de calor que abandona el calor al enfriarse y forma al estado líquido y a la temperatura inicial. Calor latente y calor de vaporización son equivalentes.

- 8. El punto de ebullición varía por influencia de la presión. Siendo la tensión del vapor igual a la presión exterior que soporta el líquido en ebullición, resulta que: la tensión de un vapor y su temperatura son funciones una de otra y varían en el mismo sentido.
- Al conjunto de los dos fenómenos: vaporización y consecutiva solidificación de un cuerpo sólido, sin fusión intermedia, es a lo que damos el nombre de sublimación.
- 10. Estado higrométrico del aire es la relación entre el peso de vapor de agua contenido en determinado volumen de aire y el peso de vapor de agua que contendría igual volumen si estuviese saturado a esa temperatura.

Humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenido en 1 m.3 de aire a la temperatura del momento.

Humedad máxima es la cantidad de vapor de agua que satura a 1 m.3 de aire a una determinada temperatura.

El estado higrométrico o humedad relativa se establece por la relación: Hr = Ha/Hm.

The Confession of the paracticities in the subjective of the careful flowides in the careful formation of the formation of the formation of the common of the common of the common of the careful formation for the careful formation of the careful f

Se chore Minney alors la choldren in montre con minney and the contract of the

No cariando la rempetatura ni la presión, en reperio, determinada pámbe opo camidad ignalmente determinada de vapor saturado. Se considera que ci vapor sa asturado cuando una gota de linguido introducida en ese lambente ya do se evapora.

Los vapores alcanção su masion mission si cardo de anterido.

Il calce acreario pare quoducir la saporireción de una definidad cinerdad de rebatancia se depositas celos de cuocercación y se lovariable paraignal cantidad de la majora rebatancia, pero es diferente para dos substancias distincia.

Caler lattate de vapor de la cataldad de celor que abandona el calor cal restrictes actores an entre la calor de reportes, dos con aquivalentes.

Il punto de s'ulbido, ruis par milaneis de la cadra Situlada tennda del vapor ignal a la presson rateira que soporta el liquida co abnlición, mudra questala mentán de un appara es su temperadar acon incocorta una de otro y cortan en el mante es militar.

Al conjunts de les des fenomences especiales à commune et combine de un curren solido sin lunde sotremaile, es a lo que damos el combine de subliciencies.

P. Estudo Higrométrica del che se la relación contre el paso de strone do acros colphinale en deberrancia colpunen de aire y el proje de avect de apais que contendera sena columna si cuarsion actuale a col comparatura.

Humana about at complete the control of the state of a state of the st

thursday reasons as he constructed do support of some que some

the said of the sa

CAPITULOS IX, X y XI

EXPERIENCIAS DE GABINETE

- Nº 13. Prueba de termómetro. Comprobación del 0° y 100°.
- Nº 14. Calor de fusión del hielo.
- Nº 15. Verificación del punto de fusión.
- Nº 16. Tensión del vapor. Calor de vaporización.
- Nº 17. Calor específico de sólidos y líquidos.
- Nº 18. Ebullición del agua y la presión.

THE RESERVE OF THE PARTY OF THE

EXPERIENCIAS DE CARINETE

A 15. - Procha de termémento. Comprobación del 0° y 100°.

of the fulfilled de función de fu

15 15 - Transan del vapor. Callet de caparizacion.

N 17 -- Cilde specifico de sólidos y liquidos

mileting at y mays leb minimum - 81 M

EXPERIENCIA Nº 13

PRUEBA DE TERMOMETRO

Comprobación del 0° y 100°

Material: Un embudo de 10 cm., un frasco, un termómetro graduado de —10 a 150°, un trapo, un balón de 250 cm³, un tubo de vidrio de 40 mm. de diámetro, dos tapones de goma, un soporte, un mechero de Bunsen, tela metálica, sacabocados, hielo.

Manipulación: Comprobación del 0°. — 1° Tome un trozo de hielo, envuélvalo en un trapo y golpéelo hasta reducirlo a trozos pequeños. Vuelque la papilla de hielo en un embulo dispuesto como lo indica la figura 260, y coloque verticalmente el termómetro que desee controlar, en forma que la oliva de mercurio quede aproximadamente en la parte media.

2º Observe el descenso de la columna de mercurio y cuando quede estacionada efectúe la lectura, comprobará el 0º. Repita la lectura dos o más veces con intervalos de minutos, comprobará que permanece estacionada: la temperatura permanece constante mientras dura la fusión.

3º Comprobación del 100º. — Disponga FIG. 260. — Deotro aparato como se indica en la figura 261. terminación del 0º Consta de un balón de 250 cm³., de cuello largo, al que se corta el borde para permitir el enchufe de un tapón, y un tubo recto de mayor diámetro, colocado según se muestra. Este tubo hace las veces de "camisa de vapor", pues los vapores despren-

didos por el cuello del balón a deben descender y escapan por el tubo b de desprendimiento. Cuide que el extremo de éste quede rasante con la superficie del tapón.

4º Coloque agua en el balón y comience a calentar. La columna de mercurio comenzará a ascender pausadamente. Cuando el

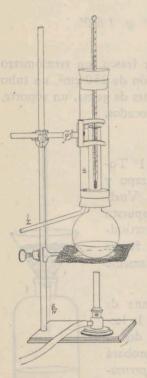


FIG. 261. — Determinación del 100°.

agua entra en ebullición los primeros vapores condensan en el tubo exterior y por el tubo de desprendimiento caen gotas de agua. Continúe calentando. Llegará un momento en que habiendo alcanzado mayor temperatura la cubierta exterior, es franca la salida de vapor de agua por el tubo de desprendimiento b. Mantenga durante unos minutos la ebullición hasta comprobar que la columna de mercurio permanece inmóvil. Repita 3 ó 4 lecturas. Constate con auxilio de otro termómetro que corresponden a 100 grados.

5° Observe la graduación del termómetro y verá que entre los puntos extremos 0° á 100° hay 100 divisiones. Cada una corresponde a 1 centigrado.

Un grado centigrado es, entonces, la variación de temperatura necesaria para producir en la columna mercurial un cambio igual a la centésima parte de la variación que sufre al pasar de 0° á 100°.

6° En una tira de papel marque los extremos correspondientes a 10 divisiones. Llévelos por arriba y por debajo de las

marcas indicadoras del 0° y 100°. Comprobará que las divisiones son idénticas.

EXPERIENCIA Nº 14

CALOR DE FUSION DE HIELO

Material: Un vaso de precipitación de 500 cm³, un termómetro, telas metálicas, mechero. Hielo, agua.

Manipulación: 1º En el vaso de precipitación de 500 cm³, ponga agua hasta la mitad; introduzca un termómetro, déjelo 5 minutos y anote la temperatura.

- 2º Agregue un trozo de hielo, caliente sobre tela metálica y vigile que la temperatura permanezca más o menos estable. Esto lo conseguirá fácilmente mientras tenga hielo y prueba que el calor suministrado por el mechero es gastado por el hielo para fundir; por otra parte, ha demostrado que temperatura y cantidad de calor son magnitudes independientes entre sí.
- 3º Si desea complementar la experimentación en este sentido, tome dos vasos de precipitación de 500 y 100 cm³, respectivamente (fig. 262); coloque agua en ambos hasta la mitad Sométalos a la influencia de una misma fuente de calor. Tome los tiempos y anote las temperaturas y verá que éstas son distintas para los mismos tiempos. Comprobará, simultáneamente, que se requiere que la fuente de calor actúe durante un tiempo mayor en el recipiente de 500 cm³ que en el de 100 cm³ para alcanzar ambos una misma temperatura determinada.
- 4º Tome un vaso de precipitación de 250 cm³ que utilizará como calorímetro, y anote exactamente su peso (Pv). Luego efectúe las siguientes operaciones:
- a) Llénelo de agua destilada hasta alcanzar sus tres cuartas partes y vuélvalo a pesar. Por diferencia obtendrá el peso del agua (Pa).

- b) Determine la temperatura, que llamará temperatura inicial (Ti) y agregue un trozo de hielo (secándolo rápidamente antes de echarlo).
- c) Mientras dura la fusión del hielo agite suavemente con el termómetro al mismo tiempo que observa la marcha de la columna de mercurio. Vea que desciende gradualmente, llega a un

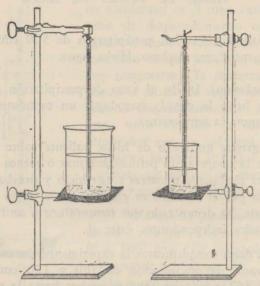


FIG. 262. — Cantidad de calor y temperatura son magnitudes independientes.

mínimum y vuelve a ascender pausadamente en forma constante. Anote esta temperatura mínima como temperatura final (Tf).

d) Retire el termómetro cuidando de que escurra bien, para que no se pierda líquido, y pese de nuevo el calorímetro con el agua. Sea P, su peso. Por diferencia encontramos el peso del hielo (Ph).

$$Ph = P - (Pv + Pa)$$
.

5° Efectúe sus cálculos de acuerdo al siguiente razonamiento: Si en el vaso (Pv) con cierto peso de agua (Pa) a la temperatura (Tf) coloqué hielo (Ph) a 0°C, cuando éste haya fundido, la temperatura del conjunto ha descendido de Ti a Tf, de modo que el calor cedido será igual al peso del agua multiplicado por la diferencia de temperaturas entre la inicial y la final, más, el peso del vaso por su calor específico (c) (¹) igualmente multiplicados por la misma diferencia de temperaturas, lo que puede expresarse por la ecuación:

Este calor cedido ha servido para fundir el hielo y para elevar la temperatura del agua de fusión del hielo de 0°C, a Tf.

El número de calorías empleadas en fundir el hielo es igual al peso de éste por X, (siendo X el calor latente de fusión del hielo, vale decir el número de calorías necesarias para fundir 1 gramo de hielo sin elevar la temperatura del agua proveniente de la fusión), o sea PhX, y las calorías utilizadas para elevar la temperatura del agua de fusión hasta la temperatura final es Ph X Tf (no se considera inicial por partir de 0°C), de lo que resulta que la ecuación calorimétrica total, sin tener en cuenta pérdidas por radiación, es:

Pa
$$(Ti - Tf) + Pv c (Ti - Tf) = PhX + PhTf$$
 de donde:

$$X = \frac{Pa (Ti - Tf) + Pv c (Ti - Tf) - PhTf}{Ph}$$

Es de notar que mientras dura la experiencia una parte del termómetro ha estado sumergida en el agua, por lo tanto también ha cedido calor. Esta cantidad es igual a su volumen (v) multiplicado por el calor específico del termómetro (mercurio y vidrio) que es igual a 0.46 por unidad de volumen, multiplicados también por la diferencia de temperaturas inicial y final, o sea: v 0.46 (Ti — Tf) de manera que la ecuación final correcta será:

$$X = \frac{Pa (Ti-Tf) + Pv C (Ti-Tf) + 0.46 v (Ti-Tf) - PhTf}{Ph}$$

⁽¹⁾ Calor específico del vidrio = 0.195.

EXPERIENCIA Nº 15

VERIFICACION DEL PUNTO DE FUSION

Material: Un termómetro químico hasta 100 o 150° C, un tubo de vidrio de unos 6 mm. de diámetro, un vaso de precipitación, soporte, tela metálica, mechero, ácido esteárico (P. F 69°),

naftalina (P. F. 79.6°, aceite, glicerina.

FIG. 263. — Punto de fusión (comprobación)

Manipulación: 1º Tome un tubo de vidrio, de paredes delgadas y estírelo al mechero cerrándolo en uno de sus extremos.

- 2º Pulverice la substancia y coloque un poco de ella en el tubo así preparado.
- 3º Ate este tubo a un termómetro de manera que la oliva de mercurio quede a nivel de la substancia (figura 263).
- 4º Disponga todo en un vaso de precipitación que contenga un líquido de alto punto de ebullición.
- 5º Cuando se observa que la substancia comienza a fundir se lee en el termómetro y se anota la temperatura; se continúa calentando muy suavemen-

te de modo que la temperatura ascienda en forma pausada (4 ó 5 grados por minuto), observando de continuo el proceso y haciendo lecturas frecuentes del termómetro. Dejando enfriar algunos grados se determina el punto de solidificación.

EXPERIENCIA Nº 16

TENSION DEL VAPOR

Calor de vaporización

Material: Cristalizador, 4 tubos de vidrio de 15 milímetros de diámetro por 80 centímetros de largo, pipeta, balón de 1 litro

de capacidad, probeta para gases, trompa de agua, frasco de Woolf de 500 c.c., tubos de goma, tapones de goma, sacabocados. Mercurio, agua, éter, alcohol.

Manipulación: 1º Ponga mercurio en un cristalizador, y disponiendo de 4 tubos de vidrio de iguales dimensiones, proceda como se indicó en los párrafos 1, 2 y 3 de la práctica anterior.

2º Con auxilio de una pipeta curvada, introduzca sucesivamente en cada tubo algunas gotas de agua, alcohol, y éter, respectivamente (igual cantidad en todos ellos) dejando uno de los tubos como control.

3º Observe. Al comenzar la experiencia, la altura del mercurio era igual en los cuatro tubos. Al colocar las substancias mencionadas se produce un desnivel, pues cada líquido al llegar a la superficie del mercurio se evapora y la columna desciende en una proporción equivalente a la tensión del

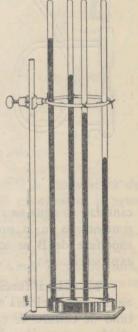


FIG. 264. — Tensión de vapor.

vapor de cada uno, considerada a la temperatura ambiente. Note que siendo mayor para el éter, es menor para el alcohol, y menor

aun para el agua. Ha comprobado así que al comparar varios líquidos, se evidencia que las tensiones de vapor, a una temperatura determinada, varían de uno a otro en sentido inverso al de sus respectivos puntos de ebullición (éter P. Eb 35°, alcohol P. Eb 78°, agua P. Eb 100°).

4º La vaporización de un líquido se produce con absorción de calor. — a) Con una probeta para gases y un tubo grueso arme un aparato como lo indica la figura 265. Coloque una pequeña

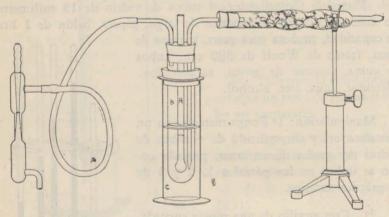


FIG. 265. — Calor de vaporización.

cantidad de agua en el tubo A, éter en el tubo B y ácido sulfúrico concentrado en la probeta C, que tiene por objeto evitar que la superficie de B se empañe y no permita ver el resultado de la experiencia.

- b) Haga funcionar la bomba de vacío y al producirse la aspiración se iniciará una corriente de aire que se seca al atravesar el tubo de cloruro de calcio y burbujeando en el éter determina su rápida evaporación. El frío que se produce hace que en breves instantes el agua contenida en A se congele.
- 5º Calor de vaporización del agua. a) Arme un aparato según muestra la figura 266. Consta de un balón donde se

producirá vapor, un frasco de Woolf intermedio de condensación y un calorímetro aislado sobre base de madera o chapa de amianto.

- b) Caliente el agua del balón, y entre tanto pese el calorímetro bien seco (Pc). Agregue unos 300 c.c. de agua y vuelva a pesar. Por diferencia, encuentre el peso del agua (Pa). Anote la temperatura de la misma que tendrá en cuenta como temperatura inicial (Ti).
- c) Coloque el calorímetro sobre su base aisladora y cuando el desprendimiento del vapor de agua del balón sea abundante,

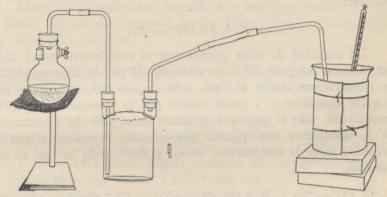


FIG. 266. — Calor de vaporización del agua.

introduzca el tubo de vapor. Al llegar vapor a la temperatura de ebullición del agua (100°) y condensarse, el calorímetro, el agua contenida y el termómetro se calentarán igualmente.

- d) Cuando la temperatura se haya elevado unos 10°, retire instantáneamente el tubo de vapor y aléjelo del calorímetro. Agite el agua con el termómetro para uniformar la temperatura, y anote como temperatura final (Tf) aquella leída en el momento en que comienza el descenso de la columna mercurial.
- e) Vuelva a pesar (P), y calcule la cantidad de vapor condensado (Pv) mediante la ecuación:

$$Pv = P - (Pc + Pa)$$

f) Para calcular el calor de vaporización haga el siguiente

razonamiento: El vapor condensado (Pv) ha cedido al calorímetro (vaso + agua + termómetro) una cantidad de calor igual a PvX, siendo X el calor de vaporización. Ahora bien, como el calor de vaporización es igual al de condensación, resulta que la cantidad de calor cedido es la misma que la que necesitó el agua para vaporizarse, y como además el agua formada por condensación del vapor a 100°C para pasar de esta temperatura a la final (Tf) cede un número de calorías igual a Pv (100°—Tf), tenemos que la cantidad real de calor cedido está expresada por la ecuación:

La cantidad de calor ganado por el calorímetro estará dada por la suma del peso del agua multiplicado por la diferencia entre las temperaturas inicial y final, más el peso del calorímetro por su calor específico (*) multiplicado por la misma diferencia de temperatura, más el peso del volumen sumergido del termómetro (Vt), igualmente multiplicado por su calor específico y por la diferencia entre la temperatura inicial y final, todo lo cual se expresa así:

Ahora, como la cantidad de calor perdido por el vapor al condensarse y alcanzar la temperatura final es igual a la cantidad de calor ganado en el calorímetro, cuyas dos ecuaciones representativas conocemos, podemos establecer la igualdad:

PvX + Pv (100 - Tf) = (Tf - Ti) (Pa + 0.195 Pc + 0.46 Vt). de donde:

$$X = \frac{(Tf - Ti) (Pa + 0.195 Pc + 0.46 Vt) - Pv (100 - Tf)}{Pv}$$

^(*) Calor específico del vidrio 0.195.

EXPERIENCIA Nº 17

CALOR ESPECIFICO DE SOLIDOS Y LIQUIDOS

Material: Cristalizador, trípode, tela metálica, mechero, chapa de metal, cápsula de porcelana, estufa. Cobre, hierro, plomo, estaño, antimonio, parafina.

Manipulación: 1º Tome un mismo peso de cobre, hierro, plomo, estaño, antimonio, procure que sean de una misma forma (varilla o planchuela) y coloque en una estufa a temperatura (C) durante un tiempo (T), en forma que pueda cambiarlas de sitio simultáneamente.

- 2º Por otra parte, funda parafina en un cristalizador, deje enfriar y calentando suavemente al mechero, destaque la chapa de parafina formada.
- 3º Ponga esta chapa sobre trípode de hierro, retire los metales de la estufa y vuélquelos rápidamente sobre ella. Observará que se hunden con diversa rapidez, en virtud de que han acumulado distinta cantidad de calor en un mismo espacio de tiempo.

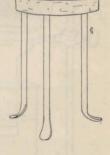


FIG. 267. — Calor específico.

- $4^{\rm o}$ En una medida de dos litros de capacidad, ponga 100 cm³. de agua (P), introduzca el termómetro y después de cierto tiempo anote la temperatura (T) .
- 5º Caliente 50 ó 100 grs. de cada metal (P') a una misma temperatura (T') y luego sumerja en el agua del calorímetro. Repita la experiencia para cada uno cambiando el agua cada vez. Vigile

el aumento de temperatura y anote la final Tf para cada caso. Tenemos:

P peso del agua

T temperatura del agua

P' peso del metal

T' temperatura del metal

Tf temperatura final

Ce calor específico del metal

resultarán prescindiendo (por su pequeño valor) de la cantidad de calor absorbido por el recipiente y el termómetro.

de donde:

$$Ce = \frac{P}{P'} \times \frac{Tf - T}{T' - Tf}$$

EXPERIENCIA Nº 18

EBULLICION DEL AGUA Y LA PRESION

Gráficos

Material: Dos balones de 1 litro de capacidad, dos vasos de precipitación de 50 y de 100 c.c., tubos de vidrio, tapones de go-

ma, sacabocados, termómetro de 150°, soportes, mechero, tela metálica, papel milimetrado, regla, lápiz. Agua destilada, mercurio.

Manipulación: 1º En un balón de litro de capacidad ponga agua hasta la mitad y caliente hasta ebullición. Cuando por la abundante producción de vapor estime que todo el aire ha sido desalojado, retire la llama, tape con un tapón de goma que ajuste bien, invierta el balón y sosténgalo como indica la figura.

Es conveniente que el cuello esté sumergido en agua para tener la seguridad de que no entre aire.

2º Enfrie cubriendo con un paño mojado en agua fria y observe que

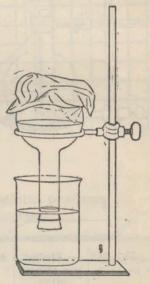


FIG. 268. — Experiencia de Franklin.

el agua entra nuevamente en ebullición aunque su temperatura sea menor de 100°. Se explica porque al condensarse el vapor por influencia del trapo frío la presión interna disminuye.

3º En un balón de 500 c.c., de cuello ancho, arme un apa-

rato como el indicado en la figura 269. Prolongue el tubo de desprendimiento unos 100 centímetros, haciéndolo llegar a un cristalizador con mercurio.

4º Caliente hasta ebullición esperando que se desprenda abundante vapor. Observe que la temperatura es de 100°. Introduzca la

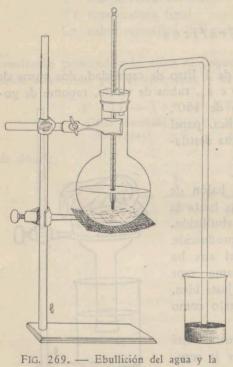


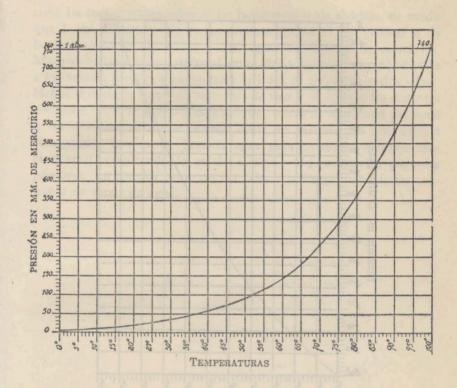
FIG. 269. — Ebullición del agua y la presión.

extremidad del tubo de desprendimiento e n e l mercurio; deje breves instantes; escuche el crujido que produce el vapor de agua al condensarse en el mercurio frío, y retire el fuego.

En cuanto la columna de mercurio comienza a descender observe que el mercurio asciende lentamente por el tubo de desprendimiento. Acelere el enfriamiento con auxilio del paño de agua fria. Observe que el agua vuelve a hervir (como consecuencia de la disminución de presión que se produce) y el mercurio desciende en el tubo de desprendimiento. Repita la operación muchas veces

y comprobará que el mercurio asciende y desciende en cantidades progresivas y menores para cada caso. Observe los cambios de temperatura

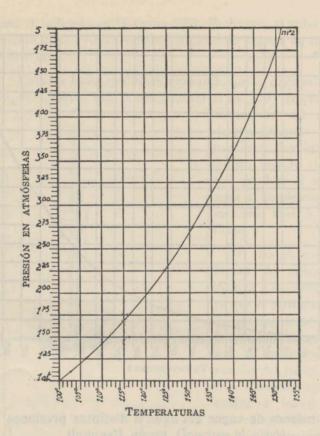
6º Sobre un papel milimetrado, ejercítese en trazar la curva de las tensiones de vapor del agua a las distintas temperaturas de conformidad con los valores que le asigna el cuadro precedente. Es-



Tensiones de vapor del agua a distintas presiones (bajo la normal) según Regnault

Presión en mm. de mer- curio	Tempera- tura en º	Presión en mm. de mer- curio	Tempera- tura en º	Presión en mm. de mer-	Tempera- tura en o
4.525 6.471 9.165 12.699 17.391 23.550	0° 5° 10° 15° 20° 25°	31.548 41.827 54.906 71.391 91.982 117.478	45° 50° 55° 30° 35° 40°	148.39 233.093 354.643 525.692 760 (1 atm) (Presión normal)	60° 70° 80° 90° 100°

Piazza - Física - (Pra. Parte) - P. 22.



Tensiones de vapor del agua a distintas presiones (sobre la normal)

Presión en atmósferas	Temperatura en grados	Presión en atmósferas	Temperatura en grados	Presión en atmósferas	Temperatura en grados
1	1000	2,25	1240,3	3,75	1419,6
1,10	1020,7	2,50	1270,8	4	1440,0
1,25	1060,3	2,75	1300,9	4,25	1469,2
1,50	1110,7	3	1330,9	4,50	1480,3
1,75	1160,4	3,25	1360,6	4,75	1500,3
2	1200,6	3,50	1390,2	5	1510,2

criba las temperaturas sobre el eje horizontal o de abscisas, de modo que 1 cm. represente 5°, y las presiones sobre el eje vertical o de las ordenadas, en la escala 1 cm. igual a 50 mm. de mercurio. Marque con un punto suave el cruce de las líneas correspondientes a los valores presión y luego trace la línea de unión de todos ellos. Habrá trazado la curva de tensiones de vapor de agua a las distintas temperaturas o, lo que es lo mismo, de puntos de ebullición del agua a las distintas presiones. Puede hacer lo mismo con los valores consignados igualmente para el agua para presiones mayores que la normal, empleando la escala 1 cm = ½ atmósfera para las presiones. En los dos casos sus trazados son los gráficos de las tensiones de vapor de agua.

cribe les remperatures cobre el eje borizontal o de abscisas de modo que 1 cm. represente 5 nr les presioner sobre el 95 vertical o de las antenadas, en la recala 1 cm, renal a 50 mm. de mercuria Marque con un pupara surve el cruce de las linées converpondientes a los valores presion y luces prare la linée de unión de rodos ellos ilabra crazado la garte de terracres de cupeor de nome a las discretas ilabra crazado la garte de terracres de cupeor de nome a las discretas de marque valures o, lo cue es la mismo, che puntos de estantes de comignados issultancos para la sura consignados issultancos para el squa para presiones entre que comignados issultancos para el squa para presiones entre las normals, complexado y la cesada a con los praricos de las traspicados de rena el se con los praricos de las traspicados de rena con comignados de rena con traspicado de rena con los praricos de las traspicados de rena

Tunnintes de vapen del sym o distanta presunes

CAPITULO XII

A) CONTINUIDAD DE LOS ESTADOS LIQUIDO Y GASEOSO

Fenómenos críticos. — Vapores y gases

Cuando estudiamos la ley de Boyle Mariotte dijimos que si se reduce el volumen de un gas manteniendo constante la temperatura, la presión aumenta en razón inversa del volumen.

Al referirnos a los vapores saturados, dejamos establecido que al aumentar la presión, dichos vapores pasaban al estado líquido y una vez que ese estado regresaba al estado de vapor proporcionalmente a la disminución de presión.

Ahora bien; si en la misma experiencia (pág. 306, fig. 255) efectuamos un aumento de temperatura en lugar de presión, el volumen varía en igual sentido que la temperatura, más claramente, la masa vapor aumenta o disminuye igual que la temperatura, mientras que la masa líquida lo hace en forma inversa.

De acuerdo a lo dicho, vemos que el volumen, la presión, y la temperatura guardan relaciones definidas. Es posible deducir el estado físico de una substancia si se conocen estas tres circunstancias. Es asimismo posible trazar gráficamente estas relaciones por curvas, pero el hecho de ser tres cantidades no nos permite hacerlo en una sola, sino estableciendo relación de dos de ellas, en el supuesto que la no considerada permaneciera constante.

Así pues, pueden ser trazadas tres clases de curvas a saber:

- a) Relación de presión y volumen a temperatura constante: ISOTERMAS.
- b) Relación de presión y temperatura a volumen constante: ISOMÉTRICAS O ISOCORAS.
- c) Relación de temperatura y volumen a presión constante: ISOBARAS.

Fenómenos críticos. — Antiguamente se diferenciaban los gases llamados permanentes o incoercibles y gases coercibles. Se consideraban permanentes aquellos a los cuales no había sido posible licuar ni por enfriamiento ni por fuerte presión. Actualmente ha desaparecido el concepto de gas permanente desde que ha sido posible licuar y aun solidificar al hidrógeno (—258°9), oxígeno (—227°), nitrógeno (—214°), etc.

Se llama temperatura crítica a la temperatura fija para cada gas por encima de la cual no es posible la liquefacción del mismo, cualquiera fuere la presión a que se le someta. Presión crítica de un gas es la presión mínima requerida para producir su liquefacción; esto es, que un gas sometido a una presión menor que la crítica no se licuará aún cuando se le someta a cualquier temperatura por baja que ella sea. Se expresa que un gas se halla en su punto crítico cuando se halla sometido simultáneamente a la temperatura y presión críticas.

Andrews estudió la compresibilidad isotérmica del anhidrido carbónico y generalizó sus conclusiones en los siguientes enunciados:

- 1º Todos los gases se licúan por debajo de la temperatura crítica pasando por el estado de condensación.
- 2º Por alta que sea la presión, ningún gas se licúa por encima de la temperatura crítica.
- 3º Cuando las presiones son altas y las temperaturas bajas, los gases pueden ser licuados, con variación continua, sin estado de condensación.

Faraday, en 1823 hizo los primeros ensayos de licuación de los gases y consiguió licuar a todos los conocidos en ese tiempo, a excepción del oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y aire.

Natterer insistió en los ensayos de Faraday y tampoco consiguió licuar los gases mencionados, ni aun a enorme número de atmósferas de presión, por lo que fueron considerados gases permanentes.

Andrews, en 1875 demostró que existe una temperatura máxima por arriba de la cual es imposible licuar ningún gas y la llamó temperatura crítica.

Caillet y Pictet y Wroblewski y Olszewski procuraron licuar los gases permanentes combinando la temperatura crítica con la presión y la denominaron presión crítica.

Cuando la temperatura está por debajo de la temperatura crítica y la presión es también menor que la crítica, decimos que el gas se encuentra en su estado crítico.

De conformidad a las experiencias se han determinado las siguientes temperaturas y presiones críticas:

	Temperatura crítica	Presión crítica
anhídrido carbónico	+ 32°	75 atm.
,, sulfuroso	+155°	80 ,,
agua	+365°	196 ,,
amoníaco	+131°	114 ,,
aire	—140°	39 ,,
oxígeno	—118°8	50,8,,
nitrógeno	—149°	35 ,,
hidrógeno	—238°	20 ,,
helio	-267°8	3 ,,

Vapores y gases. — Anteriormente hemos dado el concepto de gas y vapor, no obstante agregaremos que los vapores tienen una temperatura crítica igual o superior a la normal (15° á 20°) y por lo tanto, con una presión conveniente, es posible licuarlos sin necesidad de enfriarlas. Los gases, en cambio, tienen una temperatura crítica por debajo de la normal y sólo es posible licuarlos combinando el aumento de presión con un proporcionado descenso de temperatura.

B) IDEA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA A VAPOR Y MOTOR A EXPLOSION

Máquina a vapor. — La máquina a vapor es un auxiliar precioso de la Humanidad como elemento de transformación de la energía calórica en trabajo mecánico.

Aunque la máquina a vapor sea un invento más o menos reciente, se conocen respecto a ella, antecedentes históricos muy antiguos.

Herón, de Alejandría, matemático y físico, del siglo II después de J. C., había ideado un dispositivo en el que utilizaba la fuerza elástica del vapor.

Salomón de Caus, en el año 1615, o sea a principios del siglo XVII, inventó una máquina para elevar agua a gran altura, aprovechando igualmente la tensión del vapor.

Dionisio Papin, físico y médico francés, en el año 1690, inventó la marmita de su nombre, para conseguir alta presión y extraer así la gelatina de los huesos.

En 1698, el ingeniero inglés Lavery, asociado a su compatriota Newcomen, trataron de sacar provecho industrial al invento de Papin, y construyeron una maquina, que sólo servía como bomba, para extraer agua de los pozos y de las minas, pero no era aplicable como motor.

James Watt, mecánico escocés, construye en 1770 el cilindro a vapor de doble expansión o doble efecto que hicieron de la máquina a vapor el motor universal aplicable a todas las industrias.

Roberto Fulton, norteamericano, consigue en 1807, la aplicación de la máquina a vapor a la navegación y establece un servicio regular entre New York y Albany.

Jorge Sthephenson, ingeniero inglés, perfecciona en 1825 la aplicación a las locomotoras y construye la primera línea de ferrocarril.

Toda máquina de vapor comprende cinco partes esenciales:

a) hogar o generador de calor;

- b) caldera o generador de vapor;
- c) cilindro y pistón;
- d) distribuidor, que hace intermitente la llegada de vapor, y
- e) un mecanismo que transforma el movimiento de vaivén rectilineo del pistón en movimiento de rotación uniforme.

En la figura 270 que representa un corte del cilindro con pistón y del distribuidor, puede apreciarse claramente cual es el trabajo conseguido por la presión del vapor. Llega éste desde la caldera por el tubo (1) a la cámara de distribución (2) y entra al cilindro (3). El pistón (5), impelido por la presión del vapor, al correr trans-

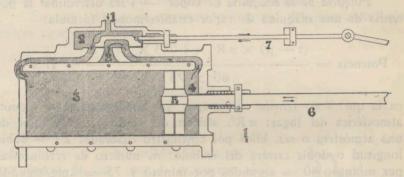


FIG. 270. — Corte esquemático de distribución de una máquina a vapor.

mite la fuerza a través del brazo (6) al volante o rueda de la máquina. El vapor contenido del otro lado del pistón y que había realizado un trabajo anterior, es expulsado hacia el tubo de escape (8). Llegado el pistón a ese extremo del cilindro, un movimiento excéntrico hace que el brazo (7) corra la válvula de distribución y entonces, el vapor que llega por (1), siguiendo el camino inverso, penetra a (4), impele el pistón (5) haciéndole hacer el recorrido de (3) y los vapores contenidos aquí son expulsados igualmente por (8). Como se comprenderá el brazo (6) está siempre en efecto de fuerza, que en el caso de una máquina se transmite por el volante, o tratándose de un locomóvil directamente al rodado.

Es lógico suponer que cuanto más alta sea la temperatura, mayor será la tensión del vapor. A 100°, la tensión es de 1 atmós-

fera, a 120° de 2, a 160° de 6,3 atmósferas o sea, respectivamente: 1,033 kg/cm², 2.000 kg/cm² y 6.300 kg/cm².

Las máquinas a vapor son de dos tipos:

- a) de escape libre o de alta presión en las que el vapor es expulsado directamente al exterior después de haber llegado al cilindro de expansión y efectuado el trabajo. En estas máquinas la presión debe ser siempre superior a cuatro atmósferas.
- b) de condensación o baja presión en las que el vapor usado, es condensado en un condensador refrigerado con agua fría. La presión en estas máquinas es de 1,5 a 4 atmósferas.

Potencia de la máquina de vapor. — Para determinar la potencia de una máquina de vapor establecemos la fórmula:

Potencia =
$$\frac{(t-p) \times \pi R^2 \times 1.033 \times 21 \times n}{60 \times 75} = \text{H.P.}$$

en la que: t = tensión del vapor en atmósferas; p = presión atmosférica del lugar; πR^2 , sección del ébolo; 1.033, valor de una atmósfera o sea, kilos por centímetro cuadrado; 21 = doble longitud o doble carrera del émbolo; n, número de revoluciones por minuto; 60 = segundos por minuto y 75 = kmg/segundo o sea 1 + 1.

Motor a explosión. — Los motores a explosión, llamados también de combustión interna, están basados en el movimiento de un émbolo por efecto de la explosión de una mezcla de combustible de aire y gas o nafta vaporizada en el interior del cilindro. En esos motores, el carburador es el implemento mecánico destinado a equilibrar, en forma técnica, el volumen de aire —por su cantidad de oxígeno— para la cantidad de combustible admitido en cada aspiración.

Temblay, ingeniero francés, en 1840 construyó un motor que hizo funcionar en una línea de vapores, de Marsella a Argel, en que utilizaba vapor de agua con una mezcla de éter y cloroformo.

Montgolfier, Niepce, Stirling y otros, hicieron aplicaciones de aire caliente tratando de aprovechar su fuerza elástica.

Felipe Lebón, concibe la idea de emplear gas de alumbrado y Lenoir (ambos franceses) resuelve su aprovechamiento industrial y comercial.

Beau de Rochas, concibe la idea de la mayor compresión para provocar la espontánea combustión como consecuencia de la alta temperatura desarrollada por la compresión y nuevamente Lenoir imagina el encendido por la chispa eléctrica de una bobina de Rhumkorff.

Recién en 1866, Otto en Alemania, y Langen en el mismo país, perfeccionan el mecanismo de Beau de Rochas y Lenoir, y lo industrializan.

Debemos distinguir dos clases de motores: a) de gas; b) de combustible líquido (nafta, kerosene, gasoil, aceites, fueloil). Por ser de mayor interés, nos referiremos a este último.

En todo motor de combustión interna, debemos considerar cuatro tiempos, a saber:

- 1º Aspiración.
 - 2º Compresión.
 - 3º Explosión (encendido).
 - 4º Escape.

PRIMER TIEMPO. — La mezcla carburada (nafta o combustible "atomizado") por fuerza de aire (por la aspiración violenta), pasa a través del carburador, entra por el caño de admisión (2), (fig. 271) a la cámara de compresión (3). El cilindro (4) exigido por la biela (5) está en curso de descenso.

SEGUNDO TIEMPO. — El cilindro (4) se encuentra en la parte inferior del cilindro, y empujado por la biela (5) en virtud del movimiento del excéntrico (6) sube. Por encontrarse cerradas las válvulas del caño de admisión (2) y de escape (8), comprime la mezcla combustible encerrada en la recámara (3).

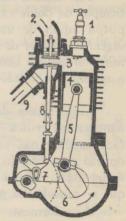


FIG. 271. — Motor a explosión.

TERCER TIEMPO. — En el instante en que el pistón concluye su carrera ascendente, se produce la chispa en la bujía (1) y la

mezcla combustible explota y el pistón hace su recorrido de descenso por expansión de los gases, trasmitiendo su potencia al árbol o eje de bielas.

CUARTO TIEMPO. — En nueva carrera ascendente, el pistón encuentra cerrada la válvula (2) y abierta la (8) por el movimiento del excéntrico (7) en comunicación con el eje de bielas y expulsa los gases de combustión por el caño de escape (9).

Al comenzar su carrera descendente se repite el primer tiempo.

En la actualidad, el aumento de cilindros ha permitido sincronizar a tal punto el efecto de potencia que se ha llegado a un máximo de silenciamiento y de suavidad de marcha. Así mismo el empleo de aleaciones, como el duraluminun, ha permitido reducir el peso de los motores en forma considerable (1 kilo por H.P.), que sumados al aumento considerable de velocidad de carrera del pistón (3000 revoluciones por minuto) han dado enorme incremento al automovilismo y a la aviación.

Por último, no dejaremos de mencionar los motores de dos tiempos de doble explosión y doble escape, o sea, que mientras el pistón aspira de un lado comprime del otro, inventados por el ingeniero Diessel de Munich, y que trabajando a gran presión permiten el uso de combustibles flúidos muy pesados con la enorme economía del costo.

Liquefacción de gases. — Hemos definido los conceptos de temperatura crítica y presión crítica y de conformidad a ello es fácil suponer que todo gas puede ser licuado y que la condición óptima para hacerlo será cuando actúen simultáneamente presión y temperatura. Todos los gases han sido licuados, incluso el helio que se consideraba gas permanente.

Anteriormente definimos también lo que era calor latente y calor de vaporización. Debemos de acuerdo a ello suponer que un gas licuado y sometido a la presión, al dejar de actuar ésta, en forma instantánea, requiera cierta cantidad de calor para vaporizarse; consecuencia de ello, la temperatura disminuye y el cuerpo gas licuado se solidifica.

Un ejemplo típico lo tenemos en la obtención de la nieve carbónica, que luego de ser comprimida constituye el llamado hielo seco.

El gas carbónico (CO₂) licuado por efecto de la presión y guardado en tubos de hierro para gases comprimidos, es puesto en libertad habiendo puesto antes el tubo que lo contiene en posición horizontal, atando una bolsa de género a la salida. El líquido que sale con fuerza por efecto de la presión, produce tal frío al vaporizarse que la temperatura disminuye y el gas carbónico se solidifica en forma de nieve. Esta nieve carbónica, moldeada a presión, constituye las formas de hielo seco que conocemos. La nieve carbónica tiene una temperatura de — 86° y mezclada con éter se alcanza a — 98°.

En la industria de los gases comprimidos para la extracción del oxígeno del aire, comienza por licuarse éste y luego separan sus componentes por destilación fraccionada. Los procedimientos más conocidos son los de Claude y de Lonide. Nosotros nos referiremos a este último por ser el más difundido.

La obtención industrial del oxígeno del aire por el procedimiendo Linde consta de dos fases:

Trataremos en conjunto estas operaciones, describiendo la instalación de una fábrica de oxígeno la que, para mejor ilustración, representamos esquemáticamente, en planta, en la figura 272.

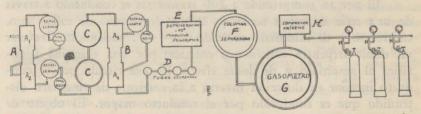


FIG. 272. — Plano esquemático de una instalación para obtener oxígeno.

El aire penetra en el compresor de doble expansión A, y es comprimido en el cilindro A_1 entre $2\frac{1}{2}$ y 3 atmósferas, de resultas de lo cual se calienta a unos 40°. Para enfriarlo atraviesa un refrigerante de agua y luego un "purgador" de aceite, en el que se pu-

rifica el lubricante arrastrado a su paso por el compresor. Entra de inmediato al segundo cilindro A_2 del mismo compresor del que sale comprimido a 10-12 atmósferas y vuelve a ser refrigerado y purificado en igual forma que en el caso anterior.

El aire así comprimido llega a una torre de depuración C en la que abandona el anhidrido carbónico que lo impurifica, mediante un lavado con lejía de soda que penetra en ella por la parte superior y cae en forma de lluvia sobre el relleno de la torre constituído por coke o piezas de arcilla cocida. Dicha lejía es mantenida en circulación por una bomba centrífuga acoplada a la torre. La dirección del aire es contraria a la de la lejía; entra por la parte inferior y sale por arriba hacia el compresor B.

En las instalaciones modernas se utilizan dos torres acopladas; en una de ellas la lejía tiene una concentración de 12º Bé y en la otra 18º Bé; de la primera pasa el aire a la segunda y de ésta al compresor.

Después de esta purificación, el aire, exento de anhidrido carbónico penetra al compresor B, igualmente de doble efecto; llega al cilindro A_3 para salir comprimido a 45 - 50 atmósferas. Como en virtud de esta nueva compresión se calienta 50° - 60° , se repite la operación de refrigeración y purga después de lo cual es tomado por el cilindro A_4 del que sale comprimido a 200 atmósferas. Aquí se calienta nuevamente de 60° a 70° por lo que es otra vez enfriado.

El aire así comprimido a 200 atmósferas es conducido a través de una serie de tubos secadores llenos de cloruro de calcio seco, en trozos, y de inmediato enfriado a — 45°, haciéndolo atravesar un doble serpentín concéntrico enfriado por una máquina frigorifica al amoníaco y de doble efecto. El aire circula por el conducto interior en dirección inversa a la corriente de amoníaco distendido que es conducido por el conducto mayor. El objeto de este enfriamiento es aumentar el rendimiento de expansión del aire comprimido a su llegada a la columna de separación, como así depurarlo de las últimas porciones de agua proveniente de la humedad del aire.

La presión de 200 atmósferas empleada durante la puesta en marcha es rebajada a 35 - 40 atmósferas en régimen normal de

funcionamiento de la instalación, siendo rebajadas proporcionalmente las presiones de los otros tiempos de compresión.

Ya comprimido, desecado y frío, el aire llega a la columna separadora F, cuyo funcionamiento será motivo de una descripción especial.

COLUMNA SEPARADORA. — La columna separadora, representada esquemáticamente en la figura 107, consta de dos cuerpos, uno inferior que llamaremos A y otro superior B, un serpentín de construcción especial que circunda al cuerpo A de la columna, y una serie de comunicaciones y válvulas cuyo funcionamiento se comprenderá claramente una vez descripta la marcha del aire desde su llegada a la misma.

El aire penetra por 1 en el serpentín circundante, recorriendo algunos de los tubos de que éste se compone. En sentido contrario, por los tubos restantes y por el espacio comprendido entre las caras exteriores de los mismos y la envoltura del serpentín, circulan respectivamente oxígeno y nitrógeno fríos, obtenidos como resultado final de la separación que nos ocupa. Como consecuencia de esta contracorriente el aire ya enfriado por la acción de la máquina frigorífica sigue enfriándose, y la disminución de temperatura se acentúa aún más cuando el aire recorre el serpentín S, el que se halla sumergido en aire líquido, rico en oxígeno (56 a 60 %) producto de una de las fases del proceso, según veremos en seguida.

El aire así enfriado y a la presión de régimen ya indicada continúa por el tubo 2 y se expansiona al ponerse en juego la válvula V_1 reduciendo su presión a 5-7 atmósferas que es la presión de régimen en la columna A.

A raíz de esta expansión brusca, el aire se licúa acumulándose en bandejas de cobre perforadas, según se indica en la figura. Por la diferencia entre los puntos de ebullición del oxígeno y del nitrógeno, más bajo el correspondiente a este último, el aire que se deposita en la parte baja que envuelve al serpentín S se enriquece en oxígeno, en tanto que el nitrógeno tiende a acumularse al estado gaseoso en la parte superior o cúpula del cuerpo A. Podrá notarse que el serpentín S desempeña la doble función de refrigerante para el aire que circula en su interior y de hervidor para la mezcla líquida rica en oxígeno acumulada en el evaporador e, contribuyendo, en razón de esta última función, al desprendimiento de nitrógeno en dicha mezcla.

El nitrógeno tiende a salir por el tubo 3 solicitado por la depresión originada como consecuencia de su propia condensación en el serpentín colocado en el evaporador H, condensación provocada, a su vez, por el enfriamiento que experimenta el nitrógeno al hallarse el serpentín sumergido en oxígeno líquido puro cuya procedencia veremos de inmediato.

Dijimos que en el evaporador e se acumulaba aire líquido con un 56 a

60 % de oxígeno a una presión de 5 a 7 atmósferas. Ahora bien, en la columna superior B la presión de régimen es sólo de 0,5 a 0,7 atmósferas. Por consiguiente, el aire líquido rico en oxígeno tiende a ascender por el tubo l

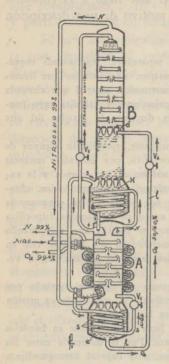


FIG. 273. — Esquema de una columna separadora de Linde.

y a expandirse en la columna B, expansión regulada por la válvula V_2 , produciendo por lo pronto, un mayor enfriamiento.

Hemos dicho que en el serpentín del evaporador H, el nitrógeno se condensaba, acumulándose líquido en la bandeja b, la que, como todo el interior del cuerpo o columna A, está a una presión de 5 a 7 atmósferas. Se comprenderá fácilmente que por la acción de la válvula Va, el nitrógeno líquido casi puro tienda a ascender desde la bandeja b por el tubo del cuerpo B, cayendo en forma de Iluvia sobre las bandejas perforadas colocadas en dicha columna. Allí se evapora en forma continua por la menor presión que soporta, separándose la pequeña cantidad de oxígeno con que aun se hallaba mezclado y robándole nitrógeno a la mezcla rica en oxígeno expansionada a través de la válvula V.

Como consecuencia, el oxígeno líquido con un 99,6 a 99,8 % de pureza atraviesa la criba C y se acumula en el evaporador H, gasificándose por influencia del serpentín sumergido y saliendo por el tubo de desprendimiento 5 recogiéndose, finalmente, en un gasómetro, previo paso por el serpentín que circunda a la columna A, contribuyendo a enfriar, según hemos dicho, al aire que llega desde el compresor.

Simultaneamente el nitrógeno con 99 %

de pureza sale por la parte superior de la columna separadora B, haciéndoselo escapar al aire libre después de aprovecharse igualmente su baja temperatura recorriendo otra sección del mismo serpentín circundante de la columna A, a los efectos de enfriar el aire comprimido de llegada.

El oxígeno que sale de la columna separadora es conducido a un gasómetro G desde el cual es tomado por el compresor H y envasado en tubos de acero a 135 atmósferas en invierno y algo más en verano, teniendo en cuenta la variación de volumen del gas por la temperatura ambiente y por el calor de compresión, de modo que el tubo lleno una vez frío quede a 120 atmósferas.

I N D I C E ALFABETICO DE MATERIAS

INDICE DE CAPITULOS DE ACUERDO AL PROGRAMA

INDICE DE EXPERIENCIAS

DE GABINETE

array on appear a selection of the first property of the property of

INDICE ALFABETICO DE MATERIAS

A		Alf-maintaine C	
Aceleración centrípeta	125	dis	105
Acústica musical	229	Caballo a vapor	105
Afinidad	12	Caída de los cuerpos	76
Aire — Peso específico del	183	Calor específico	284
Altura del sonido	208	Calor — Cantidad de	284
" " — Medida	208	" Equivalente mecánico del	288
Amplitud — Ley de	117	Propagación del	292
Amplitud del sonido	207	,, de fusión	301
Aparejo	55	de solidificación	301
Areómetros		" de vaporización	307
Arquímides — Principio de	161	Calor de fusión del hielo	325
Arte	17	", ", vaporización	329
Atwood — Máquina de	87	., ,, del agua.	33.0
ntwood — maquina de		" específico de sólidos	333
- Harris Room Bo and an		Calorímetro	285
and the shallowing the state of		Cantidad de calor	283
Balanzas	49	Capilaridad 170 y	173
,, condiciones de exactitud	51	Capitulos I, II, III, IV, V. — Ex-	
,, de Roberval	52	periencias	133
Balanza — rendimiento de	143	Capítulos VI, VII y VIII — Ex-	
" hidrostática	161	periencias	235
" de Mohr	166	Capítulos IX, X y XI — Expe-	
Barómetro de Fortin	188	riencias	321
" metálicos	189	Centro de gravedad	41
Barómetro	153	Ciencias	17
Barómetro de cubeta	187	Coeficiente de roce	147
Básculas	52	Coeficiente de dilatación superficial	272
Bicicleta — Teoría elemental de la	57	,, ,, ,, cúbica	272
Bombas hidráulicas	195	Coeficiente de roce resbalante	107
" de incendio	196	,, ,, rodante	109
" neumáticas	198	Coeficientes de dilatación de sóli-	
,, de mercurio	199	dos	271
Boyle Mariotte - Lev de	191	Cohesión	12

Composición y descomposición de		Dilatación — Caso del agua	275
fuerzas	31	,, absoluta de líquidos	274
Composición de fuerzas paralelas .	36	Dinamómetros	30
,, ,, ,, aplicadas .	39		
Composición de movimientos	79	E	
Concepto de flúido	141	INDICE KLEKBETI	
Concepto de temperatura absoluta	279	Ebullición — punto de	305
" " gas perfecto	280	,, — leyes de	305
Conducción	292	" influencia de la presión	306
Convección	294	" y fusión — analogías.	311
Cuerdas	226	del agua y la presión .	335
Cuerdas — Vibración de las	257	Eco	222
Cuplas	59	Energía — juego de la	113
		Energía — concepto	101
		potencial	101
Equivalents medialto del 285	Ac.	, cinética	101
Daniell - Higrómetro de	317	juego de la	101
Densidad - relación con el peso		,, principio de la conser-	
específico	96	vación	102
Densidad de sólidos	163	Enunciado del teorema de las fuer-	
,, ,, líquidos	164	zas vivas	102
,, ,, gases	168	Equilibrio de la palanca	46
Densidad — método de la probeta	237	,, ,, las poleas	53
" " " balanza	238	** ***********	60
" del picnómetro	239	,, de los cuerpos suspen-	
., de líquidos (por compa-		didos	60
ración)	243	Equilibrio de los cuerpos apoyados	62
Densidad de líquidos (tabla com-		Equivalente mecánico del calor	288
parativa)	252	Escala templada	231
Descomposición de fuerzas concu-		Escalas termométricas	263
rrentes	35	Estados líquidos y gaseosos — con-	
Determinación de la aceleración de		tinuidad	340
la gravedad	120	Estado higrométrico	314
Determinación de la forma de la		Experiencias 1, 2, 3, 4, 5, y 6	133
tierra	121	., 7, 8, 9, 10, 11 y 12	235
Determinación del peso específico	237	,, 13, 14, 15, 16, 17	
Día sideral	70	у 18	. 321
" solar medio	70	Experiencias de Dupré	171
Dilatación de sólidos	270	,, ,, Pasteur	171
,, ,, líquidos , , , , gases	274	" ,, Van der Mens-	
,, ,, gases	276	brugghe	171
,, coeficiente de	271	Experimento de Torricelli	186

F minutes in		Att wants — Have be done	
Fenómenos	13	Hidrostática — teorema funda-	
Física y sus relaciones	17	mental	154
Fórmulas	16	Hielo — Calor de fusión del	325
Fórmula de tiempo	116	Higrométrico — Estado	314
Fuerzas — Medida de las	29	Hipótesis	14
,, composición	31	H.P	105
,, paralelas	36	Humedad absoluta	314
,, concurrentes	36	" máxima	315
" paralelas de sentido con-		,, relativa	315
trario	38	A STATE OF THE PARTY OF THE PAR	Toda.
Fuerzas aplicadas	39	I and all all all all	
Fuerza — Momento de una	45		
Fuerza viva — Teorema de	102	Impulso y cantidad de movimiento	91
la 102 y Fuerza centrífuga	103	Industria	17
,, paralelas	127	Inercia — Principio de Introducción	9
,, concurrentes	138	Intensidad del sonido	208
,, aplicadas	141	Isocronismo — Ley de	117
Fuerza	27	The state of the s	111
Fusión	299	K K	
" influencia de la presión .	300	The second second	
,, leyes	300	Kepler — Leyes de	130
" y ebullición — analogía.	311	Kilográmetro	290
" - Verificación del punto de	328		1
Fusión — Calor de	301	L	
Flúido — Concepto de	151		Tarapa .
Frecuencia del sonido	207	Ley	15
		Ley de amplitud	117
G		,, ,, isocronismo	117
		., ,, substancia	117
Gases — Pesos de los	181	" " longitud	118
" — Presión de los	184	,, ,, intensidad de la gravedad	119
Gay Lussac — Ley de	276	Ley de Boyle Mariotte	191
Grado centigrado	324	Ley de Gay Lussac	276
Gráfico de volúmenes	245	Leyes del péndulo 116 y	130
Gravedad	40	Leyes de Kepler	130
., — Ley de intensidad de	41	Leyes de fusión	300
la	119	,, ,, la solidificación	301
Gravedad — Determinación de la	119	,, ,, ebullición	305
aceleración de la	120	Líquidos — Velocidad de salida de	175
	-	•	1000

Longitud del péndulo — Ley de 118	Ondas longitudinales 214
Longitud de onda 214	,, — Superposición de 217
	Oscilación — Tiempo de la 114
M	Filled y sun relations
	P P P P P P P P P P P P P P P P P P P
Magnitudes escalares 21	Formels de dempo succession de stante
Manómetro 253	
Manómetros — metálicos 193	Palanca — Equilibrio de la 46
,, de aire libre 192	Palanca de primer género 47
	.; ,, segundo género 47
The state of the s	., ,, tercer género 47
The state of the s	— Condición de equilibrio 48
	Palanca de primer género 143
Medidas de las fuerzas 29	", " segundo y tercer gé-
Medida del tiempo	
Metro — múltiplos 23	
" — submúltiplos 23	
Mohr — Balanza de 166	1 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
Moléculas simples	
,, compuestas	
Momento	., — Empleo del 121
Momento de una fuerza 45	Período del sonido 207
,, uniforme 71	Peso específico — Gráfico de vo-
Movimiento 67	lúmenes 245
,, de un cuerpo rígido . 67	Peso específico del aire 183
uniforme 71	Polea — Equilibrio 53
,, uniformemente varia-	, fija 54
do 74	" móvil 54
Movimiento de los planetas 129	Potencia
Movimiento oscilatorio 205	Plano inclinado 58
Movimiento circular uniforme 122	Presión de cohesión molecular 172
Movimientos — composición 79	Presión atmosférica 185
Wovimentos — composición	Presión
N	Presiones laterales 156
	Prensa hidráulica 159
Naturaleza del sonido 207	Principio de acción y reacción 65
Newton — Ley de gravitación . 130	., ,, inercia 79
Nonius	,, ,, masa 85
	,, ,, la conservación de la
Light de Kipler	energía
OLL monumeration of the printer of the	Principio de Pascal
Onder Proposition de 212	Principio de Arquímedes 161
Ondas — Propagación de 213	The same of the sa
Longitud de 214	Principio de los barómetros metá-
,, transversales 214	licos

Propagación del sonido	219	Sonómetro	
,, ,, — Veloci-	220	Sublimación	
dad de		Substancia — Ley de	
Propagación de ondas	213	Superposición de ondas	
R		T T	
D. P. St.	294	The same of the sa	
Radiación		Temperatura absoluta — Concepto	279
Rendimiento	106	Temperatura — Noción de	
Resonancia 222, 227 y	228	Tensión superficial	
Resonadores	108	Tensión del vapor	329
Roce — Coeficiente		Teoría	15
Roce — Coeficiente	147	Teoría elemental de la bicicleta .	57
Romana	53	Teorema fundamental de la hi-	
Rotación de la tierra — Compro-	121	drostática	104
bación	121	Teorema de las fuerzas vivas	102
Rozamiento	100	Termómetros de mercurio	262
Rozamiento — Coeficiente		— Puntos fijos	263
Rozamiento	147	— Escalas	263
Rutherford — Termómetro de	267	" de máxima	266
		", ", mínima	266
S		,, máxima y de mí-	
	1	nima	266
Sifón	196	Termómetro — Prueba de	323
Sirena de Cagniard de Latour	209	— Comprobación de	
Sistema C.G.S	94	0° y 100°	323
Six y Bellani - Térmometro de	268	Termómetro a gas	278
Sobrefusión	302	Termometrógrafo	268
Solidificación	301	Tiempo de oscilación	114
" — Leyes de la	301	Timbre del sonido	211
,, - Calor de	301	Torno	56
Solidificación y condensación —		Tornillo micrométrico	26
Analogías	311	Torricelli — Teorema de	175
Sonido amplitud	207	,, Experimento de	186
Período del	207	Tubos - Vibración de los	224
,, - Frecuencia del	207	,, de lengüeta	225
" - Características del	207	Tyndall — Experimento de	289
Perceptibles - Limites	212	Trabajo mecánico	98
Sonido — Reflexión del	221	— Unidades	98
Sonido — Naturaleza del	207	,, motor , , ,	99
Sólidos — Dilatación de	270	,, resistente	99

Trabajo — Aplicación 99	CO	
" — Aplicación al plano		
inclinado 100	Vaporización — Calor de	307
Trabajo — Aplicación a la palanca 100	Vaporización	304
Traslación y rotación 68	Vapores saturados	306
Trompa de agua 199	Vasos comunicantes	157
	Velocidad lineal	122
U	,, angular	123
	Velocidad de salida de líquidos .	175
Unidad de tiempo 69	Vernier	24
Unidad de peso	Verificación del punto de fusión	328
Unidades derivadas 23	Vibraciones	223
Unidades 92	Vibración de los tubos	224
Unidades de trabajo 98	,, ,, las cuerdas	257
	Volatilización	302

INDICE DE ACUERDO AL PROGRAMA

I

- Caracteres de la materia, 9. Constitución de la materia, 10. Observación y experimentación, 13. Leyes, 15. Hipótesis, 14.
- 2. Magnitudes escalares y vectoriales, 21. El metro, 22. Unidades derivadas de superficie y de volumen, 23. Vernier, 24. Tornillo micrométrico, 26. Palmer, 26.
- Fuerzas, gravedad, peso, 27. Unidades, 29. El peso específico, 29.
 Medida de las fuerzas por los pesos, 29. Representación gráfica, 27.
- 4. Composición y descomposición de fuerzas concurrentes, 31. La regla del paralelógramo, 32. Composición de fuerzas paralelas de igual sentido y de sentido contrario, 36. Composición de fuerzas aplicadas en diferentes puntos de un cuerpo rígido, 39. Centro de gravedad, 40-41.

de Asquimilier 161. Il pheseson

- 1. Momento de una fuerza, 45. Equilibrio de la palanca, 46. Balanza, 49. Equilibrio de las poleas fija, 54; móvil, 54; del torno, 56; del plano inclinado, 58. Cuplas, 59.
- 2. Equilibrio de los cuerpos suspendidos y apoyados, 60.
- 3. Principio de acción y de reacción, 65.

The say would have the second III. It's superate should be said

- Movimiento de un cuerpo rígido, 67; traslación y rotación, 68. Medida del tiempo: unidad, 69. El día solar medio, 70.
- Movimiento uniforme, 71. Definición de velocidad; unidad, 73. Leyes del movimiento uniforme, 72. Representación gráfica, 72.
- Movimiento variado, 73. Definición de aceleración, 73. Unidad, 73.
 Movimiento uniformemente variado, 74. Sus leyes, 75. Representación gráfica, 75. Caída de los cuerpos en el vacío, 76.
- Principio de inercia, 79. Composición de movimientos, 80 81. Principio de superposición, 81.

IV

- 1. Principio de masa, 85. Su comprobación, 87. Comparación de masas, 89-91. Impulso y cantidad de movimiento, 91.
- 2. Unidades: sistema c.g.s. y técnico, 93-94. Densidad, 96. Su relación con el peso específico, 96.
- Trabajo mecánico, 98. Unidades, 98. Aplicación a las máquinas simples, 99. Energía, 101. Energía potencial y cinética, 101. Teorema Je las fuerzas vivas, 102. Potencia, 104.

V

- 1. Péndulo, 103. Juego de la energía, 103. Leyes, 117. Tiempo de oscilación: fórmula, 114. Su interpretación, 116.
- Movimiento circular uniforme, 122. Velocidad tangencial, 122. Velocidad angular, 123. Aceleración centrípeta, 125. Fuerza centrífuga, 127.

Medida de las farrass por los celV 20 Remesentación califra 2/

- Noción de flúido, 151. Fuerza y presión, 151. Presión en el seno de un líquido, 153. Presión en el fondo de un recipiente, 154. Presión de abajo hacia arriba, 155. Vasos comunicantes, 157.
- 2. Principio de Pascal, 159. Prensa hidráulica, 159.
- Principio de Arquímides, 161. Aplicación a la determinación de pesos específicos, 162, 163, 164.

Lautheria de les pales ins. Silvertil 34; del man, 56; del

- 1. Peso de los gases, 168. Peso específico del aire, 168-183. Presión atmosférica, 181-185. Experimento de Torricelli, 186. Barómetro de cubeta, 187. Principio de los barómetros metálicos, 188-189.
- Ley de Boyle Mariotte, 191. Manómetros de aire libre y de aire comprimido, 192.
- 3. Bombas hidráulicas, 195. Sifón, 196.
- 4. Bombas neumáticas, 198.

VIII

Movimiento oscilatorio, 205. Amplitud, período y frecuencia, 207. Naturaleza del sonido, 207. Intensidad, timbre y altura, 207. Límite de los sonidos perceptibles por el sonido humano, 212.

- Propagación de ondas, 213. Longitud de ondas, 214. Propagación del sonido, 219. Velocidad de propagación en los distintos medios, 220.
- 3. Reflección del sonido, 221.
- 4. Vibraciones del diapasón, tubos y cuerdas, 223. Resonancia, 227.

IX

- Noción de temperatura, 261. Termómetro de mercurio, 262. Puntos fijos, 263. Las tres escalas, 263. Empleo de otras substancias termométricas, 265. Termómetros de máxima y mínima, 266.
- 2. Dilatación de los sólidos, 270. Coeficientes de dilatación, 271.
- 3. Dilatación de los líquidos: absoluta y aparente, 274 275. Caso del agua, 275.

X

- Cantidad de calor, 283. Diferencia entre temperatura y cantidad de calor, 283. Calor específico, 284. Calorímetros, 285. Calor específico de gases a presión constante y a volumen constante, 287.
- Equivalente mecánico del calor, 288. Conservación de la energía, 288 -289 - 291.
- Propagación del calor, 292; conducción, 292; convección, 294 y radiación, 294.

XI

- 1. Fusión, 99. Punto de fusión, 299; influencia de la presión, 300. Calor de fusión, 301.
- Vaporización, 304. Tensión de vapor, 305. Vapores saturados y no saturados, 306. Ebullición, 305. Punto de ebullición y calor de vaporización, 307. Influencia de la presión, 307.
- 3. Estado higrométrico, 314. Higrómetro de Daniell, 317.
- 4. Volatilización, 312.

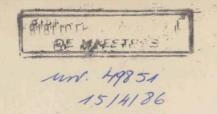
XII

- Continuidad de los estados líquidos y gaseosos, 341; fenómenos críticos, 342. Vapores y gases, 343.
- Idea del funcionamiento de la máquina a vapor y del motor a explosión, 344.

- Equivalence maximum del calor, 188. Conservation de la come 1880.

INDICE DE EXPERIENCIAS DE GABINETE

No	1. — Fuerzas paralelas. — Momento	135
No	2. — Fuerzas concurrentes. — Paralelógramo de las fuerzas	138
Νô	3. — Fuerzas aplicadas en diferentes puntos de un cuerpo rígido — Composición de la resultante	141
No	4. — Palanca de primer género. — Rudimento de balanza	143
Nó	5. — Palancas de segundo y tercer género	145
No	6. — Rozamiento. — Coeficiente de roce	147
No	7. — Determinación del peso específico de sólidos y líquidos	237
No	8. — Densidad de líquidos. — Por comparación	243
No	9. — Gráfico de volúmenes con relación al peso específico	245
Nó	10. — Flotadores o areómetros. — Construcción, empleo, escalas	250
No	11. — La presión. El barómetro. — Manómetro	253
Νô	12. — Vibración de las cuerdas. — Sonómetro. Resonancia	257
No	13. — Prueba de termómetro, Comprobación del 0° y 100°	323
Nº	14. — Calor de fusión de hielo	325
No	15. — Verificación del punto de fusión	328
Νġ	16. — Tensión del vapor. — Calor de vaporización	329
No	17. — Calor específico de sólidos y líquidos	333
No	18. — Ebullición del agua y la presión	335



INDICE DE EXPERIENCIAS DE GABINETE

	the second state of the se	
136	-Fueres pacifics - Monanto	
	- Person reacurement - Parallellarano de las feireses	
ui.		
	Rosamicato Coeficiente de roce	
	- Potadora o apalmercos, - Construción, empleo, escalas,	
	Culor expedition de adhidos y liquidos	
	- Chullicia de area y la neulón	

Este libro se terminó de imprimir el día 22 de Mayo de 1940, en los Talleres Gráficos de Aniceto López, Córdoba 2082 -- Buenos Aires

