TEXTO DE FISICA

4º AÑO DE HUMANIDADES

ROBERTO HERRERA F.

TEODORO JARUFE A.

5593

TEXTO DE FISICA

IV Año Hdes.

En muchos, por no decir todos los campos de la ciencia, se ha hecho notar, en lo que va de este siglo, un avance arrollador que ha significado dar grandes saltos al conocimiento humano.

Pero si bien es grande, en todo el panorama científico, el logro de nuevos o más completos conocimientos, es en la órbita de la Física donde asistimos a una nueva penetración en lo que parecía aún un campo de aprendizajes y conquistas lejanas.

¿De qué están hechas las cosas y qué es lo que les hace presentar características o propiedades como es la de producir luz, la de atraer a otras materias? ¿Cómo es posible que un aumento de la energía que mueve a un cuerpo no coincida con igual aumento de la velocidad lograda? ¿Dónde se queda una parte de esa energía? ¿Y qué es lo que hace que nuestro cuerpo trate de seguir en movimiento si nos detenemos bruscamente?

Hasta hace muy poco los alumnos de Colegios y Liceos debían contentarse con recibir las enseñanzas de la ciencia de la Física en forma teórica, casi imposible de alcanzar, salvo para unos pocos iniciados, y, siempre, en forma teórica, lejana a la vida inmediata.

El FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA, que tiene, como su nombre lo indica, una especialización en los campos de la enseñanza y que quiere aprovechar, para servicio de los alumnos de humanidades de Chile, lo más moderno, novedoso y científico, ha escogido justamente la Física entre las materias para sus primeros textos de estudio.

Es así como ha pedido a los profesores señores Roberto Herrera y Teodoro Jarufe, un trabajo que, podemos

FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA

Agustinas 814, Local 28, Teléf. 381711, Casilla 3942

Santiago, CHILE

1961

ROBERTO HERRERA F.

Prof. de Matemáticas y Física (Univ. de Chile). Profesor en la Escuela Militar Gral. B. O'Higgins, en el Liceo Experimental Darío E. Salas y en el Colegio de San Ignacio.

TEODORO JARUFE A.

Prof. de Matemáticas y Física (Univ. de Chile). Profesor en el Liceo Experimental Manuel de Salas, dependiente de la Facultad de Filosofía y Educación de la Universidad de Chile.

TEXTO DE FISICA

para el

Cuarto Año de Humanidades

3.era edición

FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA

FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA

AGUSTINAS 814 - LOCAL 28 - SANTIAGO DE CHILE

1 9 6 1

1.a Edición - Septiembre de 1959.

2.a Edición - Marzo de 1960.

3.a Edición - Marzo 1961

De los mismos autores

TEXTO DE FISICA - V - Año Hdes.

Printed in Chile
FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA
Casilla 3942 Santiago-Chile.

"Cultivar la ciencia por la utilidad práctica inmediata, es desvirtuar el alma de la propia ciencia".

P R O L O G O

El portentoso avance de la ciencia en el mundo del presente, y en especial de la Física, con sus maravillosas aplicaciones, que superan ya toda fantasía, implica para nuestra educación el deber ineludible y urgente de incorporar esta "nueva Física" en la enseñanza.

Este texto que, en su primera parte, Cuarto Año de Humanidades, entregamos a la consideración de los colegas y alumnos, representa el anhelo de dar un primer paso por alcanzar tal objetivo.

No tenemos la pretensión de haber logrado el ideal. Sin embargo, esperamos confiados en que este esfuerzo sea comprendido y valorado como una sincera contribución a la solución de los problemas que significa la enseñanza de esta asignatura, en los liceos y colegios de la República.

Lo hemos escrito con el corazón y la mente puestos en nuestros alumnos y, por ello, esperamos permita a los profesores evitarse el trabajo, tan tedioso para ellos como para sus alumnos, de destinar al dictado de apuntes parte apreciable de sus lecciones, pudiendo, así, economizar tiempo para aprovecharlo en una mayor ejercitación y experimentación de las materias y haciendo más activa e interesante su clase.

Aspiramos a que los alumnos lo usen, no como texto de consulta ocasional, sino como guía permanente de su estudio, y éste es un segundo gran objetivo que ha orientado nuestro trabajo.

En la exposición hemos procurado la mayor sencillez posible del lenguaje, a la vez que evitado todo exceso de sutilezas y detalles, a nuestro juicio, innecesarios.

El ordenamiento de las materias lo hemos basado en un criterio psicológico, más bien que lógico. Por tanto, y a manera de motivación, hemos iniciado el texto con una ligera visión de la estructura *de la materia, que permitirá poner a los alumnos, de inmediato, en contacto con los conceptos y fenómenos que revolucionan nuestra ciencia actual, al mismo tiempo, que aprovechar y promover su interés e inquietudes hacia "la era atómica".*

Hemos creído conveniente continuar con la hidrostática, previo el tratamiento de los conceptos de fuerza, presión, peso específico y densidad, necesarios para ello, porque no exige mayores abstracciones y su desarrollo es sencillo y de fácil experimentación.

Pasamos luego a la mecánica de los gases, cuyo tratamiento finalizamos con un breve capítulo sobre "la conquista del espacio", con el doble propósito de ilustrar a los alumnos y motivarlos para el estudio de la cinemática y dinámica, que se desarrollan a continuación.

En el capítulo destinado a los principios de Newton hemos procurado la mayor claridad posible en la presentación de los mismos, con ejemplos que permitan la fácil comprensión de su verdadero significado.

A continuación se tratan la estática y los conceptos de trabajo y potencia, a los cuales hemos agregado el de energía, por estimarlo necesario para el desarrollo de la "Séptima Unidad", relativa a las máquinas simples.

Para facilitar el estudio y comprensión de los temas, hemos incluído el mayor número posible de ilustraciones y problemas resueltos. Igual finalidad, unida a la de una necesaria y adecuada integración, le asignamos a las síntesis, cuestionarios y grupos de problemas por resolver, con que damos término a cada capítulo.

También creemos que la inclusión del apéndice final con el cedulario y cuestionarios de bachillerato ha de ser útil para la preparación de dicha prueba.

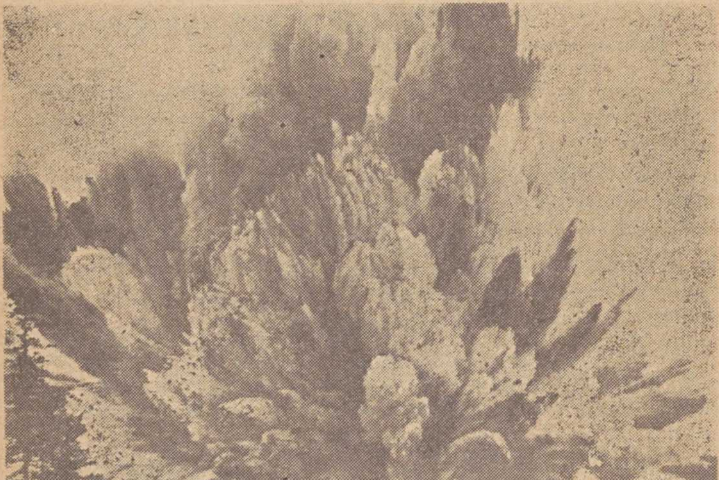
Desde ya agradecemos a nuestros colegas y alumnos la acogida que se dignen dispensar a este "Texto de Física" como, asimismo, toda crítica o sugerencia que nos hagan llegar con el objeto de mejorarlo en el futuro.

Queremos, finalmente, expresar una sentida gratitud hacia quienes, de una u otra manera, nos estimularon e hicieron posible la aparición de este texto que, además, esperamos sea pronto seguido de los correspondientes a los otros cursos de humanidades.

LOS AUTORES

1ª UNIDAD

Conceptos Básicos



Sumario: Capítulo I: MATERIA Y ENERGIA.

1.– Concepto de materia. 2.– Estructura de la materia. 3.– Estructura atómica. 4.– Fuerzas de unión atómica y molecular. 5.– Magnitudes atómicas. 6.– Estados de la materia. 7.– Propiedades generales de la materia. 8.— Fenómenos o cambios de la materia. 9.— Energía y su relación con la materia. Síntesis. Cuestionario.

Capítulo II: FISICA.

10.— La Física es una ciencia natural. 11.— Objetivos de la Física. 12.— Fundamentos de la Física. 13.— Método de la Física. 14.— Ramas de la Física. 15.— Medida de las magnitudes físicas. Sistemas de unidades. Síntesis. Cuestionario.

Capítulo III: FUERZA, PRESION Y DENSIDAD.

16.— Concepto de fuerza. 17.— Medida de la fuerza. 18.— Características y representación de una fuerza. 19.— Concepto de presión. 20.— Unidades de presión. 21.— Concepto de peso específico. 22.— Concepto de densidad. 23.— Determinación de densidades. Síntesis. Cuestionario. Problemas.

LA FISICA Y EL ATOMO

Los misterios del Universo y de la vida han ejercido siempre sobre el hombre una atracción irresistible...

Primero observó maravillado. Más tarde razonó buscando causas... Nació la ciencia y con ella la Física.

Diversos descubrimientos, principios y leyes, ligados a otros tantos nombres de ilustres investigadores de la ciencia, jalonan las distintas etapas en el progreso constante de la Física.

Fenómenos o grupos de fenómenos diferentes acaparan el interés a medida que se avanza: los movimientos, la luz, la electricidad, etc., hasta llegar a la "era atómica", en que el átomo, con su extraordinario mundo inframicroscópico, es el centro de la gran aventura científica de nuestro siglo.

La idea de que la materia está constituída por átomos se inicia con el filósofo griego Demócrito (400 A.C.); pero sólo a partir de 1898 D.C., con el descubrimiento de la radioactividad, se prueba que el átomo está formado por ciertas unidades eléctricas y en 1911 Rutherford da a conocer un esquema fundamental de su compleja estructura.

Einstein afirma que la masa puede convertirse en energía y ello da origen en 1934 al ciclotrón y a la desintegración del átomo. En 1942, el italiano Fermi, en Chicago, logra controlar la primera reacción nuclear en cadena. En 1945 se produce la primera explosión atómica experimental y ese mismo año se lanza en Hiroshima la primera bomba atómica...

Hoy se busca utilizar en gran escala la energía atómica para la preservación de la paz y del progreso del hombre.

CAPITULO I

MATERIA Y ENERGIA

1.– CONCEPTO DE MATERIA.

Observemos un instante lo que nos rodea: los edificios, los vehículos, las mesas, este libro... ¿De qué están hechos?

Basta mirar a nuestro alrededor para darnos cuenta de que las cosas están hechas de *algo*, a lo que desde muy antiguo se le ha dado el nombre de *materia*. Todos los cuerpos, desde los más pequeños, apenas visibles bajo la lente de los más poderosos microscopios, hasta los más grandes y lejanos, que pueblan la inmensidad del universo, *son porciones de materia.*

Todos ellos ocupan un determinado espacio y representan una determinada cantidad de materia, que se puede caracterizar por su peso, por lo cual, para algunos autores modernos, sería materia *"todo aquello que ocupa espacio y tiene peso"* (1).

Pero hay otras "cosas" como la electricidad, la luz, el calor, que no presentan las mismas características que el resto de la materia; se les da el nombre de *energía.*

Sin embargo, la energía no es más que una forma diferente de materia o de comportamiento de la misma, como se verá más adelante.

Así pues, el universo se compone de materia y energía.

---

(1) Modern Physics – Dull, Metcalfe y Brooks.

2.– ESTRUCTURA DE LA MATERIA.

La experiencia diaria nos enseña que la materia es divisible. Por ejemplo, un sólido puede reducirse a polvo impalpable, constituído por partículas sólo visibles al microscopio.

Tomemos, entonces, un trozo de tiza y dividámoslo en dos. Hagamos lo mismo con cada uno de los fragmentos obtenidos y, repitiendo esta operación sucesivamente, obtendremos cada vez partículas más y más pequeñas.

Parecería que este proceso de división pudiera continuarse indefinidamente. Sin embargo, es evidente que, al final, llegaríamos a un límite.

Las partículas obtenidas en ese límite de división se denominan *moléculas.*

Cualquiera división más allá de este límite originaría dos nuevas partículas que ya no conservarían las propiedades de la tiza.

> *Molécula es la porción más pequeña a que puede reducirse la materia, sin destruir sus propiedades características.*

Si dividimos una molécula de tiza, encontramos que ella está constituída por tres elementos químicos diferentes: calcio (Ca), carbono (C) y oxígeno (O), cada uno de los cuales presenta sus propias características, distintas de las que corresponden a la tiza.

Los elementos químicos son ciertas clases de materia que no pueden descomponerse en otras ni obtenerse por uniones químicas. Hasta el momento, se ha comprobado la existencia de 102 elementos químicos diferentes.

Las partículas de cada uno de los elementos que concurren a la formación de una molécula, se llaman átomos.

> *Atomo es la partícula más pequeña de ciertas clases de materia llamadas elementos químicos.*

Así pues, toda molécula está formada por un número bien determinado de átomos de un mismo elemento o de elementos diferentes.

Según esta forma de constitución de las moléculas, los cuerpos se dividen en:

a) Cuerpos simples: son aquellos cuyas moléculas están formadas por uno o más átomos de un mismo elemento.

b) Cuerpos compuestos: son aquellos cuyas moléculas están constituídas por un número bien determinado de átomos de diferentes elementos. Por ejemplo, una molécula de sulfato cúprico ($Cu\ SO_4$) está formada por: 1 átomo de cobre, 1 átomo de azufre y 4 átomos de oxígeno.

3.– ESTRUCTURA ATOMICA.

La variedad de formas de la materia y sus propiedades correspondientes reside fundamentalmente en la estructura de sus átomos, de manera que, es indispensable partir del esquema atómico, al iniciar el estudio de la materia.

Más aún si consideramos que los átomos, tenidos en un comienzo como imaginarios, constituyen hoy una realidad indiscutible y de tal trascendencia que nuestra época ha tomado de ellos el nombre de "era atómica".

Todo átomo consta de un núcleo y de uno o más electrones.

Núcleo.– Es la parte central del átomo y en él está concentrada casi la totalidad de su masa. Se compone de *protones* y *neutrones*, que se designan con el nombre común de *nucleones*. Los neutrones son ligeramente más pesados que los protones.

(La masa de un protón es aproximadamente igual a 0, 000 000 000 000 000 000 000 001 gramos).

Los átomos, además de ser un conjunto material, tienen naturaleza eléctrica, con cargas positivas y negativas que, en estado normal, constituyen un sistema neutro.

La carga eléctrica positiva está contenida en los protones. Los neutrones no tienen carga eléctrica.

Electrones.— Los electrones constituyen la parte exterior del átomo. Su masa es aproximadamente 1836 veces menor que la de los protones y, en ellos, está contenida la carga eléctrica negativa del átomo.

Los electrones giran en torno del núcleo a grandes velocidades; pero no constituyen pequeños planetas separados, sino que, por el contrario, parecen formar una especie de perturbaciones en forma de ondas.

Una órbita electrónica no es más que una región alrededor del núcleo en la que existen ciertas probabilidades de hallar un electrón.

Resulta, sin embargo, difícil formarse una idea completa de acuerdo con tales abstracciones y, por ello, para ciertos fines concretos, dichas órbitas se representan por líneas curvas en torno del núcleo.

Un átomo neutro o en estado normal tiene igual número de protones que de electrones.

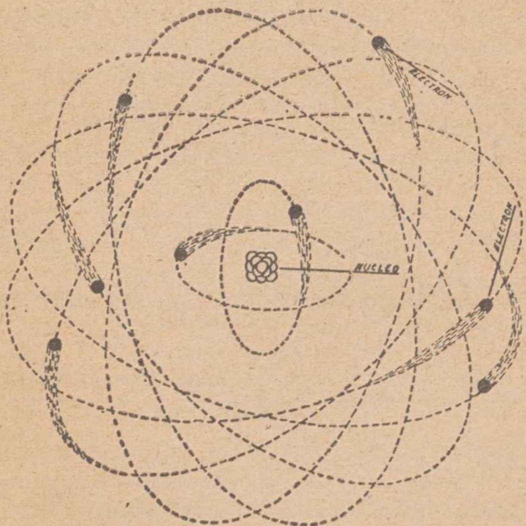


Fig. 1.— Atomo de Oxígeno.

El átomo de estructura más simple es el del hidrógeno (H) que tiene solamente un protón y un electrón.

El átomo de oxígeno posee 16 nucleones y 8 electrones. Los 16 nucleones comprenden 8 protones y 8 neutrones.

Uno de los átomos de estructura más compleja es el del uranio. Por ejemplo, el uranio 238 $\left({}^{238}_{92}\right)U$ tiene 238 nucleones (92 protones y 146 neutrones) y 92 electrones.

La mayoría de los elementos químicos son mezclas de isótopos. Según algunos autores, sería racional considerar a cada isótopo como un elemento, puesto que a cada isótopo le corresponde un átomo distinto. No obstante, hasta hoy, se continúa dando el nombre de elemento a una mezcla de isótopos.

Isótopos de un elemento son átomos cuyos núcleos contienen el mismo número de protones (igual al número de electrones), pero diferente número de neutrones. Por ejemplo, el hidrógeno presenta dos isótopos estables y uno inestable y radioactivo. Los isótopos estables son: el hidrógeno ligero, cuyo núcleo está formado sólo por un protón, y el deuterio, cuyo núcleo lo constituyen un protón y un neutrón. El isótopo inestable y radioactivo es el tritio, cuyo núcleo está constituido por un protón y dos neutrones.

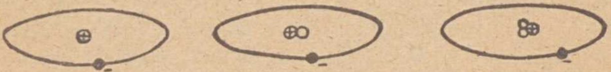


Fig. 2.– Isótopos del Hidrógeno.

4.– FUERZAS DE UNION ATOMICA Y MOLECULAR.

La explicación de la unión de los átomos para constituir las moléculas es compleja, por la variedad de formas de unión y de fuerzas que intervienen.

Fundamentalmente, los átomos se mantienen ligados por fuerzas de atracción electrostática y de intercambio de energía. Además, gran cantidad de uniones están determinadas por la tendencia de los electrones a agruparse en una forma bien definida, por ejemplo, formando pares en el interior de la molécula (covalencia) o grupos de ocho alrededor de cada átomo, en la molécula (octeto).

Entre las moléculas, las fuerzas de unión son más bien de un marcado carácter gravitacional, esto es, dependen de la masa de las moléculas y de la distancia que las separa. Las que mantienen unidas a las moléculas, se denominan fuerzas de *cohesión* y aquellas que tienden a separarlas, como en el caso de los gases, se llaman fuerzas de *expansión*.

5.– MAGNITUDES ATOMICAS.

He aquí algunos datos y opiniones muy ilustrativos para formarse una idea acerca de las dimensiones atómicas:

El diámetro de un núcleo atómico es del orden de las billonésimas de cm (10^{-12} cm), en tanto que el diámetro de un átomo es del orden de las cienmillonésimas de cm (10^{-8} cm), es decir, unas diez mil veces mayor que el diámetro del núcleo.

Linus Pauling, premio Nóbel de Química, 1954, afirma: "Unos 40 millones de átomos puestos en contacto uno a continuación de otro formarían una fila cuya longitud sería aproximadamente de 1 cm".

Sir Arthur Eddington, eminente físico inglés, calculó que, si del cuerpo humano se eliminase todo el espacio vacío y los electrones se comprimiesen contra los núcleos hasta ponerlos en contacto, el volumen del cuerpo no sería mayor que el de esas partículas que se ven flotar en el aire, cuando las ilumina un rayo de sol.

6.– ESTADOS DE LA MATERIA.

En los cuerpos, las fuerzas moleculares se presentan en una gran diversidad de grados. En atención a ellas, se distinguen en la materia tres estados: *sólido*, *líquido* y *gaseoso*.

a) *Sólido*: La cohesión es tan grande que es difícil separar las moléculas de los cuerpos. Por esto, los cuerpos sólidos tienen forma y volumen bien definidos (fierro, madera, vidrio, etc.).

b) *Líquido*: La cohesión es muy débil y las moléculas se separan con facilidad, de modo que los cuerpos líquidos pueden *fluir* libremente. Tienen volumen definido, pero su forma depende del recipiente que los contiene (agua, aceite, vino, etc.).

c) *Gaseoso*: La cohesión es nula y predomina la expansión, de modo que las moléculas se rechazan mutuamente, separándose cada vez más. Los cuerpos gaseosos tienen forma y volumen indefinidos: adoptan la forma del recipiente que los contiene y tienden a llenar totalmente cualquier volumen, pues fluyen con extrema facilidad y en todas direcciones.

La característica común del escurrimiento que presentan los líquidos y los gases se denomina *viscosidad* y permite incluirlos en un solo estado llamado *flúido*.

Desde este punto de vista, la materia sólo presentaría dos estados: sólido y flúido.

Tienen mayor viscosidad los cuerpos que fluyen más lentamente. Los gases tienen el menor grado de viscosidad. Entre los líquidos, el agua tiene muy poca viscosidad, en tanto que la miel, los aceites, son altamente viscosos.

Hoy se habla, sin embargo, de un cuarto estado de la materia que no es ni sólido ni líquido ni gaseoso. Se lo denomina *plasma*.

La materia pasa del estado de gas al estado de plasma sólo a temperaturas muy elevadas, superiores a los 5500° C (temperatura de la superficie solar).

A tales temperaturas, las moléculas están descompuestas en átomos y estos son despojados de sus electrones, de manera que sólo permanecen intactos los núcleos atómicos.

La mezcla de partículas positivas y negativas, formada por los núcleos atómicos y los electrones, constituye el cuarto estado de la materia llamado plasma.

7.– PROPIEDADES GENERALES DE LA MATERIA.

Las propiedades o características de la materia pueden ser generales, si las presenta en todos sus estados o formas, y particulares, si corresponden sólo a ciertos estados o a determinadas sustancias.

Nos interesan aquí, las siguientes propiedades generales:

a) *Extensión.*– La materia ocupa espacio. Esto significa que la materia tiene volumen, es decir, tres dimensiones: largo, ancho y alto, que corresponden a las tres direcciones principales en que se extiende.

b) *Divisibilidad.*– Propiedad según la cual la materia puede fragmentarse sucesivamente hasta obtenerse partículas tan pequeñas como las moléculas, en el límite de divisibilidad.

c) *Peso.*– Todos tenemos la experiencia de la dificultad que representa levantar un cuerpo y también de la caída de éste al soltarlo.

Esto se debe a que la tierra lo atrae hacia su centro con una fuerza llamada *fuerza de gravedad.* La medida de esa atracción es el *peso del cuerpo.*

Debido a la forma irregular de la tierra, esta atracción no es igual en todos los puntos de su superficie. Es mayor en aquellos lugares que están a menor altura, es decir, más próximos al centro de la tierra, por lo cual, la atracción que ejerce sobre los cuerpos es mayor en los polos que en el ecuador.

Así, un mismo hombre puesto primero en el ecuador y luego en el polo, pesa más en el segundo lugar.

d) *Masa.*– Todos los cuerpos están constituídos por cierta cantidad de materia, cuya medida se denomina *masa.*

e) *Impenetrabilidad.*– Dos cuerpos u objetos no pueden ocupar al mismo tiempo el mismo espacio. Esta propiedad se denomina impenetrabilidad de la materia. Es la razón por la cual un clavo al penetrar en la madera "hace" un agujero.

f) *Porosidad.*– Si observamos una esponja, un trozo de azúcar, un ladrillo, vemos que sus moléculas dejan pequeños orificios o "poros".

El agua puede penetrar fácilmente por tales poros y mojar dichos cuerpos.

Más difícil es observar esta característica en otras sustancias; sin embargo, es posible probar que todas las demás sustancias también la presentan.

g) *Elasticidad.*– Un resorte que se estira o comprime, recobra su forma al soltarlo; una lámina de acero puede curvarse y recobrar luego su forma primitiva. Ello es posible porque son cuerpos elásticos, es decir, recobran su forma primitiva cuando cesa la acción de las fuerzas deformadoras.

Los sólidos tienen una elasticidad limitada, los líquidos y los gases, en cambio, pueden considerarse como perfectamente elásticos.

h) *Compresibilidad.*– Es la reducción de volumen que experimenta la materia por efecto de fuerzas exteriores.

Los gases son los más compresibles, en tanto que los líquidos son prácticamente incompresibles.

i) *Inercia.*– Es la imposibilidad de los cuerpos de cambiar su estado de reposo o de movimiento por sí solos.

8.– FENOMENOS O CAMBIOS DE LA MATERIA.

La materia está permanentemente cambiando de forma, de posición, de estado o dando origen a nuevas sustancias.

Estos cambios llamados *fenómenos,* pueden ser de tres tipos: *físicos, químicos* y *nucleares.*

a) *Fenómenos físicos.*– Son todos los cambios que no alteran la composición de las moléculas de los cuerpos.

Por ejemplo, la transformación del agua en vapor de agua es un fenómeno físico, pues no altera la constitución de las moléculas. En ambos, agua y vapor de agua, cada molécula se compone de los mismos elementos, con igual número de átomos: 2 de hidrógeno y 1 de oxígeno.

También el cambio del agua en hielo, la ruptura de cualquier cuerpo, la disolución de un trozo de azúcar, etc., son fenómenos físicos.

b) *Fenómenos químicos.*– Son todos los cambios que alteran la composición de las moléculas y dan origen a nuevas sustancias, con características propias.

Por ejemplo, si una molécula de ácido sulfúrico se pone en contacto con un átomo de zinc, ambos "reaccionan" y forman una molécula de una nueva sustancia llamada sulfato de zinc, quedando libres 2 átomos de hidrógeno, que forman una molécula de hidrógeno.

La molécula de ácido sulfúrico (H_2SO_4) tiene 2 átomos de hidrógeno, 1 de azufre y 4 de oxígeno.

La molécula de la nueva sustancia, el sulfato de zinc ($Zn\ SO_4$), ya no tiene hidrógeno y está formada por 1 átomo de zinc, 1 de azufre y 4 de oxígeno.

c) *Fenómenos nucleares.*– Son cambios que se producen en la estructura del núcleo de los átomos mismos, modificándola y dando origen a nuevos elementos o a nuevas sustancias con características bien definidas.

Muchos de estos cambios se producen espontáneamente en la naturaleza. Un ejemplo característico lo constituyen las sustancias radioactivas, cuyos átomos van perdiendo partículas (rayos alfa, beta y gama) en constante radiación. Esta pérdida termina por transformar la sustancia en otra distinta, con características propias. Así, el radio se transforma en plomo por este proceso de radiación, que va lentamente cambiando la estructura de sus átomos.

9.– ENERGIA Y SU RELACION CON LA MATERIA.

El universo que nos rodea es materia y energía. El calor, la luz, la electricidad, son formas de energía.

Cuando un cuerpo está sometido a la "acción" del calor puede experimentar múltiples transformaciones: el hielo se funde, el agua hierve y se evapora, los alimentos se cuecen, etc.

La electricidad produce también innumerables transformaciones: se utiliza para producir calor y luz, para hacer funcionar toda clase de maquinarias, convirtiendo la energía eléctrica en energía mecánica, etc.

Todas estas transformaciones son consecuencia de la presencia de la energía y, como se manifiesta en toda forma de materia, se dice que "la energía es un constituyente intangible de la materia, cuya verdadera naturaleza aún se ignora".

Sin embargo, podemos afirmar que *energía es un principio de actividad o capacidad de producir trabajo inherente a la materia.*

Durante muchos años, los científicos creyeron que la materia y la energía eran diferentes y se distinguían por la presencia de masa en la materia y su ausencia en la energía.

Alberto Einstein, uno de los más grandes físicos teóricos de nuestro siglo († 1955), fue el que primero afirmó la estrecha relación existente entre m a t e r i a y energía, en 1905. Algunos años más tarde, el desarrollo extraordinario de la física nuclear ha venido a probar afirmación tan fundamental.

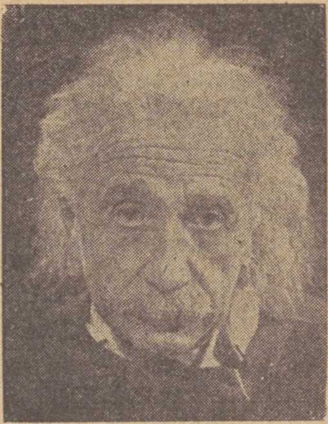


Fig. 3.– Alberto Einstein.

Por muchos años, los científicos afirmaron que la materia no se creaba ni se destruía, sustentando la llamada *ley de conservación de la materia.*

Similar afirmación hacían respecto de la energía, en la llamada *ley de conservación de la energía.*

Todo ello suponía la distinción y separación entre materia y energía.

Hoy, gracias a Einstein y a la física nuclear, podemos reunir ambas leyes en una sola que expresa fielmente la realidad de esa relación:

> *La materia y la energía son intercambiables, de modo que la suma total de materia y energía en el universo es constante.*

Esto significa que, si aparece energía, desaparece cierta cantidad de materia, y si aparece materia, desaparece cierta cantidad de energía. Esta relación se expresa matemáticamente por la fórmula: $E = m c^2$,

en que: E = energía
m = masa
c = velocidad de la luz
(300.000 km por seg)

En el capítulo referente a energía, profundizaremos el significado de esta relación.

SINTESIS

Materia:

- Concepto: todo aquello que ocupa espacio y tiene peso.
- Estructura: está constituida por átomos y moléculas.
- Estructura de un átomo
  - núcleo
    - neutrones
    - protones (+)
    - (neutrones y protones): nucleones.
  - electrones (−)
- *Estados*
  - a) sólido: forma y volumen determinados.
  - b) líquido: volumen determinado; forma indeterminada.
  - c) gaseoso: forma y volumen indeterminados.
- Flúido: forma indefinida
  - líquidos.
  - gases.
- *Propiedades generales*:
  - a) Extensión: ocupa espacio (volumen).
  - b) Divisibilidad: puede reducirse a partículas muy pequeñas, por fragmentación sucesiva.
  - c) Peso: medida de la atracción que la tierra ejerce sobre los cuerpos.
  - d) Masa: medida de la cantidad de materia de un cuerpo.
  - e) Impenetrabilidad: imposibilidad de que dos cuerpos ocupen simultáneamente el mismo espacio.
  - f) Porosidad: espacio entre las moléculas.
  - g) Elasticidad: capacidad de recobrar su forma primitiva, cuando cesa la acción de las fuerzas deformadoras.
  - h) Compresibilidad: reducción de volumen por la acción de fuerzas exteriores.
  - i) Inercia: imposibilidad de los cuerpos de cambiar su estado de reposo o de movimiento por sí solos.
- *Fenómenos*:
  - a) Físicos: no alteran la composición de las moléculas de los cuerpos.
  - b) Químicos: alteran la constitución de las moléculas; originan nuevas sustancias.
  - c) Nucleares: modifican estructura del núcleo del átomo (sust. radioactivas).

Energía:

- Concepto: principio de actividad o capacidad de la materia de producir trabajo.
- Relación con la materia: "la materia y la energía son intercambiables, de modo que la suma total de materia y energía en el universo es constante".
- Ecuación de Einstein: $\boxed{E = m c^2}$

CUESTIONARIO

1.– Defina o explique los conceptos siguientes:

a) materia	g) neutrón	m) inercia
b) molécula	h) masa	n) elasticidad
c) átomo	i) peso	o) compresibilidad
d) núcleo	j) impenetrabilidad	p) cuerpo simple
e) protón	k) porosidad	q) cuerpo compuesto
f) electrón	l) extensión de la materia	r) viscosidad

2.– Dé 5 ejemplos de cuerpos sólidos, líquidos y gaseosos.
3.– Explique cómo podría un fenómeno químico producir un cambio físico.
4.– ¿En atención a qué se dice que la materia presenta 3 estados?
5.– ¿Por qué los líquidos y los gases se denominan flúidos?
6.– ¿Cuál es más viscoso, el petróleo o la miel?
7.– ¿Cuáles son los mejores lubricantes? ¿Qué condición requieren?
8.– ¿Por qué no es posible ya mantener las leyes de conservación de la materia y de la energía separadamente?
9.– ¿A quién se debe la moderna idea sobre la relación existente entre materia y energía?

CAPITULO II

FISICA

10.– LA FISICA ES UNA CIENCIA NATURAL.

El conocimiento científico es una de las formas empleadas por el hombre para conocerse a sí mismo y al mundo que lo rodea, sobre la base de sus causas próximas.

Una ciencia es un conjunto sistematizado de conocimientos científicos, que se refieren a fenómenos u objetos de una misma especie.

Las ciencias que tienen por finalidad conocer la materia y su conducta se llaman ciencias naturales y entre ellas están la Física, la Química, la Biología, la Zoología, la Botánica, la Astronomía, etc.

11.– OBJETIVO DE LA FISICA.

La Física es una ciencia natural cuyo objetivo es el estudio de los fenómenos o cambios físicos que se producen en la materia, para describirlos y establecer sus causas y las leyes que los rigen.

Sin embargo, la delimitación de su campo de acción no es absoluta: abarca también el estudio de fenómenos nucleares y aun de fenómenos químicos.

Así, la física nuclear y la físico-química son ramas de extraordinaria importancia en el campo de la Física moderna.

12.– FUNDAMENTOS DE LA FISICA.

Las bases en que la Física se apoya para lograr su objetivo son:

a) Principio de causalidad.– *"Todo lo que empieza a existir tiene una causa"*.

En efecto, el paso de la nada al ser es absolutamente inexplicable, sin algo que produzca ese paso.

b) Principio de las leyes o determinismo de la naturaleza.– *La naturaleza obedece a leyes*, es decir, *las mismas causas producen los mismos efectos, en iguales circunstancias*. Este principio no rige para fenómenos atómicos.

c) Posibilidad de expresar sus leyes en forma matemática.

d) Postulación de ciertos conceptos fundamentales, como espacio, tiempo y fuerza.

e) Definición de ciertos sistemas de unidades para realizar las mediciones necesarias en su investigación.

13.– METODO DE LA FISICA.

El camino o método seguido por las ciencias, y en especial por la Física, es el *método inductivo* o *experimental*.

Estudia uno o varios casos particulares y sus conclusiones las aplica a todos los casos o fenómenos de la misma especie, mediante una adecuada generalización.

Los pasos a seguir en su aplicación son:

a) Observación.– Nos da la descripción de los fenómenos, que se obtiene por medio de los sentidos y la ayuda cada vez más eficaz de los instrumentos ideados por el hombre.

b) Formulación de una *hipótesis* o posible explicación de los fenómenos.

c) Verificación de la hipótesis por medio de la experimentación, de acuerdo con el principio de las leyes.

Si la hipótesis resulta falsa, se reemplaza por otra y se procede de nuevo a experimentar.

d) Enunciación de la ley.– Comprobada la hipótesis, queda establecida la causa del fenómeno y la ley correspondiente que lo rige.

Esa ley física *es una relación invariable que existe entre el fenómeno físico y la causa que lo produce.*

Por ejemplo: la ley de la gravitación universal de Newton, dice que "todos los cuerpos del universo se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separan".

En ella, el fenómeno es la atracción mutua de los cuerpos y la causa, la fuerza directamente proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separan".

Finalmente, establecida una ley, se procura demostrar también todas las consecuencias que de ella derivan, pasándose ahora a un proceso deductivo.

No siempre una hipótesis puede ser verificada en toda su amplitud como tampoco puede ser negada. Mientras esto ocurre, se reconoce su validez relativa con el nombre de *teoría.*

14.– RAMAS DE LA FISICA.

Los diversos fenómenos físicos se han agrupado de acuerdo con las características comunes que presentan o con relación a su causa, dando origen a varios capítulos o ramas de la Física, cuyo objetivo específico es el estudio de tales grupos de fenómenos.

Ellos son: mecánica, calor, magnetismo, electricidad, acústica, óptica, física molecular, física nuclear y físico-química.

15.– MEDIDA DE LAS MAGNITUDES FISICAS.

SISTEMAS DE UNIDADES.–

Para estudiar las propiedades de la materia es necesario medir sus magnitudes características: longitud, superficie, volumen, velocidad, fuerza, masa, peso, etc.

Medir una magnitud física significa expresar con un nú-

mero (medida) la razón entre esta magnitud y otra de la misma especie, elegida como unidad.

La elección de las unidades es puramente convencional y se la hace de modo que los *patrones*, que representan tales unidades de medida sean lo más invariables posible, a la vez que fáciles de reproducir.

Las unidades que se utilizan para medir las diversas magnitudes físicas se agrupan en varios *sistemas* que pueden clasificarse en la forma siguiente, según las magnitudes básicas que los definen:

I) *Sistemas absolutos.–*

En los sistemas absolutos las magnitudes básicas son: *longitud, masa* y *tiempo.*

II) *Sistemas gravitacionales.–*

Sus magnitudes básicas son: *longitud, fuerza* y *tiempo.*

Unidades correspondientes a estas magnitudes básicas.

1) *Unidades de longitud.–*

La unidad fundamental, convenida universalmente, es el metro (m).

Definición: *Metro es la distancia, medida a O° C, entre los puntos medios de dos rayas paralelas marcadas en una barra de platino e iridio, llamada "metro patrón", que se guarda en la Oficina Internacional de pesas y medidas, en Sévres, cerca de París".*

De esta unidad, según el *sistema decimal de medidas*, derivan:

Múltiplos del m:

Decámetro:		10 m
Hectómetro:	1 hm =	100 m
Kilómetro:	1 km =	1000 m

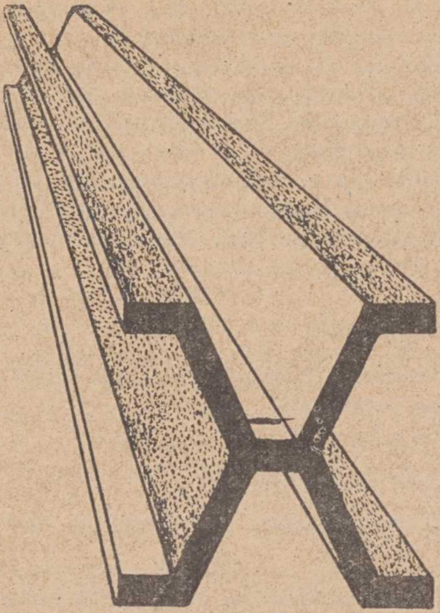


Fig. 4.– Metro patrón.

Submúltiplos del m:

Decímetro:	1 dm =	0,1 m			
Centímetro:	1 cm =	0,01 m			
Milímetro:	1 mm =	0,001 m			
Micrón:	1 μ =	0,001 mm			
Milimicrón:	1 mμ =	0,001 μ	=	0,000001 mm	
Angstrom:	1 A =	0,1 mμ	=	0,0000001 mm	

El micrón, el milimicrón y el Angstrom son unidades muy útiles para medir magnitudes microscópicas.

En los pueblos sajones se utilizan preferentemente como unidades de longitud, *la yarda, el pie* y *la pulgada*, cuyas relaciones con el metro son:

1 yarda	= 0,914 m	= 91,4 cm
1 pie	= 0,3048 m	= 30,48 cm
1 pulgada	= 0,0254 m	= 2,54 cm

Además, conviene recordar aquí las correspondientes unidades de superficie, volumen y capacidad, más usuales.

Unidades de superficie:

1 metro cuadrado:	1 m^2	= 100 dm^2
1 decímetro cuadrado:	1 dm^2	= 100 cm^2
1 centímetro cuadrado:	1 cm^2	= 100 mm^2
1 pie cuadrado:	1 pie^2	= 929,03 cm^2
1 pulgada cuadrada:	1 $pulg^2$	= 6,45 cm^2

Unidades de volumen:

1 m^3 = 1000 dm^3
1 dm^3 = 1000 cm^3
1 cm^3 = 1000 mm^3

Unidades de capacidad:

1 litro: 1 l = 10 dl = 100 cl = 1000 ml
1 dl = 10 cl = 100 ml
1 cl = 10 ml

2) *Unidades de masa.–*

Se conviene universalmente en adoptar como unidad fundamental el *kilógramo* (kg).

Fig. 5.– Kilógramo patrón.

Definición: *Kilógramo es la masa de un cilindro de platino e iridio, llamado "kilógramo patrón", que se guarda en la Oficina Internacional de pesas y medidas en Sévres, cerca de París.*

El kilógramo equivale a la masa de agua destilada que puede contener un dm^3 hueco, a 4° C. Por ello se acostumbra definir *el gramo*, que es la milésima parte de un kilógramo, como *la masa de agua destilada que puede contener un cm^3 hueco, a 4° C.*

Entre los sajones, la unidad fundamental de masa es *la libra*, cuya relación con el kilógramo y el gramo es:

$$1 \text{ lb} = 0{,}4535 \text{ kg}$$
$$1 \text{ lb} = 453{,}5 \text{ g}$$

3) *Unidades de tiempo.–*

La unidad fundamental de tiempo, universalmente aceptada, es *el segundo.*

Definición: *Segundo es la 86400 ava parte del día solar medio.*

Día solar es el tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos del sol con respecto a un meridiano terrestre.

Día solar medio es el promedio de la duración de los días solares de un año.

Derivadas del segundo, conforme al sistema sexagesimal, resultan:

1 minuto:	1 min =	60 seg
1 hora:	1 h = 60 min =	3600 seg

4) *Unidades de fuerza.*—

El peso de un cuerpo es una fuerza. Por lo tanto, las unidades de peso sirven para medir cualquier tipo de fuerza. Se conviene en aceptar como unidad fundamental el *kilógramo-peso* o *kilógramo-fuerza.*

Definición: *kilógramo-peso o kilógramo-fuerza es la medida de la atracción que ejerce la tierra sobre un kilógramo de masa, a 45° de latitud y al nivel del mar.*

Se designa por kg-p o $\vec{kg}$, leyéndose, en ambos casos, kilógramo-peso.

Igualmente se define el gramo-peso o gramo-fuerza, cuya designación simbólica es análoga: g-p o $\vec{g}$

$$\text{Como } 1 \text{ kg} = 1000 \text{ g (masa)},$$

$$1\ \vec{kg} = 1000\ \vec{g}$$

Entre los sajones, la unidad de peso convenida es la *libra-peso*, que designaremos por $\vec{lb}$.

Su relación con el $\vec{kg}$ y $\vec{g}$ es:

$$1\ \vec{lb} = 0{,}4535\ \vec{kg}$$

$$1\ \vec{lb} = 453{,}5\ \vec{g}$$

Ahora bien, según las unidades básicas que adoptan, los diversos sistemas se dividen en:

1) *Sistema absoluto C. G. S. o cegesimal:*

Magnitud	*Unidad básica*
longitud	centímetro (cm)
masa	gramo (g).
tiempo	segundo (seg)

2) *Sistema absoluto M. K. S. o Giorgi*:

Magnitud	*Unidad básica*
longitud	metro (m)
masa	kilógramo (kg)
tiempo	segundo (seg)

La denominación de C. G. S. y M. K. S. de estos sistemas proviene de la abreviatura de las unidades básicas respectivas.

3) *Sistema absoluto inglés*:

Magnitud	*Unidad básica*
longitud	pie (pie)
masa	libra (lb)
tiempo	segundo (seg.)

4) *Sistema gravitacional técnico*: (1)

Magnitud	*Unidad básica*
longitud	metro (m)
fuerza	kilógramo-peso ($\vec{kg}$)
tiempo	segundo (seg)

5) *Sistema gravitacional inglés*:

Magnitud	*Unidad básica*
longitud	pie (pie)
fuerza	libra-peso ($\vec{lb}$)
tiempo	segundo (seg)

En relación con la utilidad de cada sistema, se acostumbra, además, dar la denominación de *sistemas prácticos*, al absoluto M. K. S. y a los sistemas gravitacionales.

---

(1) Aunque no existe consenso sobre el sentido de este término, lo hemos preferido, por coincidir con muchos autores modernos.

SINTESIS:

Física: ciencia natural

Objetivo: estudio de los fenómenos físicos para establecer sus causas y las leyes que los rigen.

Fundamentos
- a) Principio de causalidad.
- b) Principio de las leyes.
- c) Posibilidad de expresar sus leyes en forma matemática.
- d) Postulación de cierto conceptos fundamentales.
- e) Definición de unidades y sistemas de medida.

Método: experimental o inductivo.

Pasos: a) Observación, b) Formulación de una hipótesis, c) Verificación de la hipótesis (experimentación), d) Enunciación de la ley. (Teoría, si no puede probarse o negarse totalmente).

Ramas: mecánica, calor, magnetismo, electricidad, acústica, óptica, física molecular, física nuclear y físico-química.

Sistemas de unidades: a) Sistemas absolutos.

Sistema	Magnitudes básicas	Unidades básicas
C. G. S.	longitud-masa-tiempo	cm — g — seg.
M. K. S.	longitud-masa-tiempo	m — kg — seg.
Inglés	longitud-masa-tiempo	pie — lb — seg.

Física: ciencia natural

b) Sistemas gravitacionales.

Sistema	Magnitudes básicas	Unidades básicas
Técnico	longitud-fuerza-tiempo	m — $\vec{kg}$ — seg
Inglés	longitud-fuerza-tiempo	pie — $\vec{lb}$ — seg

c) Sistemas prácticos: M. K. S. y gravitacionales (técnico e inglés).

CUESTIONARIO

1.— ¿Qué fenómenos estudia la Física?
2.— ¿Cuáles son sus fundamentos?
3.— ¿Qué método emplea la Física?
4.— ¿En qué consiste una hipótesis?
5.— ¿Cómo se verifica una hipótesis?
6.— ¿Qué es una ley física?
7.— ¿Qué es una teoría?
8.— ¿Qué es medir una magnitud física?
9.— ¿Qué magnitudes definen los sistemas absolutos de unidades?
10.— ¿Qué magnitudes definen los sistemas gravitacionales de unidades?

CAPITULO III

FUERZA, PRESION Y DENSIDAD

16.– CONCEPTO DE FUERZA.

Estirar o comprimir un resorte, sostener un cuerpo, empujar un automóvil, arrastrar una mesa, requiere un "esfuerzo muscular".

En Física, se dice que se ha aplicado una *fuerza* para realizar tales acciones. Luego:

> *Todo esfuerzo muscular nos da una idea intuitiva y clara del concepto de fuerza.*

Fig. 6.– Todo esfuerzo muscular da una idea de fuerza.

Sin embargo, dar una definición rigurosa de fuerza, considerando sus cualidades intrínsecas, es extremadamente difícil, puesto que la idea de fuerza, junto a las de espacio y tiempo, constituye un concepto primario, que la Física debe conformarse sólo con caracterizar por sus efectos.

Los efectos que una fuerza produce al actuar sobre un cuerpo pueden ser:

a) producir, modificar o impedir su movimiento;
b) cambiar su forma, o sea, modificar sus dimensiones, y
c) provocar su ruptura.

De acuerdo con lo expresado, podemos caracterizar la fuerza en las formas siguientes:

Fuerza es el concepto de la causa de los movimientos y de sus variaciones, de las deformaciones y ruptura de los cuerpos.

"Fuerza es todo lo que produce o impide un movimiento o tiene la tendencia a hacerlo" (1).

La propiedad que presenta nuestro planeta de atraer los cuerpos hacia su centro, hace evidente la existencia de una fuerza. Esta fuerza se denomina "fuerza de gravedad".

Esta propiedad no es exclusiva de la tierra. También la presentan el sol, la luna y, en general, todos los cuerpos, de modo que siempre hay una mutua atracción entre ellos.

La fuerza con que la tierra atrae a los cuerpos *parece* extraordinariamente mayor que aquella con que éstos atraen a la tierra y, por ello, nosotros sólo apreciamos la atracción de la primera. *En verdad, ambas fuerzas son iguales*, como se demostrará más adelante.

17.– MEDIDA DE LA FUERZA.

Unidades.

El peso de un cuerpo es una fuerza, puesto que se identifica con la fuerza con que la tierra lo atrae. En consecuen-

(1) Modern Physics, Dull, Metcalfe y Brooks. 1955.

cia, las unidades de peso pueden utilizarse para medir cualquier tipo de fuerza.

Estas unidades son el $\vec{kg}$, el $\vec{g}$ y todos los múltiplos y submúltiplos de ellos, según el sistema decimal de medidas.

En los sistemas absolutos se emplean la dina y el newton. La dina es la unidad absoluta C. G. S. y el newton es la unidad absoluta M. K. S.

Un newton equivale a 100.000 dinas.

Entre estas unidades absolutas y las unidades técnicas existen las siguientes relaciones (2):

$$1\ [\ \vec{g}\ ] = 980{,}6\ [\ \text{dinas}\ ]$$

$$1\ [\ \vec{kg}\ ] = 980600\ [\ \text{dinas}\ ]$$

$$1\ [\ \vec{kg}\ ] = 9{,}8\ [\ \text{newton}\ ]$$

Instrumentos.

Si colgamos un peso del extremo de un resorte, observamos que éste se estira, recobrando su longitud inicial al quitar el peso. Si aumentamos el peso, aumenta el alargamiento del resorte, proporcionalmente al incremento del peso.

Este hecho constituye la base de los aparatos destinados a medir fuerzas, que se denominan *dinamómetros*. Luego, un dinamómetro es un instrumento que permite medir la intensidad de una fuerza, aprovechando la deformación de un cuerpo elástico por la acción de una fuerza, según el principio: *fuerzas iguales producen deformaciones iguales.*

Para graduar o tarar un dinamómetro se cuelgan pesas conocidas y se marcan, sobre la regla adjunta al resorte, las posiciones correspondientes a los distintos pesos por medio de un índice.

La capacidad de medición de un dinamómetro está determinada por el límite de elasticidad del resorte respectivo.

---

(2) Estas relaciones se justificarán más adelante, al tratar los principios de Newton.

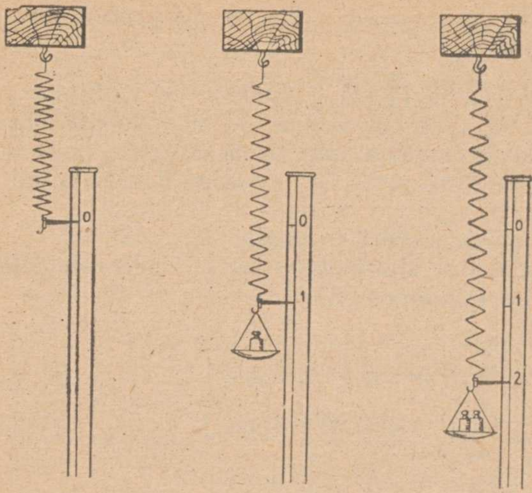


Fig. 7.– Tarado de un dinamómetro.

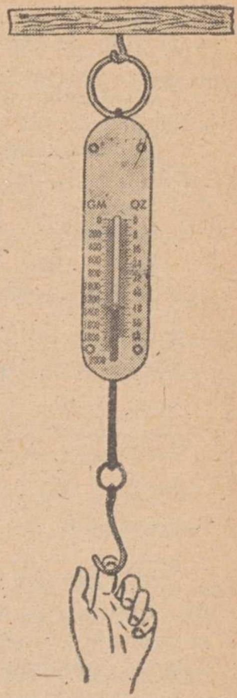


Fig. 8.– Dinamómetro.

La variación del peso de un cuerpo respecto de la latitud es fácil de probar mediante un dinamómetro.

18.– CARACTERISTICAS Y REPRESENTACION DE UNA FUERZA.

Supongamos que para mover un cuerpo se requiere una fuerza de 50 kg. Esta cantidad es la *medida o intensidad de la fuerza.*

Si queremos mover el cuerpo en una dirección determinada, tendremos que aplicar la fuerza en un punto y en una dirección tales que el cuerpo se mueva en la dirección deseada.

Este punto y esta dirección son *el punto de aplicación* y la *dirección de la fuerza.*

Pero, sobre una misma dirección, la fuerza puede aplicarse en dos sentidos y habrá, por lo tanto, necesidad de precisar también el *sentido* de la fuerza.

En consecuencia, para aplicar una fuerza es necesario considerar:

a) Su medida o intensidad: número de unidades;
b) Su punto de aplicación;
c) Su dirección: puede ser horizontal, vertical u oblicua, y
d) Su sentido: puede ser *hacia la izquierda, hacia la derecha, hacia abajo* o *hacia arriba.*

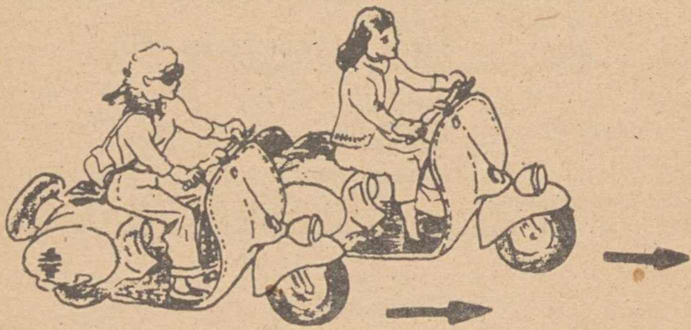


Fig. 9.– En una misma dirección y en un mismo sentido.

Fig. 10.– En una misma dirección pero en distinto sentido.

Las fuerzas y todas las magnitudes que, como ellas, requieren que de cada cantidad se señalen específicamente estas cuatro características para poderlas aplicar, se denominan *magnitudes vectoriales.*

Las magnitudes que, como las longitudes, superficies, volúmenes, etc., quedan perfectamente determinadas al indicarse su medida y la unidad correspondiente, son llamadas *magnitudes escalares.*

Por ejemplo, 30 $\overrightarrow{\text{kg}}$ es una cantidad vectorial, en tanto que 150 litros es solamente escalar.

Una fuerza se representa por medio de una flecha. El origen es el *punto de aplicación,* la punta indica el *sentido,* la recta a que pertenece la flecha indica la *dirección* y su longitud representa la *medida o intensidad,* de acuerdo a una escala previamente establecida.

Estas flechas, en Física, las llamaremos *vectores.*

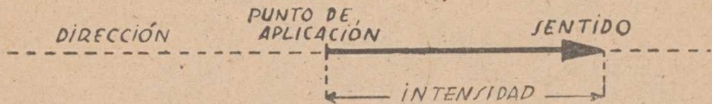


Fig. 11.– Toda fuerza se representa gráficamente por un vector.

19.– CONCEPTO DE PRESION.

Consideremos un paralelepípedo recto de metal, de 3 cm de arista basal y 5 cm de altura, cuyo peso es 405 $\overrightarrow{\text{g}}$.

El cuerpo ejerce en la superficie sobre la cual descansa una fuerza vertical igual a su peso.

Calculemos el peso que soporta cada cm^2 de la cara sobre la cual se apoya.

El área de la base en la Fig. 12a es 9 cm^2. Entonces, si 9 cm^2 soportan 405 $\overrightarrow{\text{g}}$, un cm^2 soportará la 9.ª parte de 405 $\overrightarrow{\text{g}}$, o sea: 45 $\overrightarrow{\text{g}}$.

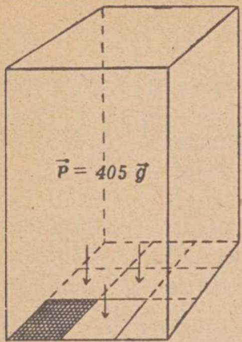


Fig. 12a.— Presión: $45 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2} \right]$

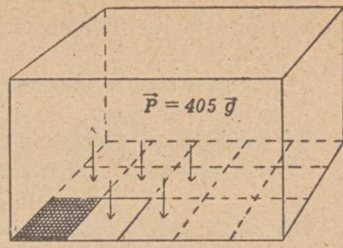


Fig. 12b.— Presión: $27 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2} \right]$

El cuociente obtenido representa el peso que actúa sobre cada cm^2 de la base y recibe el nombre de *presión*. Luego:

> *Presión ejercida por una fuerza sobre una superficie es el cuociente entre la medida de su componente normal a la superficie y el área de dicha superficie.*

Esto es:

$$\text{Presión} = \frac{\text{fuerza normal que actúa sobre cierta superficie}}{\text{área de dicha superficie}}$$

Si designamos por p la presión, por F la fuerza y por S el área de la superficie, se tiene:

$$\boxed{p = \frac{F}{S}}$$

Significado de la fórmula:

a) La presión es directamente proporcional a la fuerza, si el área de la superficie permanece constante;

b) La presión es inversamente proporcional al área de la superficie, si la fuerza permanece constante.

Por otra parte, esto se verifica fácilmente considerando el cuerpo de la Fig. 12a en la posición que indica la Fig. 12b. El área de la base es 15 cm^2 y como el peso del cuerpo es 405 $\vec{g}$, el peso que soporta cada cm^2 es ahora 27 $\vec{g}$ y, puesto que, en el primer caso, sobre cada cm^2 actuaban 45 $\vec{g}$, es evidente que, si la fuerza permanece constante, a mayor área corresponde menor presión. Si comparamos en orden inverso concluímos que a menor área, corresponde mayor presión.

En consecuencia, una fuerza puede producir presiones diferentes, a condición de que varíe el área de la superficie sobre la cual actúa.

Esto explica el uso de esquíes o raquetas para caminar sobre la nieve, que la penetración de los clavos sea tanto más fácil cuanto más aguda sea su punta, que un cuchillo corte con mayor facilidad cuanto mayor sea su filo, que Ud. prefiera una silla a un clavo para sentarse, etc.

También es fácil probar que fuerzas diferentes, actuando sobre superficies diferentes, pueden originar presiones iguales.

$$\text{Sean} \quad p_1 = \frac{F_1}{S_1}$$

$$\text{y} \quad p_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

las presiones que las fuerzas F_1 y F_2 ejercen sobre las superficies S_1 y S_2, respectivamente. Entonces, para que las presiones p_1 y p_2 sean iguales, deberá cumplirse que:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

lo que puede también escribirse como:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

Luego, fuerzas diferentes pueden originar ***presiones iguales*** *a condición de que sean* ***directamente proporcionales a las áreas de las superficies sobre las cuales actúan.***

20.– UNIDADES DE PRESION.

De la fórmula de presión: $p = \dfrac{F}{S}$ se deduce que:

$$\text{Una unidad de presión} = \frac{\text{una unidad fuerza}}{\text{una unidad de superficie}}$$

Por lo tanto, en los diversos sistemas, las unidades **básicas** correspondientes son:

a) Sistema absoluto C. G. S.:

$$\frac{1\,[\text{ dina }]}{1\,[\text{ cm}^2\text{ }]} = 1 \left[\frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}\right] = 1\,[\text{ baria }]$$

Una baria es la presión ejercida por la fuerza normal de una dina que actúa sobre **1** ***cm***^{2} ***de superficie.***

b) Sistema absoluto M. K. S.:

$$\frac{1\,[\text{ newton }]}{1\,[\text{ m}^2\text{ }]} = 1 \left[\frac{\text{newton}}{\text{m}^2}\right] = 1\,[\text{pascal}]$$

c) Sistema Técnico:

$$\frac{1\ [\ \vec{kg}\ ]}{1\ [\ m^2\ ]} = 1 \left[\frac{\vec{kg}}{m^2} \right]$$

d) Sistema gravitacional inglés:

$$\frac{1\ [\ \vec{lb}\ ]}{1\ [\ pie^2\ ]} = 1 \left[\frac{\vec{lb}}{pie^2} \right]$$

Sin embargo, las unidades usadas más corrientemente son las siguientes:

1 [bar] = 1 [megabaria] = 1.000.000 [barias]
1 [milibar] = 1000 [barias]

El milibar ha sido adoptado internacionalmente para la medida de presiones atmosféricas.

$$1\ [\ \text{atmósfera técnica}\ ] = \frac{1\ [\ \vec{kg}\ ]}{1\ [\ cm^2\ ]} = 1 \left[\frac{\vec{kg}}{cm^2} \right]$$

$$1\ [\ \text{atm. física}\ ] = 1{,}0336 \left[\frac{\vec{kg}}{cm^2} \right]$$

$$\frac{1\ [\ \vec{g}\ ]}{1\ [\ cm^2\ ]} = 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2} \right]$$

$$\frac{1\ [\ \vec{lb}\ ]}{1\ [\ pulg^2\ ]} = 1 \left[\frac{\vec{lb}}{pulg^2} \right]$$

Reducción de unidades:

Ejercicio Nº 1.–

Expresar en $\left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2}\right]$ la presión de 0,3 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$

Solución:

$$1\ \vec{kg} = 1000\ \vec{g}$$
$$0{,}3\ \vec{kg} = 0{,}3\ .\ 1000\ \vec{g}$$
$$0{,}3\ \vec{kg} = 300\ \vec{g}$$

Luego: $0{,}3 \left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right] = 300 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2}\right]$

Ejercicio Nº 2.–

Expresar en $\left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$ la presión de 0,05 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{mm^2}\right]$

Solución:

Por definición 0,05 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{mm^2}\right]$ significa que 1 mm^2 de superficie soporta una fuerza de 0,05 $\vec{kg}$.

Y como 1 cm^2 = 100 mm^2, entonces 1 cm^2 soportará 100 veces la fuerza que soporta 1 mm^2, esto es:

Luego:

$$0{,}05\ \vec{kg}\ .\ 100 = 5\ \vec{kg}$$

$$0{,}05 \left[\frac{\vec{kg}}{mm^2}\right] = 5 \left[\frac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$$

Ejercicio 3.– Expresar en $\left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right]$ la presión de 50 $\left[\frac{\vec{kg}}{m^2}\right]$

$$50 \left[\frac{\vec{kg}}{m^2}\right] = \frac{50\ [\ \vec{kg}\ ]}{1\ [\ m^2\ ]}$$

y como: $1\ [\ \vec{kg}\ ] = 1000\ [\ \vec{g}\ ]$

$1\ [\ m^2\ ] = 10.000\ [\ cm^2\ ]$

se tiene: $50 \left[\frac{\vec{kg}}{m^2}\right] = \frac{50\ .\ 1000\ [\ \vec{g}\ ]}{10.000\ [\ cm^2\ ]} = 5 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right]$

Problema 1.– Calcular la presión ejercida por una chinche cuya punta tiene una superficie de 0, 1 mm^2, si se ejerce sobre ella una fuerza de 1 $\vec{kg}$. Exprese en $\left[\frac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$

Solución.–

$$F = 1\ [\ \vec{kg}\ ]$$
$$S = 0{,}1\ [\ mm^2\ ]$$
$$p = x$$

$$p = \frac{F}{S}$$

Reducción de unidades:

$$1\ [\text{mm}^2] = 0{,}01\ [\text{cm}^2]$$

$$0{,}1\ [\text{mm}^2] = 0{,}001\ [\text{cm}^2]$$

$$p = \frac{1\ [\vec{\text{kg}}]}{0{,}001\ [\text{cm}^2]}$$

$$p = 1000 \left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$$

Respuesta: La presión ejercida es de $1000 \left[\dfrac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$

Problema 2.– ¿Cuánto pesa una persona que ejerce una presión de $250 \left[\dfrac{\vec{\text{g}}}{\text{cm}^2}\right]$ sobre la superficie de 300 cm^2 ocupada por sus zapatos?

Solución.–

$$p = 250 \left[\frac{\vec{\text{g}}}{\text{cm}^2}\right]$$

$$S = 300\ [\text{cm}^2]$$

$$F = x$$

$$p = \frac{F}{S}$$

$$F = p\,S$$

$$F = 250 \left[\frac{\vec{\text{g}}}{\text{cm}^2}\right] .\ 300\ [\text{cm}^2]$$

$$F = 75000\ [\vec{\text{g}}]$$

$$F = 75\ [\vec{\text{kg}}]$$

Respuesta: La persona pesa 75 $\vec{\text{kg}}$.

21.– CONCEPTO DE PESO ESPECIFICO.

Consideremos 1 cm^3 de agua, 1 cm^3 de cobre y 1 cm^3 de oro. Obtenidos sus pesos, se constata que ellos son diferentes, siendo menor para el agua y mayor para el oro.

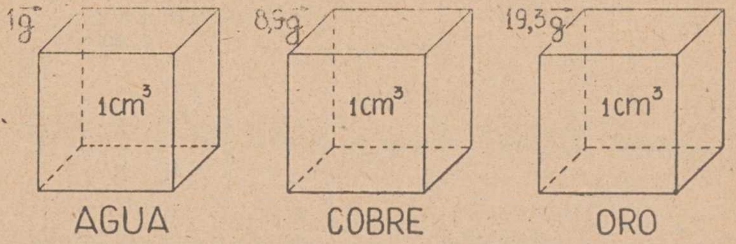


Fig. 13.– Volúmenes iguales de sustancias diferentes tienen pesos distintos.

Supongamos un cubo de metal de 5 cm de arista que pesa 975 $\vec{g}$. ¿Cuánto pesa 1 cm^3 de dicho cubo?

Volumen del cubo = 125 cm^3

Entonces, si 125 cm^3 pesan 975 $\vec{g}$

$$1 \text{ cm}^3 \text{ pesa: } \frac{975}{125} [\vec{g}] = 7{,}8 [\vec{g}]$$

Este peso, correspondiente a cada cm^3 de volumen, se denomina *peso específico* y se obtuvo dividiendo el peso del cubo por su volumen.

Luego:

Peso específico de un cuerpo es el cuociente entre su peso y su volumen.

Esto es:

$$\text{peso específico} = \frac{\text{peso del cuerpo}}{\text{volumen del cuerpo}}$$

Si llamamos ρ (rho) al peso específico, $\vec{P}$ al peso del cuerpo y V a su volumen, entonces:

$$\boxed{\rho = \frac{\vec{P}}{V}}$$

De la fórmula se desprende que:

$$1 \text{ unidad de peso específico} = \frac{1 \text{ unidad de peso}}{1 \text{ unidad de volumen}}$$

En la práctica se emplean preferentemente las dos unidades siguientes:

$$1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \quad y \quad 1 \left[\frac{\vec{kg}}{dm^3}\right]$$

Problema.– ¿Qué volumen ocupa el cuerpo de una persona que pesa 72 $\vec{kg}$, si el peso específico del cuerpo humano es 1,07 $\left[\frac{\vec{kg}}{dm^3}\right]$?

Solución.—

$$\vec{P} = 72 \ [\ \vec{kg}\ ] \qquad \rho = \frac{\vec{P}}{V}$$

$$\rho = 1{,}07 \left[\frac{\vec{kg}}{dm^3} \right] \qquad V = \frac{\vec{P}}{\rho}$$

$$V = x$$

$$V = \frac{72 \ [\ \vec{kg}\ ]}{1{,}07 \left[\frac{\vec{kg}}{dm^3} \right]}$$

$$V = 67{,}29 \ [\ dm^3\ ]$$

Respuesta: El cuerpo de la persona ocupa un volumen de 67,29 dm^3.

Peso específico relativo al agua (ρ_r).—

A menudo se utiliza también el concepto de peso específico relativo, para expresar la comparación del peso de un cuerpo con el peso de un volumen igual de agua destilada a 4° C. Así pues:

> *Peso específico relativo es el cuociente entre el peso de un cuerpo y el peso de un volumen igual de agua destilada a 4° C.*

Esto es:

$$\text{peso específico relativo} = \frac{\text{peso del cuerpo}}{\text{peso de un volumen igual de agua}}$$

Si llamamos ρ_r al peso específico relativo, $\vec{P}$ al peso del cuerpo y $\vec{P'}$ al peso de un volumen igual de agua, entonces:

$$\boxed{\rho_r = \frac{\vec{P}}{\vec{P'}}}$$

El peso específico relativo es un cuociente sin dimensión, es decir, un número abstracto.

¿Qué significan el peso específico y el peso específico relativo de una sustancia?

Que el peso específico del oro sea 19,3 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$ indica que 1 cm^3 de oro pesa 19,3 $\vec{g}$.

Que el peso específico relativo del oro sea 19,3 significa que cualquier volumen de oro pesa 19,3 veces lo que pesa igual volumen de agua destilada.

22.– CONCEPTO DE DENSIDAD.

Determinemos, por medio de una balanza, las masas m_1, m_2, m_3, etc. de distintos volúmenes V_1, V_2, V_3, etc., de una misma sustancia (agua, madera, mercurio, hierro, etc.).

Si formamos los cuocientes entre las masas y sus volúmenes respectivos, encontramos valores iguales. Este valor constante se denomina *densidad* o *masa específica* de la sustancia. Luego:

Densidad de una sustancia es el cuociente entre la masa de una porción cualquiera de dicha sustancia y su volumen.

Esto es:

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa del cuerpo}}{\text{volumen del cuerpo}}$$

Si llamamos *d* a la densidad, *m* a la masa del cuerpo y *V* a su volumen, entonces:

$$\boxed{d = \frac{m}{V}}$$

De la fórmula se deduce que:

$$1 \text{ unidad de densidad} = \frac{1 \text{ unidad de masa}}{1 \text{ unidad de volumen}}$$

De uso preferente, en la práctica, son las unidades siguientes, que son además equivalentes:

$$1 \left[\frac{g}{cm^3}\right] \quad y \quad 1 \left[\frac{kg}{dm^3}\right]$$

La densidad de una sustancia, medida en el sistema C. G. S., es numéricamente igual a su peso específico relativo.

Por otra parte, considerando que la masa de un cuerpo es invariable y que su peso varía con la latitud, podemos concluir que la densidad de una sustancia es un valor constante, mientras que su peso específico es variable para los distintos puntos de la tierra, a condición de que no varíe su volumen.

Problema.– ¿Cuántos kilógramos de oro contiene una barra de 15 cm de largo, 10 cm de alto y 5 cm de ancho, si la densidad del oro es $19{,}3 \left[\frac{g}{cm^3}\right]$?

Solución.–

$$\text{largo} = 15\ [\text{ cm }]$$

$$\text{ancho} = 5\ [\text{ cm }]$$

$$\text{alto} = 10\ [\text{ cm }]$$

$$d = 19{,}3 \left[\frac{g}{cm^3}\right]$$

$$m = x$$

$$V = 750\ [\text{ cm}^3\text{ }]$$

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

$$m = Vd$$

$$x = 750\ [\text{ cm}^3\text{ }]\ .\ 19{,}3 \left[\frac{g}{cm^3}\right]$$

$$x = 14475\ [\text{ g }]$$

$$x = 14{,}475\ [\text{ kg }]$$

Respuesta: La barra contiene 14,475 kg de oro.

23.– DETERMINACION DE DENSIDADES.

Para determinar la densidad de un cuerpo es necesario medir su masa y su volumen y en seguida aplicar la fórmula $d = \frac{m}{V}$.

Según las características que presentan los cuerpos, podemos distinguir los siguientes casos:

a) *Cuerpo sólido de forma geométrica.*

masa: se mide por medio de una balanza.
volumen: se determina aplicando las fórmulas geométricas correspondientes. Por ejemplo:

Volumen del cubo $= a^3$ ($a =$ arista).

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi r^2 h \quad \left\{ \begin{array}{l} \pi = 3{,}1416 \\ r = \text{radio basal} \\ h = \text{altura} \end{array} \right.$$

$$\text{Volumen de la esfera} = \frac{4}{3} \pi r^3 \qquad \pi = 3{,}1416$$

$$\text{Volumen del cono} = \frac{1}{3} \pi r^2 h \quad \left\{ \begin{array}{l} r = \text{radio basal} \\ h = \text{altura} \end{array} \right.$$

b) *Cuerpo sólido no soluble, de forma irregular.*

masa: se mide por medio de una balanza.
volumen: se determina introduciendo el cuerpo en el líquido contenido en una probeta graduada. El aumento de volumen marcado por la probeta representa el volumen del cuerpo.
(Este procedimiento es válido también para los sólidos de forma geométrica, lógicamente).

c) *Cuerpos líquidos.*

masa: se mide por medio de una balanza.
volumen: se determina mediante una probeta graduada o un matraz aforado.

Más adelante iremos estableciendo nuevos procedimientos para determinar la densidad de los cuerpos.

PESOS ESPECIFICOS RELATIVOS AL AGUA

Sólidos

Acero	7.6 — 7.8	Mármol	2.6 — 2.8
Aluminio	2.7	Mantequilla	0.87
Azúcar	1.6	Níquel	8.7
Azufre	2.0	Nylon	1.09 — 1.14
Bakelita	1.25 — 2.09	Oro	19.3
Bronce	8.8	Oro 18 k	14.88
Celuloide	1.4	Parafina	0.87 — 0.91
Cobre	8.9	Plata	15.5
Corcho	0.24	Platino	21.37
Cloruro de sodio	2.1	Plomo	11.34
Cristal	3.3	Porcelana	2.38
Cuerpo humano	1.07	Tiza	2.5
Estaño	7.3	Vidrio Crown	2.5
Grafito	2.25	Vidrio Flint	2.9 — 5.9
Hielo	0.917	Wolframio	19.3
Hierro	7.85	Zinc	7.1

Líquidos

Aceite:			
de oliva	0.918	Gasolina	0.66 — 0.69
de linaza	0.942	Glicerina	1.26
de ricino	0.969	Kerosene	0.82
Agua destilada a 4° C	1.	Leche	1.029
Agua a 18° C	0.9986	Mercurio	13.59
Agua de mar	1.025	Petróleo	0.75
Alcohol etílico	0.789	Ac. clorhídrico (40%)	1.20
Cloroformo	1.50	Ac. nítrico (68%)	1.42
Eter	0.74	Ac. sulfúrico conc.	1.84

Indicación para encontrar la densidad de cualquiera sustancia incluída en la tabla: Si se usa el sistema C. G. S., el peso específico relativo al agua se multiplica por 1 $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$ y si se usa el sistema M. K. S., el peso específico relativo se multiplica por 1000 $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

SINTESIS

Fuerza

- ***Concepto*:**
  - a) causa de los movimientos y sus variaciones, de las deformaciones y ruptura de los cuerpos.
  - b) todo lo que produce o impide un movimiento o tiene la tendencia a hacerlo.
- ***Efectos*:**
  - a) producir, modificar o impedir un movimiento;
  - b) cambiar su forma, o sea, modificar las dimensiones de los cuerpos.
  - c) provocar su ruptura.
- ***Medida*:**
  - a) instrumentos: dinamómetros. Se basan en la elasticidad de la materia, según el principio: "fuerzas iguales producen deformaciones iguales".
  - b) unidades:
    - Sist. C.G.S.: 1 [dina]
    - Sist. M.K.S: 1 [newton]
    - Sist. técnico: 1 [$\overrightarrow{\text{kg}}$]
- *Representación*: por medio de un vector cuyas características son:
  - a) *intensidad* o medida.
  - b) *dirección*: horizontal, vertical u oblicua.
  - c) *sentido*: hacia la derecha; hacia la izquierda; hacia arriba o hacia abajo.
  - d) *punto de aplicación*.

Presión

- *Concepto*: Presión ejercida por una fuerza sobre una superficie es el cuociente entre la medida de su componente normal a la superficie y el área de dicha superficie.

- *Fórmula*:

$$\boxed{p = \frac{F}{S}}$$

- *Unidades básicas*:
  - Sistema C.G.S.: $1 \left[\dfrac{\text{dina}}{\text{cm}^2} \right] = 1$ [baria].
  - Sistema M.K.S.: $1 \left[\dfrac{\text{newton}}{\text{m}^2} \right] = 1$ [pascal]
  - Sistema técnico: $1 \left[\dfrac{\overrightarrow{\text{kg}}}{\text{m}^2} \right]$
  - Sistema gravitacional inglés: $1 \left[\dfrac{\overrightarrow{\text{lb}}}{\text{pie}^2} \right]$

Presión

- *Otras unidades:*
  - 1 [bar] = 1 [megabaria] = 1.000.000 [barias]
  - 1 [milibar] = 1000 [barias]
  - 1 [atm. téc.] = 1 $\left[\dfrac{\vec{\mathrm{kg}}}{\mathrm{cm}^2}\right]$
  - 1 [atm. fís.] = 1,0336 $\left[\dfrac{\vec{\mathrm{kg}}}{\mathrm{cm}^2}\right]$
  - 1 $\left[\dfrac{\vec{\mathrm{g}}}{\mathrm{cm}^2}\right]$; 1 $\left[\dfrac{\vec{\mathrm{lb}}}{\mathrm{pulg}^2}\right]$

Peso específico

- *Absoluto:*
  - Concepto: cuociente entre el peso del cuerpo y su volumen:
  - Fórmula: $\boxed{\rho = \dfrac{\vec{P}}{V}}$
  - Unidades: 1 $\left[\dfrac{\vec{\mathrm{g}}}{\mathrm{cm}^3}\right] = 1 \left[\dfrac{\vec{\mathrm{kg}}}{\mathrm{dm}^3}\right]$

Peso específico

- *Relativo al agua*
  - Concepto: cuociente entre el peso de un cuerpo y el peso de un volumen igual de agua destilada a 4° C:
  - Fórmula: $\rho_r = \dfrac{\vec{P}}{\vec{P'}}$ (N.° abstracto).

Densidad

- *Concepto*: cuociente entre la masa de un cuerpo y su volumen.
- *Fórmula*: $$\boxed{d = \frac{m}{V}}$$
- *Unidades*: $1 \left[\dfrac{g}{cm^3}\right] = 1 \left[\dfrac{kg}{dm^3}\right]$
- *determinación experimental*:
  - a) sólido de forma geométrica:
    masa: balanza.
    volumen: fórmula geométrica correspondiente.
  - b) sólido irregular no soluble:
    masa: balanza.
    volumen: probeta graduada.
  - c) Líquidos:
    masa: balanza.
    volumen: probeta graduada o matraz aforado

CUESTIONARIO

1.– Defina o explique los conceptos siguientes:

a) magnitud escalar
b) magnitud vectorial
c) fuerza
d) presión
e) peso específico
f) peso específico relativo
g) densidad.

2.– ¿Qué características permiten representar una fuerza?
3.– ¿Qué fuerza actúa permanentemente sobre los cuerpos?
4.– ¿Qué ocurriría si no existiese la fuerza de gravedad?
5.– ¿Cómo podría probar que el peso de un cuerpo varía con la latitud?
6.– ¿Por qué se usan raquetas o esquíes para andar sobre la nieve?
7.– ¿Qué significa que el peso específico del mercurio sea

$$13{,}59 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] ?$$

8.– ¿Qué significa 1,5 $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$? (Bachillerato, enero 1959).

9.– ¿Es para Ud. lo mismo densidad que peso específico? Explique. (Bachillerato, enero 1959).

PROBLEMAS

1.– Exprese la presión 0,5 $\left[\frac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$ en $\frac{\vec{kg}}{m^2}$, $\frac{\vec{g}}{dm^2}$ $\frac{\vec{kg}}{mm^2}$.

$$\text{R: } 0{,}5 \left[\frac{\vec{kg}}{cm^2}\right] = 5000 \left[\frac{\vec{kg}}{m^2}\right] = 50.000 \left[\frac{\vec{g}}{dm^2}\right] = 0{,}0050 \left[\frac{\vec{kg}}{mm^2}\right]$$

2.– Calcule la presión que ejerce sobre el suelo una persona que pesa 72 [$\vec{kg}$], siendo 280 [cm^2] el área de la superficie de contacto entre el suelo y los zapatos.

R: 257 $\left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2}\right]$

3.– Sobre la cabeza de un alfiler actúa una fuerza de 100 $\vec{g}$. ¿Qué presión ejerce su punta, si tiene 0,01 mm^2 de superficie?

R: 1000 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$

4.– El área de la superficie del cuerpo humano es, aproximadamente, 1,4 m^2. ¿Qué fuerza ejerce sobre él la atmósfera, si recibe de ella una presión de 1 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$?

R: 14.000 [$\vec{kg}$].

5.– El pistón de un elevador hidráulico de automóviles tiene 7 dm^2 de superficie. ¿Qué presión se requiere para levantar un coche que pesa 1200 [$\vec{kg}$] ?

R: 1,7 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$

6.– Exprese el peso específico del cuerpo humano en $\dfrac{\vec{kg}}{m^3}$, $\dfrac{\vec{g}}{dm^3}$, $\dfrac{\vec{mg}}{mm^3}$.

7.— Una piscina tiene 25 m de largo y 10 m de ancho. ¿Cuánto pesa el agua que contiene, si alcanza una profundidad media de 1,5 m?

R: 375.000 $[\overrightarrow{kg}]$.

8.— Una vasija de 20 cm de largo, 4 cm de ancho y 3 cm de alto está llena de mercurio. Calcule:

a) Cuántos litros contiene;

b) el peso de esa cantidad de mercurio, y

c) la presión que se ejerce en la base.

R: a) 0,24 litros

b) 3264 $\overrightarrow{g}$

c) 40,8 $\left[\dfrac{\overrightarrow{g}}{cm^2}\right]$

9.— ¿Cuántos cm^3 de corcho pesan tanto como 200 $[cm^3]$ de hierro?

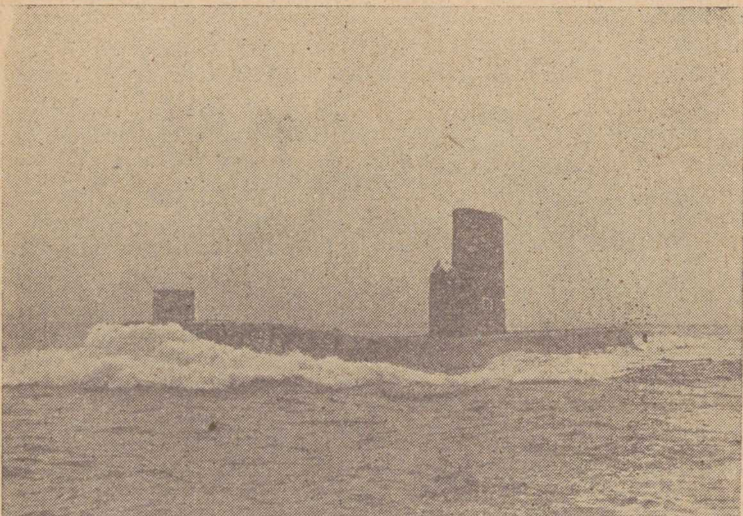
(ρ del corcho = 0,24 $\left[\dfrac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$; ρ del hierro = 7,85 $\left[\dfrac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$).

R: 6541 $[cm^3]$

10.— Una probeta graduada contiene 35 $[cm^3]$ de agua. Al introducir una pieza metálica de forma irregular que pesa 125 $[\overrightarrow{g}]$, el nivel del agua en la probeta sube hasta 60 $[cm^3]$. ¿Cuál es el peso específico del metal?

R: 5 $\left[\dfrac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$

2ª UNIDAD Mecánica De Los Líquidos



Sumario: Capítulo I.– PRINCIPIO DE PASCAL Y SUS APLICACIONES.

24.– Principio de Pascal. 25.– Prensa hidráulica. Cuestionario.

Capítulo II.– PRESION HIDROSTATICA.

Capítulo III.– PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

ARQUIMEDES (287-212 A.C.)

"Dadme un punto de apoyo y moveré el cielo y la tierra".

Arquímedes (Archimédes = el que piensa mejor) matemático y físico griego, nacido en Siracusa, Sicilia, fue discípulo de Euclides en Alejandría.

En el campo de las matemáticas, descubrió la forma de calcular el área del círculo y el valor 22/7 para la relación entre la circunferencia y el diámetro (número Pi), la forma de calcular el volumen de la esfera, el centro de gravedad de las figuras geométricas, etc.

Y en lo que se refiere a la Física, le debemos el descubrimiento de uno de los más fecundos principios de la hidrostática, el principio de Arquímedes: "Todo cuerpo sumergido en un flúido pierde una parte de su peso equivalente al peso del flúido que desaloja".

Los antiguos le atribuyeron más de 40 inventos mecánicos, entre ellos la palanca, en relación con la cual cuenta la tradición que, después de servirse de ella para transportar una nave a tierra, pronunció sus célebres palabras: "Dadme un punto de apoyo y moveré el cielo y la tierra".

Igualmente, la tradición nos relata el descubrimiento de su famoso principio unido a un hecho pintoresco: cuentan que concibió la idea mientras se bañaba, al advertir que sus miembros perdían peso, y que fue tal su entusiasmo que salió corriendo por las calles mientras gritaba: ¡Eureka! ¡Eureka! (lo he hallado).

CAPITULO I

PRINCIPIO DE PASCAL Y SUS APLICACIONES

24.– PRINCIPIO DE PASCAL.

Los sólidos tienen forma propia. Los líquidos, en cambio, no tienen forma determinada y adoptan la del recipiente que los contiene: sus moléculas tienen menor cohesión. Sin embargo, su diferencia fundamental con los sólidos no es ésa.

Si en el mueble, de la fig. 14 se aplica una fuerza de 50 kg en A, para equilibrarla, sólo sirve una fuerza igual y contraria, aplicada en D.

Esto se explica porque los sólidos transmiten las fuerzas solamente en la dirección en que éstas se aplican.

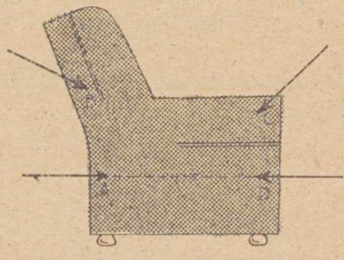


Fig. 14.– Los sólidos transmiten las fuerzas sólo en la dirección en que se aplican.

Supongamos ahora un recipiente con agua como el

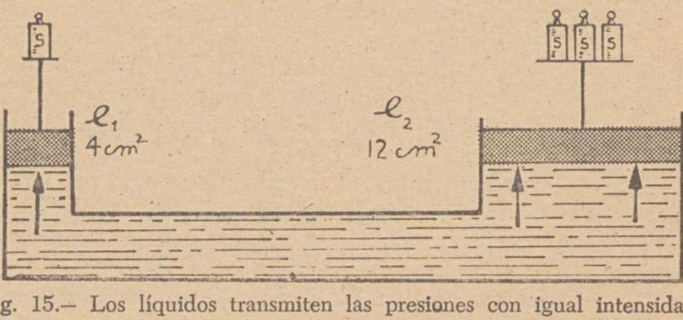


Fig. 15.– Los líquidos transmiten las presiones con igual intensidad.

que indica la fig. 15, provisto de dos émbolos, e_1 y e_2, de secciones 4 y 12 cm^2, respectivamente.

Si aplicamos en e_1 una fuerza de $5\ \vec{\text{kg}}$, para equilibrarla mediante e_2 es necesario aplicar $15\ \vec{\text{kg}}$.

¿Por qué? ¿Cómo se explica que haya aumentado la fuerza necesaria para mantener el equilibrio?

La superficie de e_2 es 12 cm^2; luego, la fuerza ejerce sobro el líquido la presión:

$$p_2 = \frac{15\ \vec{\text{kg}}}{12\ \text{cm}^2} = 1{,}25 \left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$$

La superficie de e_1 es 4 cm^2 y, como en ella se ha aplicado una fuerza de $5\ \vec{\text{kg}}$, la presión que ésta ejerce contra el líquido es:

$$p_1 = \frac{5\ \vec{\text{kg}}}{4\ \text{cm}^2} = 1{,}25 \left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$$

Las presiones son iguales. Esto significa que, en lugar de la fuerza, se ha transmitido la presión a través del líquido y como e_2 tiene mayor sección, se requiere evidentemente una fuerza mayor para que se mantenga la misma presión.

Tomemos ahora un recipiente esférico, con agujeros, como indica la fig. 16; tapemos los agujeros con cera o corcho y llenémoslo de agua.

Al ejercer presión sobre el líquido por medio del émbolo, observamos que todos los tapones saltan al mismo tiempo.

Esta sencilla experiencia nos permite concluir que los líquidos transmiten las presiones en todas direcciones.

Ello se debe a que sus moléculas se mueven libremente

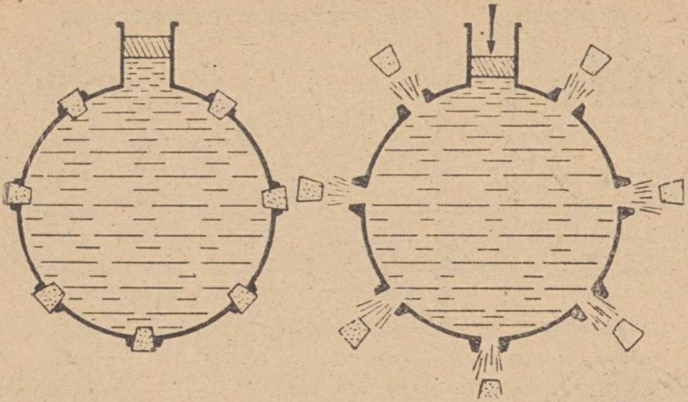


Fig. 16.— Los líquidos transmiten las presiones en todas direcciones.

y se deslizan unas sobre otras con suma facilidad (escasa cohesión).

Esta propiedad de los líquidos constituye el llamado *"principio de Pascal"*.

> *Un líquido en equilibrio transmite las presiones ejercidas sobre él en todas direcciones y con igual intensidad.*

Como el líquido transmite la presión en todas direcciones con igual intensidad, al aumentar la superficie debe aumentar también la fuerza, en igual proporción.

Si se invierte el orden en nuestro experimento de la fig. 15, observamos que la fuerza se reduce, en lugar de aumentar.

Luego, los líquidos poseen la propiedad de aumentar o reducir las fuerzas, proporcionalmente a las superficies contra las cuales actúan, de acuerdo con el principio de Pascal.

Las aplicaciones prácticas de esta propiedad son numerosas y variadas. Entre ellas destacan: la prensa hidráulica,

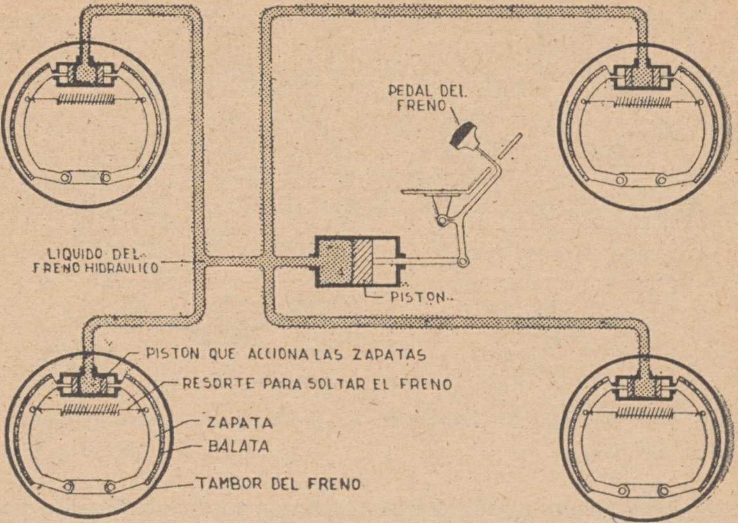


Fig. 17.– Frenos hidráulicos.

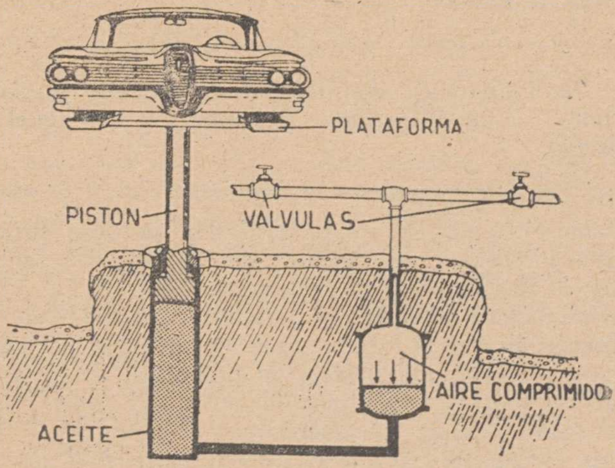


Fig. 18.– Elevador hidráulico.

los frenos hidráulicos, los elevadores de automóviles usados en los garages y estaciones de servicio, ciertos tipos de sillones (dentistas y peluqueros), los amortiguadores hidráulicos, etc.

25.– PRENSA HIDRAULICA.

Sus partes fundamentales son dos cilindros, de secciones muy diferentes, dentro de los cuales pueden moverse perfectamente ajustados dos émbolos de superficies S_1 y S_2.

Estos cilindros están comunicados en la forma que indica la fig. 19.

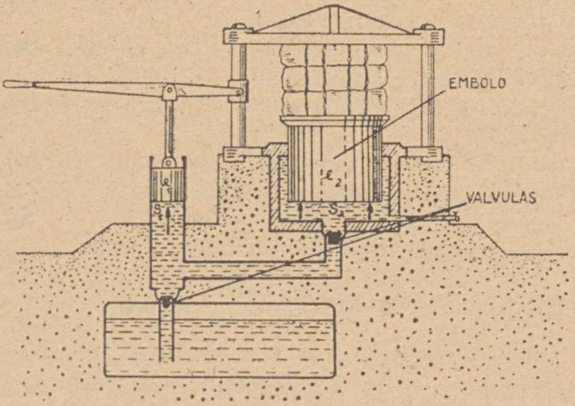


Fig. 19.– Esquema de prensa hidráulica.

Si se desea aumentar la fuerza se acciona e_1 y si se la quiere reducir, se ejerce presión con e_2.

¿De qué dependen el aumento o reducción conseguidos?

Sean F_1 y F_2 las fuerzas que actúan sobre e_1 y e_2, respectivamente. Entonces:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} \qquad y \qquad p_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

Según el principio de Pascal, la presión ejercida es de igual intensidad que la transmitida, o sea: $p_1 = p_2$.

$$\text{Luego:} \quad \frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1}$$

$$\text{de donde:} \quad \boxed{F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}}$$

Esta fórmula nos indica que:

1) para una prensa hidráulica cuyos cilindros tienen una sección perfectamente determinada, la fuerza de compresión F_2 es directamente proporcional a la fuerza F_1 aplicada con el émbolo menor;

2) para diferentes prensas en las cuales se aplica una misma fuerza F_1, las fuerzas de compresión F_2 obtenidas son tanto mayores cuanto mayores son los cuocientes $\frac{S_2}{S_1}$ entre las secciones de los cilindros mayor y menor.

Por ejemplo, si S_2 y S_1 son tales que $\frac{S_2}{S_1} = 50$, entonces F_2 resulta 50 veces mayor que F_1.

La prensa hidráulica tiene numerosas aplicaciones industriales: comprimir lanas, algodón, pasto; extracción de aceite de oliva; modelado de planchas metálicas, etc.

Problema:

Mediante una prensa hidráulica sencilla, se quiere elevar un automóvil, para su limpieza, cuyo peso es de 2700 $\vec{kg}$. Si los diámetros de los émbolos son 4 y 60 cm respectivamente, ¿qué fuerza es necesario aplicar para obtener dicho objetivo? (Bachillerato, enero 1959).

Solución:

$\vec{F}_2 = 2700$ kg

diám. mayor $= 60$ cm

diám. menor $= 4$ cm

$F_1 = x$

$S_2 = 900\ \pi$ [cm^2]

$S_1 = 4\ \pi$ [cm^2]

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$$

$$F_1 = F_2 \cdot \frac{S_1}{S_2}$$

$$F_1 = 2700\ [\ \vec{kg}\ ] \cdot \frac{4\ \pi\ [\ cm^2\ ]}{900\ \pi\ [\ cm^2\ ]}$$

$$F_1 = 12\ [\ \vec{kg}\ ]$$

(área de un círculo $= \pi\ r^2$; $\pi = 3,14159\ldots$)

Respuesta: Se necesita aplicar una fuerza de 12 $\vec{kg}$.

CUESTIONARIO

1.– ¿Por qué se emplean líquidos para transmitir presiones?
2.– Enuncie el principio de Pascal.
3.– ¿Por qué los líquidos transmiten las presiones en todas direcciones?
4.– ¿Por qué el principio de Pascal no se aplica a los sólidos?
5.– Aproveche la fig. 17 y explique cómo funcionan los frenos hidráulicos de un automóvil.
6.– Considere la fig. 18 y explique el funcionamiento del elevador hidráulico de automóviles.
7.– ¿En qué reside la utilidad de la prensa hidráulica?
8.– Indique tres usos industriales de la prensa hidráulica.
9.– ¿Qué otras aplicaciones del principio de Pascal conoce?
10.– ¿En qué se basan las bombas de profundidad?
11.– ¿Es absolutamente necesario que una bomba de profundidad dé en el blanco para que lo destruya? Justifique su respuesta.
12.– ¿Por qué se prohibe la pesca con explosivos?

CAPITULO II

PRESION HIDROSTATICA

26.– PRESION Y FUERZA SOBRE EL FONDO.

El peso del líquido contenido en un recipiente actúa permanentemente sobre el fondo, ejerciendo contra éste una presión que se denomina hidrostática, por tener como causa el peso de un líquido en reposo.

¿De qué depende la presión ejercida por el líquido sobre el fondo del recipiente?

Sean $\vec{P}$ el peso del líquido contenido y S el área basal que lo resiste. Entonces, la presión p ejercida será:

$$p = \frac{\vec{P}}{S}$$

pero: $$\vec{P} = V \cdot \rho$$

y, si el recipiente es un cilindro o un prisma recto, el volumen V del líquido contenido hasta una altura h, será:

$$V = S \cdot h \quad \text{(superficie basal por altura)}$$

Luego: $$p = \frac{S \cdot h \cdot \rho}{S}$$

o sea: $\boxed{p = h \cdot \rho}$

Esta fórmula nos indica claramente los factores de los cuales depende la presión que un líquido ejerce sobre el fondo del recipiente que lo contiene y, al mismo tiempo, expresa otras valiosas consecuencias:

a) la presión sobre el fondo es directamente proporcional a la altura de la columna líquida que soporta (1).

b) la presión sobre el fondo es directamente proporcional al peso específico del líquido que contiene el recipiente.

c) la presión sobre el fondo es independiente del peso total del líquido. Esto significa que si los niveles, en diferentes vasos con un mismo líquido, están a igual altura, las presiones sobre el fondo son iguales, cualquiera sea el peso total del líquido de cada vaso.

d) La presión sobre el fondo es independiente de la forma del recipiente que contiene el líquido.

---

(1) *Experiencia de Pascal*:

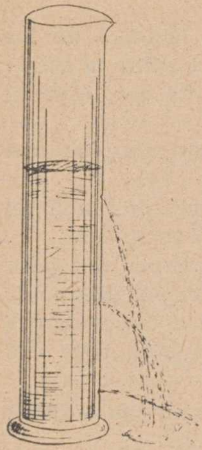
"Pascal presentó en su clase, en la Universidad de Ruan, un barril lleno de agua, cerrado y con un tubo largo y delgado puesto en la tapa. Por el tubo echó agua hasta llenarlo y el barril estalló. Esa misma cantidad de agua la vertía directamente en el barril y no ocurría absolutamente nada; con eso probaba terminantemente que la presión no depende de la cantidad de agua sino de la altura".

Experiencias de Beebe y Picard:

Ambos científicos han realizado observaciones relativas a las profundidades del mar, mediante aparatos especialmente diseñados para contrarrestar las fuertes presiones, que aumentan progresivamente con la profundidad.

El norteamericano Beebe, en su batisfera, descendió a 906 m en 1934, mientras que el suizo Augusto Picard, en su batóstato, logró descender a 3.150 m en 1953, en el mar Mediterráneo. La mayor profundidad explorada, 10.092 m, fue alcanzada por Jacques Piccard y Don Walsh en el batiscafo "Trieste" de la Marina de EE. UU. en enero de 1960 en el Pacífico (fosa de las Marianas).

Fig. 20.— A mayor profundidad, mayor presión.



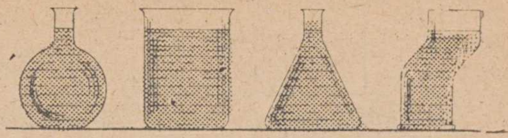


Fig. 21.— La presión sobre el fondo es independiente del peso total del líquido y de la forma del recipiente que lo contiene.

Impusimos para el cálculo, la condición de que el recipiente fuera un cilindro o un prisma recto. Ahora, esa condición se hace innecesaria, pues hemos visto que influyen en el valor de la presión hidrostática sobre el fondo sólo la altura del líquido y su peso específico.

Esto explica de una manera sencilla un hecho aparentemente contradictorio, que se denomina *"paradoja hidrostática"*.

Consideremos tres recipientes de forma distinta, con igual área basal y llenos hasta igual nivel, con un mismo líquido.

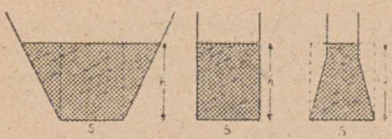


Fig. 22.— Paradoja hidrostática.

Según lo expuesto, en los tres vasos, la presión sobre el fondo tiene igual valor:

$$p = h\,\rho$$

y como además la presión se mide por:

$$p = \frac{F}{S}$$

resulta que: $\boxed{F = p \cdot S}$

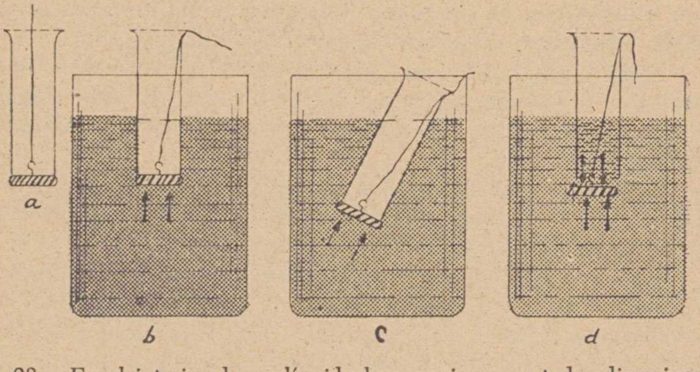
es decir, la fuerza ejercida sobre el fondo en los tres vasos es también igual.

Pero, por la diferencia de forma, los vasos tienen capacidades diferentes y de ello resulta lo paradojal: *la fuerza sobre el fondo puede ser mayor, igual o menor que el peso total del líquido contenido en el recipiente.*

En la fig. 22 pueden apreciarse claramente estas tres situaciones.

Experimentalmente puede probarse esta paradoja hidrostática por medio de un dinamómetro y tres vasos que cumplan las condiciones anteriores y sobre el fondo de los cuales se coloca otro fondo, movible, que pueda levantarse mediante el dinamómetro. Se observa que al levantar el fondo movible el dinamómetro marca igual fuerza en los tres casos.

27.— PRESION Y FUERZA A CUALQUIERA PROFUNDIDAD.



a b c d

Fig. 23.— En el interior de un líquido hay presiones en todas direcciones y en todos sentidos.

Tomemos un tubo abierto en sus dos extremos y cerremos uno de ellos con una placa liviana, provista de un ganchito, manteniéndola adherida por medio de un hilo. (Fig. 23, a).

Introduzcamos, en seguida, el extremo tapado en un recipiente con líquido y soltemos el hilo: observamos que la lámina metálica permanece siempre adherida, aunque inclinemos el tubo. (Fig. 23, b y c).

Ello evidencia que el líquido no sólo ejerce presión de arriba hacia abajo sobre el fondo del recipiente, sino también una presión de abajo hacia arriba y, aún, presiones oblicuas sobre cualquiera superficie sumergida en él.

¿Cuánto vale la presión ejercida en este caso?

Echemos en el tubo cierta cantidad del mismo líquido contenido en el recipiente. El nivel sube progresivamente, pero la lámina continúa adherida al tubo y sólo cuando éste iguala el nivel del líquido del recipiente, la placa metálica se desprende y cae lentamente hacia el fondo. (Fig. 23, d).

Esto indica que la presión ejercida por el líquido, contenido en el tubo, contra la lámina se ha hecho igual a la presión de abajo hacia arriba con que el líquido del recipiente la mantenía adherida a él.

Y puesto que la presión del líquido, contenido en el tubo, sobre la lámina es "presión sobre el fondo", entonces la presión hidrostática en un plano horizontal cualquiera, en el seno de un líquido, se mide también por la fórmula $p = h \rho$.

Si la placa recibe una presión oblicua, su medida estará dada por la misma relación anterior en que h pasa a ser la altura de su centro de gravedad con respecto al nivel del líquido.

Similar afirmación podemos hacer si la lámina está en posición vertical, lo que puede comprobarse realizando la experiencia anterior con un tubo acodado.

Ahora bien, si en lugar de la placa empleada consideramos una pared del recipiente, el líquido ejercerá contra ella una determinada presión. Esta presión lateral sobre cualquier punto de la pared se mide también por la fórmula $p = h \rho$.

Frecuentemente se hace necesario medir la presión ejercida por el líquido sobre una superficie lateral dada. En este caso debe considerarse un punto de la superficie cuya altura, respecto del nivel, sea tal que la presión que el líquido ejerce sobre él corresponda al promedio de las presiones ejercidas sobre cada uno de los puntos de esa superficie. Ese punto representativo se considera, en la práctica, para los cálculos que no exigen mayor rigor, como el centro de gravedad de la superficie en contacto con el líquido.

La fuerza con que el líquido actúa contra las paredes del recipiente se mide por el producto de esta presión media por el área de las paredes en contacto con el líquido, o sea:

$$\boxed{F = p \cdot S.}$$

Sin embargo, como la presión hidrostática aumenta en proporción directa con la profundidad, la fuerza lateral del líquido va también aumentando con ella. Por esta razón, las paredes de los estanques y represas deben construirse de modo que su espesor aumente con la profundidad.

28.– APLICACIONES DE LA PRESION HIDROSTATICA.

Tanto las presiones como las fuerzas laterales ejercidas por un líquido, son perpendiculares a las paredes del recipiente, por lo cual tienden a ponerlas en movimiento cuando no son contrarrestadas. (Fig. 24).

Esta característica es la que más se aprovecha en aplicaciones prácticas por la técnica.

Entre las aplicaciones más interesantes tenemos: la rueda y turbina hidráulicas, el molinete y otros aparatos para regar prados y jardines, etc.

Todos ellos se basan en la presión hidrostática, especialmente en la que hemos llamado lateral.

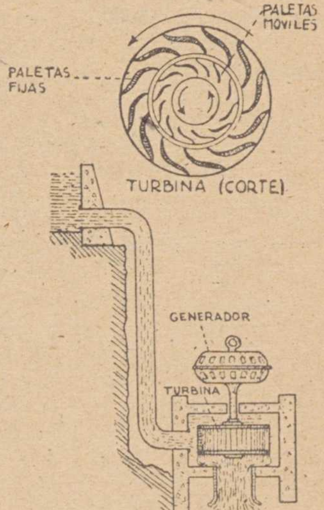


Fig. 24.– Turbina hidráulica.

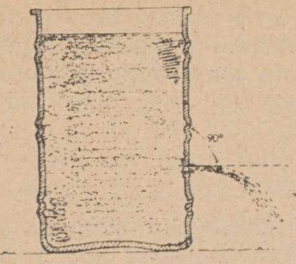


Fig. 25.— Las presiones laterales son perpendiculares a las paredes del recipiente.

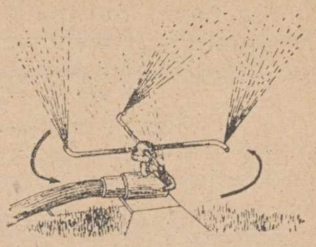


Fig. 26.— Molinete hidráulico.

Problema 1.—

¿A qué profundidad debe descenderse en el mar para encontrar una presión de 15000 $\left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2}\right]$? $\rho = 1{,}03 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

Solución:

$$p = 15000 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right] \qquad p = h \cdot \rho$$

$$\rho = 1{,}03 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \qquad h = \frac{p}{\rho}$$

$$h = \frac{15000 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^2}\right]}{1{,}03 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$h = 14563 \; [\ cm\ ]$$
$$h = 145{,}63 \; [\ m\ ]$$

Respuesta: **La profundidad es de 145,63 [m].**

Problema 2.–

Para realizar la experiencia de Pascal se dispone de un tonel de 80 cm de alto y 1200 cm² de superficie basal y de un tubo de 3,2 m de alto. ¿Qué presión y fuerza soporta el fondo del tonel?

Solución:

$S = 1200\ [cm^2]$
$h_{tonel} = 80\ [cm]$
$h_{tubo} = 3{,}2\ [m] = 320\ [cm]$

$\rho = 1 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

$p = x$
$F = x'$

La presión de la columna líquida del tubo se transmite al tonel de acuerdo con el principio de Pascal.

Luego:

1) $p = (h_{tonel} + h_{tubo}) \cdot \rho$

$$p = (80 + 320)\ [cm] \cdot 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$p = 400 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right]$$

2) $F = p \cdot S$

$$F = 400 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right] \cdot 1200\ [cm^2]$$

$$F = 480000\ [\vec{g}]$$

$$F = 480\ [\vec{kg}]$$

Respuesta: La presión es de 400 $\left.\dfrac{\vec{g}}{cm^2}\right]$, en tanto que la fuerza es de 480 [$\vec{kg}$].

Problema 3.–

Un tambor cilíndrico de 1,20 m de alto y 1,80 m de perímetro basal está lleno de aceite y apoyado sobre su base. ¿Qué fuerza ejerce el aceite sobre las paredes del tambor? $\rho = 0{,}92$.

Solución:

$h = 120$ [cm]

perímetro basal $= 180$ [cm]

$\vec{\rho} = 0{,}92 \left[\dfrac{g}{cm^3}\right]$

$F = x$

$F = p \cdot S$

$p = h_G \cdot \rho = \dfrac{h}{2} \cdot \rho$

S = perímetro basal por altura del tambor.

$S = 180 \cdot h$ [cm^2]

Luego: $F = \dfrac{h}{2} \cdot \rho \cdot 180 \cdot h$

$$F = 60 \cdot [\,cm\,] \cdot 0{,}92 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \cdot 180\,[\,cm\,] \cdot 120\,[\,cm\,]$$

$F = 1192320$ [$\vec{g}$]

$F = 1192{,}32$ [$\vec{kg}$]

$F = 1{,}19$ [$\vec{ton}$]

Respuesta: La fuerza que ejerce el aceite contra las paredes del tambor es de 1,19 [$\vec{ton}$].

29.– VASOS COMUNICANTES.

Varios recipientes, generalmente de diferente forma, comunicados por su parte inferior, forman un conjunto llamado *vasos comunicantes*. ¿Cómo son las presiones en estos vasos?

Debemos diferenciar dos casos:

a) *Vasos comunicantes con un mismo líquido.*–

Al echar en ellos cualquier cantidad de un líquido, éste alcanza en todos igual nivel. Luego:

> *"En vasos comunicantes con un mismo líquido los niveles están a igual altura".*

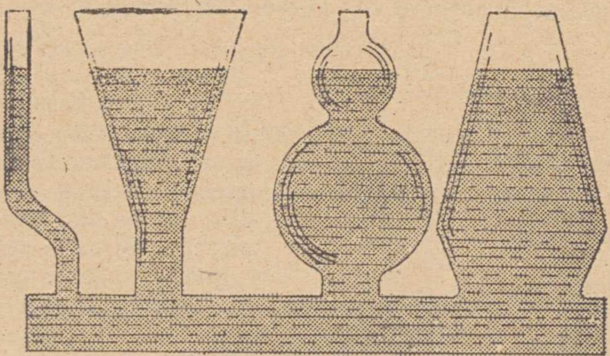


Fig. 27.– En vasos comunicantes con un mismo líquido las alturas son iguales.

Esta ley tiene numerosas aplicaciones prácticas, entre las cuales destacan: el indicador del nivel del agua de las calderas, la red de distribución del agua potable, los pozos artesianos, las exclusas (canal de Panamá), etc.

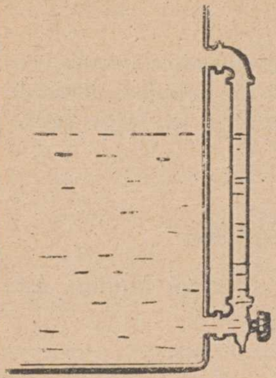


Fig. 28.— Indicador del nivel del agua de las calderas.

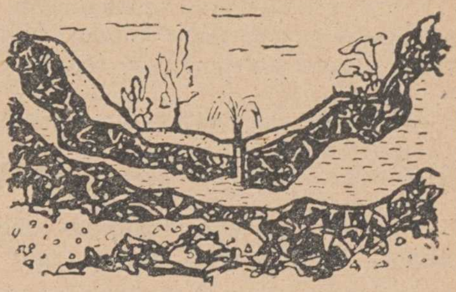


Fig. 29.— Pozo artesiano.

b) *Vasos comunicantes con líquidos diferentes, no miscibles.—*

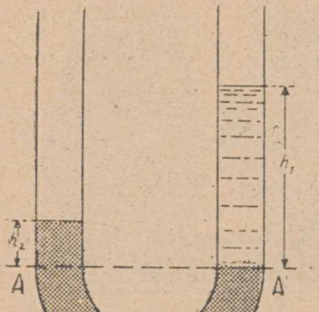


Fig. 30.— En vasos comunicantes con líquidos diferentes, que no se mezclan, las alturas son inversamente proporcionales a los pesos específicos respectivos.

Tomemos un tubo en forma de U y echemos mercurio en él: alcanza igual nivel en ambas ramas. En seguida, agreguemos agua en una de ellas: el mercurio baja en esa rama y sube en la otra, hasta que el conjunto queda en equilibrio.

Consideremos el plano de separación AA' de los dos líquidos (Fig. 30). Todos los puntos del mercurio en ese plano soportan igual presión: en la rama derecha, la presión de la columna de agua, de altura h_1, y en la rama izquierda, la presión de la columna de mercurio, de altura h_2.

Sean ρ_1 y ρ_2 los respectivos pesos específicos de ambos líquidos. Entonces, dichas presiones son:

$$p_1 = h_1 \cdot \rho_1$$

y

$$p_2 = h_2 \cdot \rho_2$$

y como $p_1 = p_2$, puesto que el conjunto está en equilibrio, se tiene:

$$\boxed{h_1 \cdot \rho_1 = h_2 \cdot \rho_2} \quad \text{o bien:} \quad \boxed{\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

Esta fórmula expresa que:

> *En vasos comunicantes con líquidos diferentes, no miscibles, las alturas de los niveles son inversamente proporcionales a los pesos específicos respectivos.*

Esto significa que, a mayor peso específico, menor altura y viceversa.

La principal aplicación de esta segunda ley consiste en la determinación del peso específico de los líquidos.

Problema:

¿Cuál es el peso específico del Hg, si una columna de 7,6 cm es equilibrada por otra de agua de 1,033 m de altura?

Solución:

$\rho_{Hg} = x$

$\rho_{a} = 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$

$h_{Hg} = 7,6 \quad [cm]$

$h_{a} = 103,3 \quad [cm]$

$h_1 \cdot \rho_1 = h_2 \cdot \rho_2$

$7,6\ [cm]\ .\ x = 103,3\ [cm]\ .\ 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$

$$x = \frac{103,3\ [cm]\ .\ 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]}{7,6\ [cm]}$$

$$x = 13,59 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$$

Respuesta: El peso específico del Hg es 13,59 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$

30.– LEY FUNDAMENTAL DE LA HIDROSTATICA.

Hemos establecido que en un líquido en reposo, dos puntos situados a igual nivel tienen igual presión y que dos puntos situados a diferente nivel tienen presiones diferentes.

Consideremos los puntos A y B en el seno de un líquido, a distinta profundidad.

Las presiones en A y B son:

$p_a = h_a \cdot \rho$
$p_b = h_b \cdot \rho$

y la diferencia es:

$\Delta p = p_b - p_a$

o bien:

$\Delta p = h_b \cdot \rho - h_a \cdot \rho$

de donde:

$\Delta p = \rho \, (h_b - h_a)$

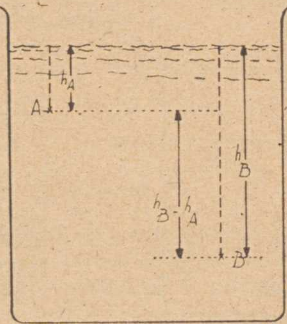


Fig. 31.– La diferencia de presión equivale al desnivel por el peso específico.

Luego, la ley fundamental de los líquidos en reposo establece que:

> *La diferencia de presión entre dos puntos de un mismo líquido en equilibrio es igual al producto de su peso específico por la diferencia de nivel entre esos puntos.*

Problema:

¿Con qué presión sale el agua de una llave situada a 4 m del suelo, en el segundo piso de una casa, si el nivel en el estanque de alimentación está a 20 m sobre el suelo?

Solución:

$h_1 = 20 \text{ m} = 2000 \text{ cm} \qquad p = (h_1 - h_2) \cdot \rho$

$h_2 = 4 \text{ m} = 400 \text{ cm} \qquad p = (2000 - 400) \, [\text{cm}] \cdot 1 \left[\frac{\vec{g}}{\text{cm}^3}\right]$

$p = x \qquad p = 1600 \left[\frac{\vec{g}}{\text{cm}^2}\right]$

Respuesta: El agua sale con una presión de 1,6 $\left[\frac{\vec{kg}}{\text{cm}^2}\right]$

SINTESIS

Presión hidrostática:

- *Concepto*: presión ejercida por un líquido en equilibrio sobre cualquiera superficie en contacto con él.
- *Medida*:
  - $p = h \cdot \rho$ (presión = profundidad . peso específico).
  - Si se trata de una superficie lateral u oblicua, h se mide desde el nivel del líquido al centro de gravedad de dicha superficie.
- *Aplicaciones*: (presión lateral). molinete, rueda y turbina hidráulicos. (En la construcción de compuertas, muelles, diques, submarinos, etc., es indispensable considerar también la presión hidrostática).
- *Paradoja hidrostática*: En vasos de distinta capacidad, pero de igual sección basal, llenos con un mismo líquido hasta igual nivel, la fuerza ejercida sobre los respectivos fondos puede ser mayor, igual o menor que el peso total del líquido contenido.

Vasos comunicantes:

a) *Con un mismo líquido*:

$$\boxed{h_1 = h_2 = \ldots\ldots\ldots\ldots = h_\eta}$$

Aplicaciones: indicador del nivel del agua en las calderas, distribución del agua potable, los pozos artesianos, las exclusas, etc.

b) *Con líquidos diferentes, no miscibles*:

$$\boxed{h_1 \cdot \rho_1 = h_2 \cdot \rho_2}$$

Aplicaciones: determinación de pesos específicos de líquidos.

Ley fundamental de la hidrostática:

La diferencia de presión entre dos puntos de un mismo líquido en equilibrio es igual al producto de su peso específico por la diferencia de nivel entre esos puntos.

$$\boxed{\Delta p = (h_a - h_b) \cdot \rho}$$

CUESTIONARIO

1.— ¿Qué ejemplos característicos muestran que los líquidos ejercen presión hacia arriba, hacia abajo y hacia los lados?
2.— ¿De qué factores depende la presión hidrostática ¿Cómo varía la presión en relación con ellos?
3.— ¿Por qué en vasos comunicantes con un mismo líquido los niveles son iguales?
4.— ¿Qué significa que en vasos comunicantes con distintos líquidos, no miscibles, las alturas sean inversamente proporcionales a sus respectivos pesos específicos?
5.— ¿Qué aparatos de uso doméstico son vasos comunicantes?
6.— ¿Por qué los buzos deben volver lentamente a la superficie?
7.— ¿Por qué en los estanques y represas el grosor de las paredes aumenta con la profundidad?
8.— Haga un estudio de la red de distribución del agua potable de su ciudad.
9.— ¿Qué aplicaciones tienen los vasos comunicantes?
10.— ¿Por qué en la práctica el agua que sale de las cañerías (surtidores, grifos, llaves) no alcanza el nivel de los estanques?
11.— Enuncie el principio fundamental de la hidrostática.
12.— Explique cómo pasa un barco a través del Canal de Panamá.
13.— ¿Tiene algo que ver el aumento de presión con la profundidad en el funcionamiento de las bombas de profundidad? Explique.

PROBLEMAS

1.— ¿Qué presión ejercería el agua sobre el cuerpo de un individuo que nada a 1,5 m de profundidad?

R: $150 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2} \right]$

2.– Si la presión del agua, sobre los tubos de distribución colocados en las calles de una ciudad es de 3,25 $\left[\frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}\right]$ ¿A qué altura se halla el nivel del depósito?

R: 32,5 [m]

3.– Calcule la presión ejercida por una columna de mercurio de 76 cm de altura. Peso específico del mercurio 13,6 $\left[\frac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$

R: 1,0336 $\left[\frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}\right]$

4.– ¿Qué altura debería darse a una columna de agua, de alcohol, de glicerina, para que cada una equilibre una presión de 1,0336 $\left[\frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}\right]$? Peso específico del agua 1 $\left[\frac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$ peso específico del alcohol 0,795 $\left[\frac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$; peso específico de la glicerina 1,26 $\left[\frac{\overrightarrow{g}}{cm^3}\right]$.

R: a) 10,33 [m]
b) 13 [m]
c) 8,2 [m]

5.– Un recipiente de base cuadrada y altura h se llena con un líquido de peso específico ρ. ¿Qué relación debe existir entre h y a, siendo a la arista basal, para que la fuerza total sobre el fondo sea el doble de la que actúa sobre las caras laterales?

R: $h = a$

6.—¿Qué presión soportaron las paredes de la batisfera de Piccard a 3.150 m de profundidad, si $\rho = 1{,}03 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$, para el agua de mar?

R: $324{,}4 \left[\frac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$

7.— En vasos comunicantes se ha puesto, en una rama, petróleo y en la otra, agua. Si las alturas alcanzadas sobre el plano de separación son 15 y 12 cm respectivamente, ¿cuál es el peso específico del petróleo?

R: $0{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

8.— En vasos comunicantes se ha echado, en una rama, mercurio y en la otra, aceite. ¿Qué altura sobre el nivel de separación tiene la columna de aceite si la del mercurio tiene 12 cm? (Peso específico del mercurio $13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$ y peso específico del aceite $0{,}9 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$).

R: 181,3 [cm]

9.— En vasos comunicantes se coloca primero agua y después aceite de oliva ($\rho = 0{,}92 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$). Si la altura alcanzada por el agua es 30 cm sobre el plano de separación de los líquidos, ¿qué altura alcanza la columna de aceite?

R: 32,6 [cm]

CAPITULO III

PRINCIPIO DE ARQUIMEDES

31.– PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

La experiencia diaria nos indica que un cuerpo sumergido en un líquido *pesa menos* que en el aire. Este hecho lo hemos apreciado personalmente al sumergirnos en una piscina.

Esta pérdida aparente de peso puede comprobarse fácilmente por medio de un dinamómetro con el cual se pesa un cuerpo primero en el aire y luego sumergido en un líquido.

La disminución de peso se debe a una fuerza vertical, hacia arriba, llamada *empuje*, con que el líquido actúa sobre el cuerpo.

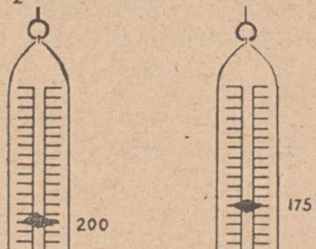


Fig. 32.– Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde una parte de su peso, equivalente al empuje.

¿De qué factores depende el empuje?

Un cuerpo pesa en el aire 200 $\vec{g}$ y sumergido en agua, 175 $\vec{g}$. La disminución de peso es de 25 $\vec{g}$. Si introducimos el cuerpo en una probeta graduada, con agua, ésta marca un aumento de volumen de 25 cm^3. Y como 1 cm^3 de agua pesa 1 $\vec{g}$, el volumen de agua desplazada pesará 25 $\vec{g}$, lo que corresponde a la disminución de peso indicada por el dinamómetro.

Repitamos la experiencia con el mismo cuerpo, pero sustituyendo el agua por alcohol. El dinamómetro marca una pérdida aparente de peso de 20 g y la probeta, el mismo volumen anterior. Si pesamos los 25 cm^3 de alcohol desplazados por el cuerpo, encontramos que su peso equivale a la pérdida aparente experimentada por el cuerpo.

De esto podemos concluir que el empuje equivale al peso del líquido desalojado por la inmersión del cuerpo y cuyo volumen es igual al volumen de dicho cuerpo.

Este hecho constituye el llamado *principio de Arquímedes*:

> *Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde aparentemente una parte de su peso, equivalente al peso del líquido que desaloja.*

Esto significa que:

Empuje = peso del líquido desalojado.

y como: volumen del cuerpo = volumen del líquido desalojado, entonces:

> *Empuje = volumen del cuerpo . peso específico del líquido*

y en símbolos:

$$\boxed{E = V_c \cdot \rho_l}$$

Por lo tanto:

a) para un mismo cuerpo, el empuje es directamente proporcional al peso específico del líquido en el cual se sumerge, y
b) para un mismo líquido, el empuje es directamente proporcional al volumen del cuerpo sumergido en él.

Demostración experimental.–

Este importante principio puede verificarse también mediante una balanza hidrostática. Este es un modelo de balanza con platillos de distinta longitud, el más corto de los cuales lleva, en su parte inferior, un gancho para colgar el cuerpo.

Se procede de la siguiente manera:

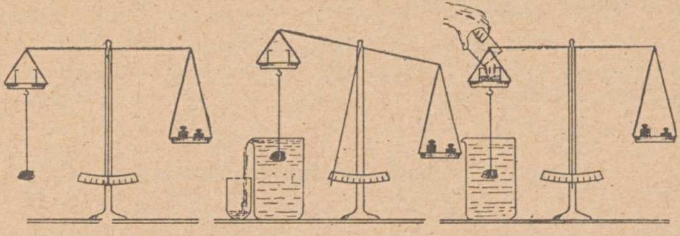


Fig. 33.– Principio de Arquímedes: demostración experimental.

a) Del platillo corto de la balanza hidrostática se suspende un cuerpo y en el mismo platillo se coloca un vaso vacío. A continuación se equilibra la balanza con pesas;

b) Se sumerge el cuerpo en un vaso lleno de agua hasta el borde. Inmediatamente el equilibrio de la balanza se rompe, derramándose cierta cantidad de agua, que se recoge en otro recipiente;

c) El agua recogida se vierte en el vaso colocado en el platillo corto y la balanza recupera su equilibrio.

Luego, el empuje es igual al peso del líquido desalojado.

Demostración teórica.

Supongamos un prisma recto de volumen V sumergido en un líquido de peso específico ρ.

Este cuerpo sufre la acción de fuerzas perpendiculares a sus caras en todos sentidos. Las fuerzas que se ejercen sobre las caras laterales opuestas se anulan por ser iguales y contrarias.

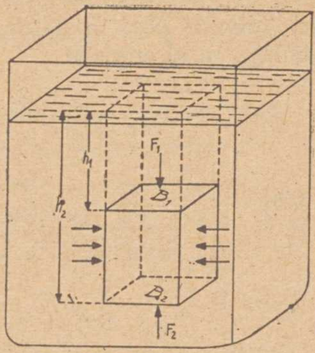


Fig. 34.— Principio de Arquímedes: demostración teórica.

Las fuerzas F_1 y F_2, que actúan sobre las caras basales, no se anulan, pues F_2 será siempre mayor que F_1 ya que la presión sobre la cara inferior es mayor ($F = p \cdot s$).

La diferencia entre ambas fuerzas equivale al empuje, luego: $E = F_2 - F_1$.

Para calcular su valor, imaginemos reemplazado el prisma por igual volumen de líquido.

Calculemos primero F_1 y F_2.

Sobre la base superior B_1 actúa el peso de la columna líquida de altura h_1. Si V_1 es su volumen, entonces: $F_1 = V_1 \cdot \rho$.

Sobre la base inferior B_2 actúa el peso de la columna líquida de altura h_2. Si V_2 es su volumen, entonces:

$$\begin{array}{lll} & F_2 & = V_2 \cdot \rho \\ \text{y como:} & E & = F_2 - F_1 \\ \text{se tiene:} & E & = V_2\rho - V_1\rho \\ \text{pero:} & V_2 & = V_1 + V \\ \text{luego:} & E & = (V_1 + V)\rho - V_1\rho \\ \text{de donde:} & E & = V_1\rho + V\rho - V_1\rho \end{array}$$

y, finalmente: $$\boxed{E = V \cdot \rho}$$

Así pues, de acuerdo *con el principio de Arquímedes,* al pesar un cuerpo sumergido en un líquido, el dinamómetro indica sólo su peso aparente, es decir, su peso en el aire disminuído en el empuje.

Esto es: peso aparente = peso verdadero − empuje.

o sea: $$\boxed{\vec{Pa} = \vec{Pv} - E}$$

Problema 1.

¿Cuál es el volumen de un cuerpo cuyo peso disminuye en 40 $\vec{g}$ al ser sumergido en agua?

Solución:

$$\vec{E} = 40\ \vec{g}$$

$$\rho = 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$V = x$$

$$E = V \cdot \rho$$

$$V = \frac{E}{\rho}$$

$$V = \frac{40\ [\vec{g}]}{1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$V = 40 \quad [cm^3]$$

Respuesta: El volumen del cuerpo es 40 [cm^3].

Problema 2.

Un cuerpo pesa en el aire 200 $\vec{g}$ y sumergido en alcohol, 160 $\vec{g}$. Calcule el peso específico del cuerpo si el

$$\rho \text{ alcohol} = 0{,}8 \quad \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right].$$

Solución:

$$\vec{P}_v = 200\ \vec{g}$$

$$\vec{P}_a = 160\ \vec{g}$$

$$\vec{E} = 40\ \vec{g}$$

$$\rho \text{ alcohol} = 0{,}8 \quad \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$\rho = x$$

$$E = V_c \cdot \rho \text{ alcohol}$$

$$V_c = \frac{E}{\rho \text{ alcohol}}$$

$$V_c = \frac{40\ [\vec{g}]}{0{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$V_c = 50\ [cm^3]$$

El volumen del cuerpo es 50 cm^3 y como:

$$\vec{P}_v = V_c \cdot \rho_c$$

$$\rho_c = \frac{\vec{P}_v}{V_c}$$

$$\rho_c = \frac{200\ [\vec{g}]}{50\ [cm^3]}$$

$$\rho_c = 4 \quad \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

Respuesta: El peso específico del cuerpo es 4 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

43.– APLICACIONES DEL PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

Condición de flotación de los cuerpos.

Un cuerpo sumergido en un líquido, se halla solicitado por dos fuerzas contrarias: su peso; que tiende a llevarlo hacia abajo, y el empuje, que tiende a llevarlo hacia arriba.

Según la relación que exista entre ambas fuerzas, el cuerpo puede encontrarse en las tres situaciones siguientes:

a) Si $E < \vec{P}$, el cuerpo se hunde hasta llegar al fondo. Por ejemplo: una esfera maciza de F_e en el agua;

b) Si $E = \vec{P}$, el cuerpo queda en suspensión en el líquido: se dice que el cuerpo queda "flotando entre dos aguas". Por ejemplo: una gota de aceite flota en el seno de una mezcla adecuada de alcohol y agua, y

c) Si $E > \vec{P}$, el cuerpo flota en la superficie del líquido. Por ejemplo: un tapón de corcho, trozo de madera, flotan en el agua.

Experimentalmente, estas tres situaciones pueden comprobarse con un huevo y una disolución de sal común.

El huevo flota en la superficie si la disolución está saturada. Si se agrega agua, el grado de saturación disminuye, con lo cual el huevo desciende, quedando *entre dos aguas* y finalmente en el fondo.

Hemos visto que si el empuje es mayor que el peso del cuerpo, éste flota emergiendo a la superficie, pero a medida que emerge, el empuje disminuye porque el cuerpo desaloja menos líquido. El cuerpo deja de sobresalir una vez que el empuje ha disminuído hasta hacerse igual al peso del cuerpo.

Esto nos permite afirmar que:

"Todo cuerpo que flota en la superficie de un líquido, pesa tanto cuanto pesa el líquido desalojado por la parte sumergida".

Entonces, *la condición de flotación es*:

Peso del cuerpo = peso del líquido desalojado por la parte sumergida.

Si V es el volumen de un cuerpo de peso específico ρ, su peso es:

$$\vec{P} = V \cdot \rho$$

Si flota en un líquido de peso específico ρ_1, siendo V_1 el volumen de la parte sumergida, el empuje correspondiente es:

$$E = V_1 \cdot \rho_1$$

y como el cuerpo flota, su peso debe ser igual al empuje, o sea:

$$V \cdot \rho = V_1 \cdot \rho_1$$

y puesto que $V_1 < V$, entonces $\rho_1 > \rho$, es decir, que el peso específico del líquido debe ser mayor que el peso específico del cuerpo.

Luego, un cuerpo flota si $E > \vec{P}$, o bien, si ρlíquido $>$ ρcuerpo.

Problema 1.

Un cubo de estaño de 5 cm de arista flota en mercurio. ¿Qué volumen del cubo emerge?

Solución:

$$\vec{\rho}\,Sn = 7{,}3 \left[\frac{g}{cm^3}\right]$$

Peso del cuerpo = peso del mercurio desalojado.

$$\rho\, Hg = 13{,}6 \left[\frac{g}{cm^3}\right]$$

$$V_{cubo} = 125\ [cm^3]$$

V_x = Volumen parte sumergida

$$V_e = V_{cubo} - V_x$$

$$V_e \cdot \vec{\rho}\, Sn = V_x \cdot \rho\, Hg$$

$$V_x = \frac{V_e \cdot \rho\, Sn}{\rho\, Hg}$$

$$V_x = \frac{125\ [cm^3] \cdot 7{,}3 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}{13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$V_x = 67{,}1\ [cm^3]$$

$$\text{Volumen que emerge} = 125\ [cm^3] - 67{,}1\ [cm^3]$$

$$V_e = 57{,}9\ [cm^3]$$

Respuesta: el volumen que emerge es 57,9 [cm³].

Problema 2.

Un terrón de azúcar pesa en el aire 5,6 *gramos y sumergido en petróleo de densidad* 0,8 *pesa* 2,8 *gramos. Calcular la densidad del azúcar.* (Bachillerato, enero 1959).

Solución:

$$\vec{P}_v = 5{,}6\ [\vec{g}]$$

$$\vec{P}_a = 2{,}8\ [\vec{g}]$$

$$\rho_{petróleo} = 0{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$\rho_{azúcar} = x$$

$$E = \vec{P}_v - \vec{P}_a$$

$$E = 5{,}6\ [\vec{g}] - 2{,}8\ [\vec{g}]$$

$$E = 2{,}8\ [\vec{g}]$$

pero: $E = V_{\text{azúcar}} \cdot \rho_{\text{petróleo}}$

de donde: $$V_{\text{azúcar}} = \frac{E}{\rho_{\text{petróleo}}}$$

$$V_{\text{azúcar}} = \frac{2{,}8\ [\vec{g}]}{0{,}8 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$V_{\text{azúcar}} = 3{,}5\ [cm^3]$$

Por lo tanto: $$\rho_{\text{azúcar}} = \frac{\vec{P}_v}{V_{\text{azúcar}}}$$

$$\rho_{\text{azúcar}} = \frac{5{,}6\ [\vec{g}]}{3{,}5\ [cm^3]}$$

$$\rho_{\text{azúcar}} = 1{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

Respuesta: El peso específico del azúcar es 1,6 $\left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$.

Cuerpos flotantes.

a) *Barcos.* ¿Puede hacerse flotar en el agua un cuerpo de mayor peso específico que ésta?

Una hoja de plomo, extendida en la superficie del agua cae al fondo, pero si se la dobla en forma de caja, flota sobre el agua como una barca.

De esta manera flota un barco, a pesar de construirse con materiales de mayor peso específico que el agua y estar cargado.

Un cuerpo de mayor peso específico que el agua flota, si al cuerpo se le da una forma especial que le permita desalojar un volumen de agua cuyo peso sea igual al peso del cuerpo (buques, boyas metálicas, etc.).

Si un barco desplaza 3.000 m^3 de agua, el barco mismo pesa lo que pesan los 3.000 m^3 de agua desplazada, o sea, aproximadamente 3.000 toneladas.

b) *Boyas.* Son flotadores utilizados para señalar a las embarcaciones los sitios peligrosos y para ello se los fija desde el fondo del mar.

c) *Salvavidas.* Son cinturones de corcho a los que se recurre generalmente en los accidentes marítimos para mantenerse a flote.

d) *Areómetros.* Son cuerpos flotantes, generalmente de forma cilíndrica, lastrados para mantenerlos en posición vertical, y destinados a diversos usos, según su construcción. Entre ellos tenemos los densímetros, alcoholímetros, volúmetros, etc.

Los densímetros permiten determinar directamente el peso específico de los líquidos relativo al agua, mediante la simple lectura sobre el tubo graduado, en la línea de enrase.

Corrientemente se dice que miden en forma directa la densidad de los líquidos, por ser ésta numéricamente igual a su peso específico relativo al agua.

Se los gradúa con respecto al agua destilada a 15° centígrado (temperatura ordinaria media) y los hay para líquidos más densos y menos densos que el agua.

Los alcoholímetros indican directamente el porcentaje de alcohol contenido en una mezcla de alcohol y agua.

Los volúmetros miden directamente el volumen de la parte sumergida del areómetro y en forma indirecta, la densidad del líquido en que se sumerge.

Existen además areómetros especiales para determinar el grado de concentración de disoluciones, de ácidos de la leche, etc.

e) *Témpanos.* Son grandes bloques de hielo que flotan en el mar, en las regiones cercanas a los polos.

Constituyen un serio peligro para la navegación, porque la mayor parte de su volumen, aproximadamente nueve décimas, se encuentra sumergida.

A pesar de ser cuerpos flo-

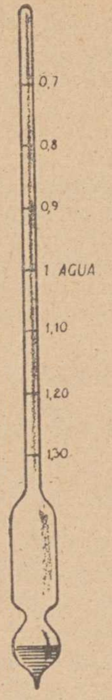


Fig. 35.— Densímetro.

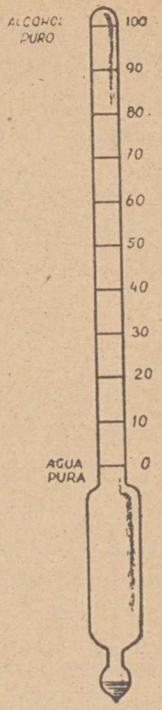


Fig. 36.— Alcoholímetro.

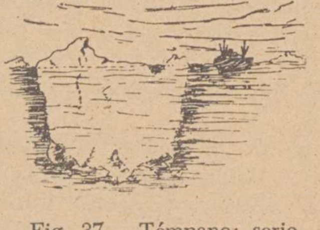


Fig. 37.— Témpano: serio peligro para la navegación

tantes, no son aplicación del principio de Arquímedes, sino que tienen su explicación en él.

Problema.

¿En qué razón están el volumen de la parte que emerge y el de la parte sumergida de un témpano que flota en el mar?

Sean: V $=$ el volumen del témpano.
V_e $=$ volumen de la parte que emerge.
V_s $=$ volumen de la parte sumergida.

Entonces: $$V = V_e + V_s$$

$$\rho_h = 0{,}92 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \quad \text{(hielo).}$$

$$\rho_a = 1{,}03 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \quad \text{(agua del mar).}$$

Peso total del témpano $=$ empuje que recibe parte sumergida.

Pero: $$\vec{P} = (V_e + V_s)\,\rho_h$$

y $$E = V_s \cdot \rho_a$$

Luego: $$(V_e + V_s)\,\rho_h = V_s \cdot \rho_a$$

$$V_e \cdot \rho_h + V_s \cdot \rho_h = V_s \cdot \rho_a$$

$$V_e \cdot \rho_h = V_s \cdot \rho_a - V_s \cdot \rho_h$$

$$V_e \cdot \rho_h = V_s\,(\rho_a - \rho_h)$$

$$\frac{V_e}{V_s} = \frac{\rho_a - \rho_h}{\rho_h}$$

$$\frac{V_e}{V_s} = \frac{1{,}03 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] - 0{,}92 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}{0{,}92 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$\frac{V_e}{V_s} = \frac{11}{92}$$

Respuesta: la razón entre el volumen que emerge y el volumen sumergido de un témpano es $\frac{11}{92}$. Esto significa que a 11 partes visibles corresponden 92 partes sumergidas.

f) *Submarinos.* Son aplicaciones más generales del principio de Arquímedes, ya que pueden navegar en la superficie, entre dos aguas o totalmente sumergidos, junto al fondo del mar.

Son de forma ovoídea alargada, llevan en su parte inferior el lastre necesario para aumentar o mantener su estabilidad y, en el extremo posterior, una hélice para el desplazamiento.

La inmersión se efectúa haciendo entrar el agua del mar en las cámaras especialmente dispuestas para ello y cerrando en forma hermética las aberturas del casco. La operación se completa con la impulsión de la hélice y un juego de timones, que permiten, durante la marcha, hacer descender o subir a voluntad el submarino.

Para hacerlo subir y mantenerlo en la superficie, se expulsa el agua de las cámaras mediante aire comprimido.

Mientras el submarino se encuentra sumergido, desde su interior pueden observarse los objetos y navíos de la superficie, mediante un instrumento óptico llamado periscopio.

33.– SUBMARINOS ATOMICOS.

En la actualidad, la propulsión de los submarinos está siendo conseguida, cada vez en mayor escala, mediante reactores atómicos, que emplean sustancias radioactivas como combustible. Estos reactores aprovechan el calor desarrollado por el combustible radioactivo para proporcionar el vapor que requieren las máquinas que mueven la hélice del sumergible. Por esta razón se les llama submarinos atómicos.

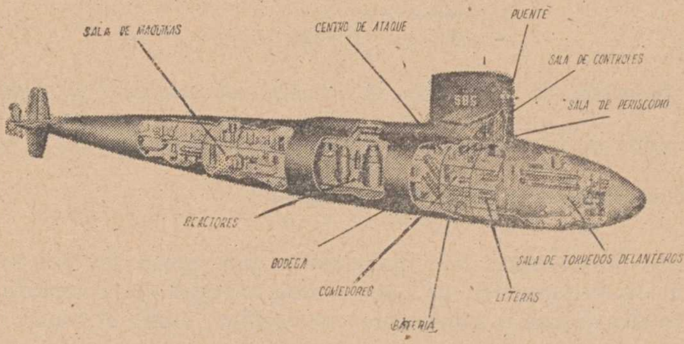


Fig. 38.– Esquema de submarino atómico (Skipjack, USA).

La sustitución de los motores diesel y eléctricos por los reactores atómicos ha significado un gran avance de la técnica submarina, por las ventajas que éstos presentan sobre aquéllos: han desaparecido los problemas derivados del abastecimiento de combustible, pudiendo incluso dar varias vueltas alrededor de la tierra sin necesidad de reabastecerse; las velocidades desarrolladas por los submarinos atómicos han superado fácilmente lo conocido hasta ahora para este tipo de navíos; los humos y gases tóxicos desprendidos de los motores convencionales también han desaparecido, eliminando los riesgos de intoxicación y asfixia que ellos significaban, etc.

El único inconveniente serio que presenta la propulsión atómica para los submarinos, reside en el peligro que significan las radiaciones que se desprenden del combustible. Sin embargo, este riesgo se ha reducido al mínimo, aislando la carga atómica mediante gruesas paredes de plomo y concreto.

Los primeros submarinos atómicos conocidos pertenecen a Estados Unidos. Dos de ellos son ya mundialmente famosos por la proeza cumplida al realizar sendos viajes de prueba e investigación bajo el casquete polar ártico.

Ellos son el "Nautilus", que pasó bajo el Polo Norte el 4 de agosto de 1958, y el "Skate", que lo hizo ocho días más tarde.

Entre las observaciones científicas, realizadas durante esta travesía, destacan las que precisan el espesor de la capa del hielo polar, durante esa época del año, y la profundidad del mar en el polo, que alcanzan a 2,50 y 4.087 metros, respectivamente.

El "Nautilus" fue el primer submarino atómico experimental de EE. UU. y del mundo, con un desplazamiento de 3.200 toneladas. Le siguieron el "Seawolf", con 3.400 toneladas, el "Skipjack", con 2.830, el "Skate", el "Swordfish", el "Sargo" y el "Seadragon" con 2.360 toneladas cada uno. Hasta ahora, EE. UU. ha construído ocho submarinos atómicos y tiene por lo menos 20 más en construcción.

El sumergible más grande construído hasta el momento es el "Triton", lanzado en agosto de 1958, que desplaza 5.900 toneladas, tiene 136 m de eslora, 11,2 m de manga y está dotado de dos poderosos reactores y de los más modernos sistemas de detección y comunicaciones.

SINTESIS

Principio de Arquímedes

- *Empuje*:
  - es la fuerza resultante, de dirección vertical y sentido hacia arriba, de todas las fuerzas con que el líquido actúa sobre un cuerpo sumergido en él.
  - $$\boxed{E = V_c \cdot \rho_l}$$
- *Enunciado*: Todo cuerpo sumergido en un líquido pierde aparentemente una parte de su peso, equivalente al peso del líquido que desaloja.
- *Aplicación*: flotación de los cuerpos
  - *Condición*: $E > \vec{P}$ o $\rho_{\text{líq.}} > \rho_{\text{cuerpo}}$
  - *Cuerpos Flotantes*
    - Barcos
    - Boyas
    - Salvavidas
    - Areómetros
      - Densímetros
      - Alcoholímetros
      - Volúmetros
    - Submarinos

CUESTIONARIO

1.– ¿Qué es el empuje?
2.– ¿De qué factores depende el empuje?
3.– Enuncie el Principio de Arquímedes.
4.– ¿Cómo puede demostrarse experimentalmente el principio de Arquímedes?
5.– Haga una comparación entre el peso y el empuje producido en un cuerpo sumergido en un líquido, indicando las consecuencias derivadas de dicha comparación. (Bachillerato, marzo de 1959).
6.– ¿Qué ocurre si un corcho colocado en el fondo de un recipiente con agua pura se suelta? (Bachillerato, marzo de 1959).
7.– ¿Por qué flota un barco?
8.– ¿Qué significa que el desplazamiento de un barco sea 4.200 toneladas?
9.– ¿En qué principio se basan los salvavidas? ¿Cuál es su objetivo?
10.– ¿Por qué los icebergs o témpanos constituyen un serio peligro para la navegación?
11.– ¿Por qué los peces tienen la vejiga natatoria en el lomo y cómo la utilizan para subir y bajar en el agua?
12.– ¿Qué ventajas presentan los submarinos atómicos sobre los convencionales?
13.– ¿Por qué los buzos usan suela de plomo en los zapatos?
14.– Si un buque pasa del mar a un río, ¿mantiene su línea de flotación? Justifique su respuesta.
15.– ¿En qué caso pesa más un balde, si está lleno de agua y totalmente sumergido o si está vacío fuera del agua?

PROBLEMAS

1.– Un bote con sus pasajeros pesa 380 $\overrightarrow{kg}$. ¿Qué volumen de agua debe desalojar para mantenerse a flote?

R: 380 [dm^3]

2.– 1 [$\overrightarrow{kg}$] de aluminio se sumerge en agua. ¿Cuánto pesa sumergido?

R: 629,7 [$\overrightarrow{g}$]

3.– ¿Cuál es el peso específico del fierro, si una llave de ese metal pesa en el aire 24,2 $\vec{g}$ y en el agua 21,1 $\vec{g}$?

$$\text{R: } 7{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$$

4.– Un cuerpo pesa en el aire 500 $\vec{g}$ y en el agua 400 $\vec{g}$. Calcule su volumen y su peso específico.

$$\text{R: } V = 100 \; [cm^3]$$

$$\rho = 5 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$$

5.– ¿Con qué fuerza trata de subir un cubo de corcho de 20 cm de arista sumergido totalmente en alcohol? Peso específico del corcho

0,24 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$; peso específico del alcohol 0,8 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3} \right]$

R: 4,48 $[\vec{kg}]$

6.– Un hombre que pesa 75 $\vec{kg}$ y cuyo volumen es de 0,04 m^3 está totalmente sumergido en agua. ¿Qué fuerza necesita para subir?

R: 35 $[\vec{kg}]$

7.– Una esfera de platino pesa 660 $\vec{g}$ en el aire, 630 $\vec{g}$ en el agua y 606 $\vec{g}$ en ácido sulfúrico. Calcular los pesos específicos del platino y del ácido sulfúrico.

R: a) $\rho\,Pt = 22 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

b) $\rho\,H_2SO_4 = 1{,}8 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

8.– ¿Cuántos m^3 menos desplaza un navío, que pesa 20.000 toneladas, al pasar de un río al mar, en que el peso específico del agua es $1{,}03 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$ (se supone en el río $\rho = 1 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$).

R: 507 [m^3]

9.– ¿Qué peso específico tiene una medalla hecha con partes iguales de oro y cobre? ¿Y si estuviera hecha de $\dfrac{1}{3}$ y $\dfrac{2}{3}$ respectivamente?

R: $13{,}9 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$; $12{,}1 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

10.– Suponiendo que la corona de Hierón pesaba 1.070 $\vec{g}$ en el aire y 1.010 $\vec{g}$ en el agua, ¿cuántos cm^3 de oro y cuántos cm^3 de plata había en ella? (Los respectivos pesos específicos son $19{,}3 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$ y $10{,}5 \left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$).

R: oro: 50 cm^3
plata: 10 cm^3

11.– ¿Qué carga debe añadirse a un buque que pasa de un río al mar para mantener su línea de flotación? El buque con su carga pesa 1.000 $\overrightarrow{\text{ton}}$ y el peso específico del agua de mar es 1,03 $\left[\dfrac{\overrightarrow{\text{g}}}{\text{cm}^3}\right]$.

R: 30 $[\overrightarrow{\text{ton}}]$.

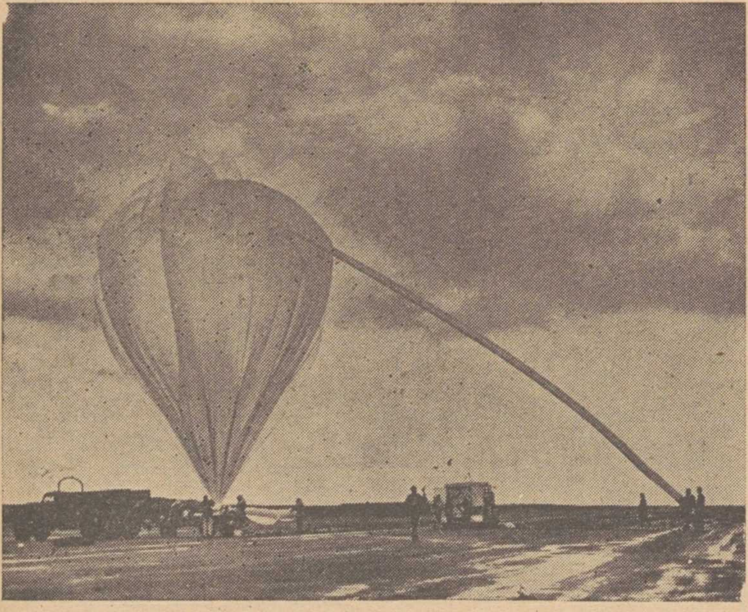
12.– Un cuerpo está construído de madera y hierro. ¿En qué proporción deben intervenir para que el cuerpo quede en equilibrio a media agua? Peso específico del hierro 7,8 $\left[\dfrac{\overrightarrow{\text{g}}}{\text{cm}^3}\right]$; peso específico de la madera 0,6 $\left[\dfrac{\overrightarrow{\text{g}}}{\text{cm}^3}\right]$.

R: $\dfrac{V_{F_e}}{V_m} = \dfrac{1}{17}$

13.– Un cuerpo de 400 $\overrightarrow{\text{g}}$ tiene una parte hueca de 25 cm^3. ¿Cuánto pesa completamente sumergido en un líquido cuya densidad es 1,2, si la densidad del material es 8 unidades? (Bachillerato, marzo de 1959).

R: 370 $\overrightarrow{\text{g}}$

3ª UNIDAD Mecánica De Los Gases



Sumario: *Capítulo I.— PRESION ATMOSFERICA.*

34.— La atmósfera. 35.— Peso específico de los gases. 36.— Medida de la presión atmosférica. 37.— Barómetros. 38.— Aplicaciones de los barómetros. 39.— Manómetros. 40.— Aplicaciones de la presión atmosférica. 41.— Máquinas neumáticas.

Capítulo II.– PRINCIPIOS DE LA NEUMOSTATICA.

42.– Principio de Pascal. 43.– Principio de Arquímedes. 44.– Aplicaciones del Principio de Arquímedes. Síntesis de la unidad. Cuestionario. Problemas.

Capítulo III.– LA CONQUISTA DEL ESPACIO.

45.– Los primeros pasos. 46.– Cohetes y satélites artificiales.

BLAS PASCAL (1623-1662).

"La esencia del hombre y su destino sólo son accesibles a la lógica del corazón".

Ilustre matemático, físico y filósofo francés, nacido en Clermont, Auvernia, Francia.

De asombrosa precocidad, a los 12 años intuyó y redactó por sí mismo los principales postulados de Euclides. A los 16 escribió un tratado de las "secciones cónicas" (elipse, parábola, hipérbole), que dejó admirado a Descartes. A los 19 inventó una máquina de calcular, que fue perfeccionando en años sucesivos. Es el iniciador del cálculo de probabilidades.

En el campo de la Física, debemos a Pascal la ley fundamental de la transmisión de presiones en los flúidos, conocida como "principio de Pascal" y la determinación experimental de la variación de la presión atmosférica con la altura.

Una valiosa aplicación práctica de este principio es la prensa hidráulica, inventada por el ingeniero inglés Bramah, quien aprovechó también las ideas del físico flamenco Simón Stevin, descubridor de la paradoja hidrostática.

Al final de su corta pero fecunda existencia, Pascal buscó la perfección espiritual a través de una línea mística y filosófica.

CAPITULO I

PRESION ATMOSFERICA

34.– LA ATMOSFERA.

La inmensa masa de aire que rodea la tierra, indispensable para la vida de los seres orgánicos, por su acción directa y por su composición, y cuya existencia nos es tan familiar que rara vez nos detenemos a pensar en ella, constituye la atmósfera terrestre.

En nuestra época, los intentos del hombre por alejarse de la tierra más allá de la atmósfera, hacen que ésta cobre para nosotros permanente interés y actualidad.

Está constituída por una mezcla de gases, que intervienen en su composición en los porcentajes que indica la tabla siguiente (1):

Sustancia	*Tanto % en volumen (aire seco)*
nitrógeno	78,03
oxígeno	20,99
argón	0,93
anhidrido carbónico	0,03
hidrógeno	0,01

(1) Linus Pauling, Química General, 1955.

neón	0,0018
helio	0,0005
kriptón	0,0001
ozono	0,00006
xenón	0,000009

La altura o espesor de la atmósfera aún no puede fijarse en forma definitiva; pero se estima habitualmente alrededor de los 600 km.

En ella se distinguen las siguientes capas:

a) *Tropósfera.*— Se extiende desde la superficie de la tierra hasta unos 10 ó 15 km de altura. Contiene alrededor del 75% del peso de toda la atmósfera. La temperatura del aire decrece en ella, a medida que aumenta la altura, alcanzando unos 50° C bajo cero en su límite superior llamado tropopausa.

La densidad de la atmósfera también disminuye con la altura, a tal punto que a unos 8 km no hay aire suficiente para la respiración.

Esta capa es importante, además, porque en ella ocurren todos los fenómenos atmosféricos más característicos: lluvias, vientos, tormentas eléctricas, etc., por lo cual se llama también "región de las turbulencias".

b) *Estratósfera.*— Se extiende desde la tropopausa hasta unos 30 km de altura sobre la superficie de la tierra. En su parte más baja es dónde se forman las nubes más altas. Su temperatura es prácticamente constante y de unos 60° C bajo cero. En su parte más alta, la atmósfera pierde su luminosidad y el cielo aparece totalmente negro.

Las características de la estratósfera se aprovechan para los "vuelos estratosféricos", porque los aviones pueden alcanzar mayores velocidades que en la tropósfera, por la menor densidad del aire, y porque no están sometidos a los peligros que representan los fenómenos atmosféricos que en ésta se producen.

c) *Quemósfera*.— Se la llama también alta estratósfera y alcanza hasta unos 80 km de altura. En su parte más baja se filtran los rayos ultravioleta del sol, pasando sólo pequeña cantidad hacia la superficie de la tierra.

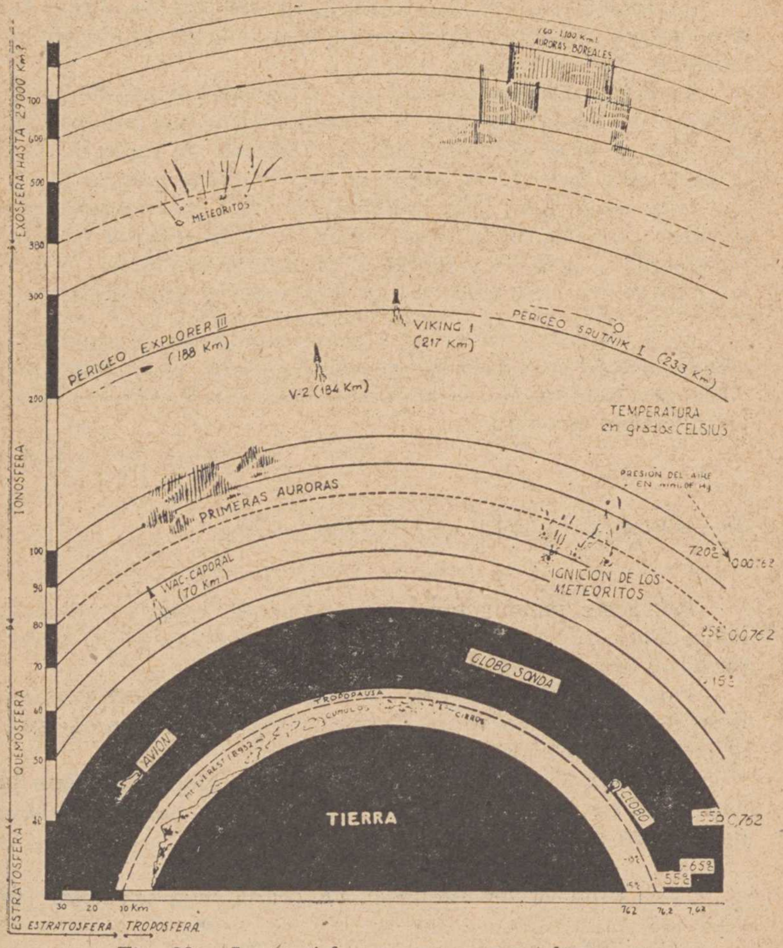


Fig. 39.— La átmósfera terrestre y sus diversas zonas.

En esta capa se producen las primeras auroras y la ignición de los meteoros. Su temperatura varía desde unos – 50° C, en su parte inferior, hasta unos – 80° C, en la superior, pasando por unos – 18° C alrededor de los 45 km.

d) *Ionósfera.*– Alcanza hasta unos 380 km de altura. La temperatura aumenta rápidamente y en ella se producen las llamadas auroras boreales.

Es tal la disminución del aire o enrarecimiento de la atmósfera en esta capa, que se considera que un volumen de aire, que al nivel del mar contiene 1.000.000 de moléculas, en la parte más baja de la ionósfera sólo contiene una molécula.

Esta capa tiene gran importancia para las transmisiones radiales, pues las ondas electromagnéticas se *reflejan* en ellas retornando a la tierra y haciendo posible la recepción, aún en los puntos más apartados de las estaciones transmisoras.

e) *Exósfera.*– Es la capa más externa de la atmósfera, con una escasísima cantidad de aire y de una altura muy difícil de precisar, aunque se la estima superior a los 600 km sobre la superficie terrestre.

35.– PESO ESPECIFICO DE LOS GASES.

Los gases pesan mucho menos que los líquidos y los sólidos, tanto que antiguamente se creyó que los gases, en especial el aire, no tenían peso.

Para determinar su peso se utiliza un recipiente primero lleno de gas y luego vacío. La diferencia de pasadas equivale al peso del gas contenido en el recipiente.

Si el gas pesado es aire y el matraz empleado tiene la capacidad de un litro, entonces, esa diferencia indicará el peso de un litro de aire.

Un litro de aire seco, en condiciones normales (0° C y 760 mm de mercurio) pesa 1,293 g.

Luego, su peso específico será:

$$\rho = 1{,}293 \left[\frac{\vec{g}}{\text{litro}}\right] = 1{,}293 \left[\frac{\vec{g}}{dm^3}\right]$$

o sea: $$\boxed{\rho_{aire} = 0{,}001293 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

En igual forma se puede determinar el peso específico de cualquier gas.

También se acostumbra expresar el peso específico de los gases en relación al aire. Así, si 1 litro de hidrógeno pesa $0{,}089\ \vec{g}$, entonces:

$$\rho r \text{ del H} = \frac{\text{peso de 1 litro de H}}{\text{peso de 1 litro de aire.}}$$

$$\text{O sea: } \rho r \text{ del H} = \frac{0{,}089\ [\vec{g}]}{1{,}293\ [\vec{g}]} = 0{,}0695$$

Además, es frecuente considerar al hidrógeno como gas standard o de referencia. En tal caso, el peso específico relativo de los gases, resulta siempre superior a uno.

Peso específico de los gases (a 0° C y 760 mm de Hg).

gas	$\vec{\rho}$ en $\left[\frac{g}{litro}\right]$	$\vec{\rho}$ en $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	ρr (aire)
aire	1,293	0,001293	1
hidrógeno	0,089	0,000089	0,0695
oxígeno	1,429	0,001429	1,1052
nitrógeno	1,250	0,001250	0,9672
anhídrido carb.	1,976	0,001976	1,529
argón	1,783	0,001783	1,3796
helio	0,178	0,000178	0,1380
neón	0.9003	0.00090	0.6963

36.– MEDIDA DE LA PRESION ATMOSFERICA.

La atmósfera, en conjunto, descansa sobre la superficie de la tierra, mantenida por la atracción de la fuerza de gravedad. El peso de esa gran masa gaseosa ejerce permanentemente una presión sobre la superficie terrestre y sobre cuanto animal o cosa existe sobre ella. Esta presión se denomina "presión atmosférica".

Numerosas experiencias nos permiten demostrar que la presión atmosférica se ejerce en todas direcciones sobre los cuerpos. Por ejemplo:

a) Un vaso lleno de agua se tapa con un papel y se invierte. El líquido no cae a pesar de la presión del agua, porque ésta es menor que la que ejerce la atmósfera hacia arriba sobre el papel.

b) Un tubo delgado, abierto en sus dos extremos, se llena de agua y se tapa con el dedo en su parte superior. El líquido no cae, pues lo sostiene la presión atmosférica.

c) "Tomar mate o refrescos con pajita". Al chupar, extraemos el aire del tubo o bombilla (succión) y entre las dos superficies del líquido — dentro y fuera de la bombilla — se produce una diferencia de presión que mueve al líquido hacia donde la presión es menor, haciéndolo subir por la bombilla.

Fig. 40.— La presión atmosférica hace subir el líquido.

Experiencia de Torricelli.

Evangelista Torricelli (italiano, discípulo de Galileo) comprobó que la presión atmosférica hace subir los líquidos a través de un tubo vacío hasta una determinada altura, característica para cada líquido y que depende de su peso específico.

Torricelli hizo su célebre experiencia invirtiendo un tubo de algo más de 1 m de largo, lleno con mercurio, en una cubeta también con mercurio. Pudo observar que el nivel del tubo bajaba siempre hasta una misma altura, donde permanecía estático, marcando unos 76 cm sobre el nivel de la cubeta. En la parte superior del tubo quedaba un vacío, al que hoy damos el nombre de vacío de Torricelli.

El mercurio se mantiene en la columna interior del tubo, en virtud de la presión que la atmósfera ejerce sobre el mercurio de la cubeta.

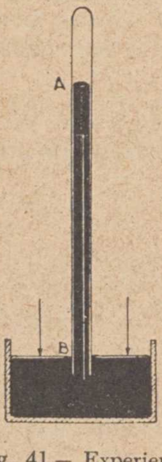


Fig. 41.— Experiencia de Torricelli.

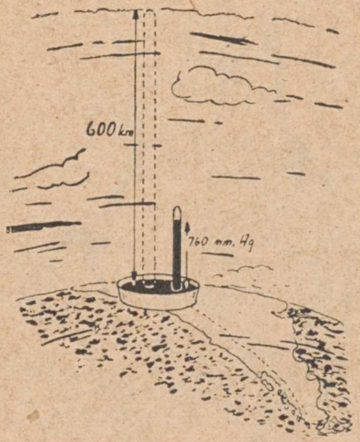


Fig. 42.– La presión atmosférica equilibra la columna de Hg.

Este hecho nos permite medir la presión atmosférica sobre el mercurio de la cubeta por la presión que ejerce sobre el fondo la columna de mercurio contenida en el tubo, puesto que éste y la atmósfera pueden considerarse constituyendo un sistema de vasos comunicantes con líquidos diferentes.

Acompañemos el tubo con mercurio con un tubo imaginario de aire, cuya altura sea la de la atmósfera (600 km.). La presión ejercída por la columna de mercurio es equilibrada por la que ejerce la columna de aire.

Como el peso específico del aire es pequeño, la columna de aire considerada tiene una gran altura, equivalente a la altura de la atmósfera, en tanto que la altura de la columna de mercurio es muy pequeña, pues el peso específico del mercurio es muy grande.

La presión de la atmósfera se equilibra con una columna de mercurio de 76 cm de altura aproximadamente, y como el peso específico del mercurio es 13,6 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$, tendremos que la presión atmosférica será:

$$p = h \cdot \rho$$

$$p = 76 \,[cm] \cdot 13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$p = 1033{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right] = 1{,}0336 \left[\frac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$$

Esta presión se denomina 1 atmósfera física.

$$1 \text{ [atm. física]} = 1{,}0336 \left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$$

Se le da el nombre de atmósfera física para distinguirla de la llamada atmósfera técnica, que equivale a 1 $\left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$

$$1 \text{ [atm. técnica]} = 1 \left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$$

Otras unidades usadas para medir la presión atmosférica son los milibares y los cm y mm de mercurio. Un milibar equivale a 0,75 mm de mercurio y se lo emplea principalmente en las estaciones meteorológicas.

$$1 \text{ [milibar]} = 0{,}75 \text{ mm de mercurio}$$

La presión ejercida por una columna de Hg de 1 mm de altura se denomina 1 *tor.*

$$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ tor}$$

La presión ejercida por la atmósfera a 0° C, a 45° de latitud y al nivel del mar se denomina presión normal y equivale a la presión de una columna de 760 mm de mercurio.

$$\text{Presión normal} = 760 \text{ mm Hg} = 1 \text{ [at. física]} = 1{,}0336 \left[\frac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$$

Equivalencias entre unidades de presión:

Unidades	$\frac{\vec{kg}}{cm^2}$	atm. física	mm de Hg	milibares
$\frac{\vec{kg}}{cm^2}$	1	0,968	736	980
atm. física	1,0336	1	760	1013,3
mm de Hg	0,00136	0,00132	1	1,33
milibares	0,00102	0,00099	0,75	1

Problema 1.–

¿Qué altura debe alcanzar una columna de agua para equilibrar otra de mercurio de 76 cm?

Solución:

$$h_{Hg} = 76 \text{ cm}$$

$$\rho Hg = 13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$\rho_a = 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$h_a = x$$

$$h_a \cdot \rho_a = h_{Hg} \cdot \rho_{Hg}$$

$$x \cdot 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] = 76 \; [cm] \cdot 13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$x = 76 \cdot 13{,}6 \; [cm]$$
$$x = 1033{,}6 \; [cm]$$
$$x = 10{,}336 \; [m]$$

Respuesta: La columna de agua alcanza 10,336 m de altura.

Este resultado nos indica que, si la experiencia de Torricelli se realiza con agua, en lugar de mercurio, la presión atmosférica equivale a la presión sobre el fondo de una columna de agua de 10,336 m de altura.

Problema 2.–

¿Qué altura debe tener una columna de mercurio para equilibrar otra de agua de 9,2 m de alto?

Solución:

$$h_a = 9{,}20 \text{ m}$$

$$\rho_a = 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$h_{Hg} = x$$

$$\rho_{Hg} = 13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$h_{Hg} \cdot \rho_{Hg} = h_a \cdot \rho_a$$

$$x \cdot 13{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] = 9{,}20 \; [m] \cdot 1 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$x = \frac{9{,}20}{13{,}6} \; [m]$$

$$x = 0{,}676 \; [m]$$

$$x = 67{,}6 \text{ cm de mercurio}$$

Respuesta: Se requiere una columna de 67,6 cm de mercurio.

Téngase presente: para reducir presión en cm de agua a presión en cm de mercurio, basta dividir los cm de agua por 13,6.

Problema 3.—

Calcule la altura de la atmósfera sobre el nivel del mar.

Solución:

$$p = 1033{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right] \qquad p = h \cdot \rho$$

$$\rho_{aire} = 0{,}0013 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \qquad h = \frac{p}{\rho}$$

$$h = x$$

$$h = \frac{1033{,}6 \left[\frac{\vec{g}}{cm^2}\right]}{0{,}0013 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]}$$

$$h = 795.077 \ [\,cm\,]$$

$$h = 7{,}95 \ [\,km\,]$$

Respuesta: La altura de la atmósfera sobre el nivel del mar resulta aproximadamente de 7,95 km.

Sin embargo, hemos afirmado que la altura asignada a la atmósfera alcanza a unos 600 km. ¿Cómo se explica, entonces, este resultado?

Simplemente por el hecho de haber supuesto constante el peso específico del aire, lo que no es efectivo. Al nivel del mar es

$0{,}0013 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$, pero va disminuyendo rápidamente con la altura, para alcanzar enrarecimientos tan grandes como el que se estima para la ionósfera.

No es, pues, posible determinar en esta forma la altura de la atmósfera.

37.—BAROMETROS.

Para medir la presión atmosférica se utilizan aparatos llamados barómetros. Los hay de mercurio y aneroides, de diferentes construcciones.

a) *Barómetros de mercurio.*— Se basan en la experiencia de Torricelli. Entre ellos tenemos el de cubeta y el de Fortin.

El barómetro de cubeta es el tubo de Torricelli con cubeta y una regla graduada para hacer las lecturas del nivel alcanzado por el mercurio. Presenta algunos inconvenientes: es incómodo para trasladarlo y además, las variaciones de la presión atmosférica modifican la posición del cero de la escala, el que no siempre coincide con el nivel del mercurio de la cubeta. Esto se debe a la variación simultánea del nivel del mercurio en el tubo y en la cubeta.

La construcción de Fortin elimina estos inconvenientes, resultando el instrumento

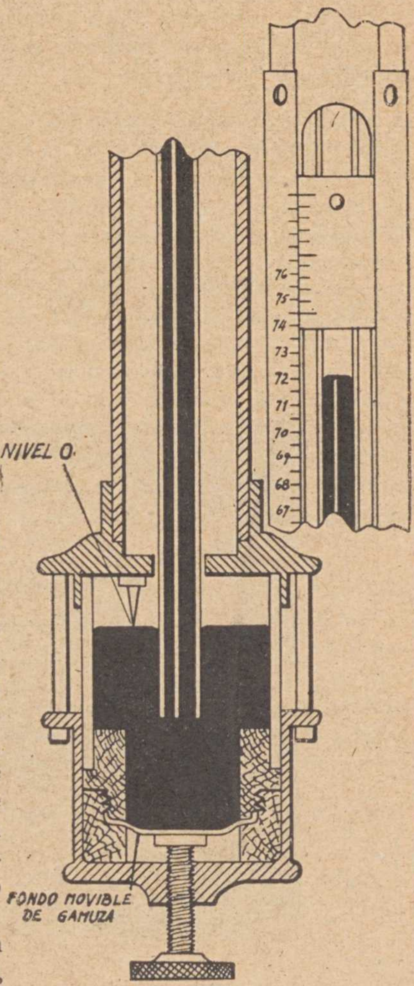


Fig. 43.— Barómetro de Fortin.

más preciso y manuable. La cubeta se reemplaza por un recipiente con fondo de gamuza, que puede hacerse subir o bajar por medio de un tornillo, de modo que, en el momento de hacer una medición, la superficie del mercurio coincida con el cero de la escala, indicado por el extremo de una punta de marfil.

Las mediciones hechas en barómetros de Hg deben corregirse tomando en cuenta: a) la temperatura del instante en que fue hecha la lectura, b) el error causado por la capilaridad, y c) la reducción de la columna de mercurio a 0° C, a 45° de latitud y al nivel del mar.

La temperatura obliga a reducir la altura de la columna de Hg a la que tendría a 0° C y, además, considerar la dilatación de la escala con que se mide dicha altura. La otra corrección es debida a la superficie libre del mercurio, que es curva (menisco convexo) debido al fenómeno de capilaridad, originando en este caso una fuerza que tiende a reducir la columna de Hg, ascendiendo menos de lo que corresponde. Esta corrección depende del diámetro interior del tubo y es despreciable cuando éste excede de 2,5 cm.

Tanto para la corrección de temperatura como de capilaridad, hay tablas que dan directamente estos valores. La primera debe restarse a la presión leída mientras que la segunda, sumarse. Por último, se tiene la columna de mercurio reducida a la que tendría a 0° C, 45° de latitud y al nivel del mar, multiplicando la lectura corregida, considerando temperatura y capilaridad, por el cuociente entre la aceleración de gravedad del lugar y la aceleración de gravedad normal (980,656

$\left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$) o sea, por $\frac{g}{g_n}$.

b) *Barómetros de sólidos o aneroides.*—Se basan en las deformaciones que experimentan sus paredes elásticas con los cambios de presión atmosférica. Son menos precisos que los de mercurio debido a que su elasticidad es afectada con el tiempo; en cambio, son más manuables, construyéndose algunos del tamaño de un reloj de bolsillo. Su escala está graduada, por comparación con un barómetro de mercurio, generalmente en cm de mercurio y en atmósferas.

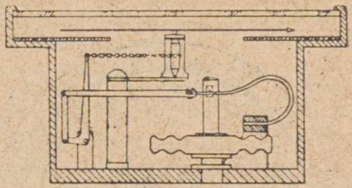


Fig. 44.— Corte de barómetro aneroide.

El más usado es el de construcción tipo Vidi. Consiste en un cilindro metálico chato, cuyas caras están acanaladas para hacerlas más flexibles, y dentro del cual se ha hecho el vacío.

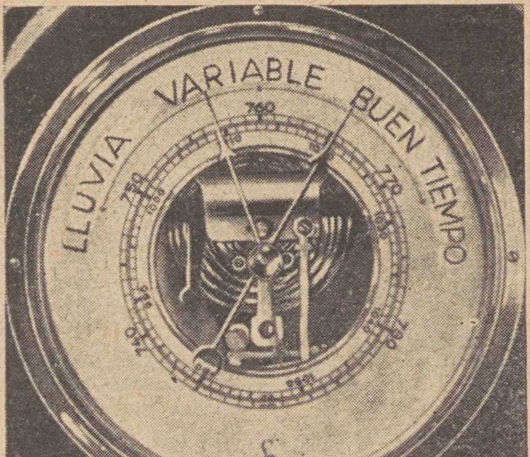


Fig. 45.— Barómetro de Vidi.

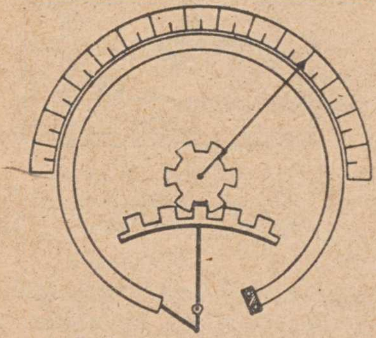


Fig. 46.– Barómetro de Bourdon.

Si aumenta la presión, se hunden las caras, y si la presión disminuye, éstas se dilatan. Las variaciones de presión se comunican mediante un sistema de palancas y engranajes a una aguja que gira sobre un arco graduado.

Otra construcción aneroide es el tubo vacío de Bourdon, de forma circular y sección elíptica, que se encoge o estira al aumentar o disminuir la presión atmosférica. Estos movimientos se comunican mediante engranajes a una aguja que marca sobre un arco graduado las variaciones de presión que los producen.

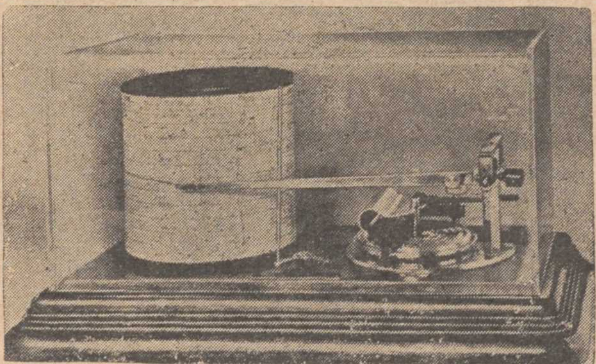


Fig. 47.– Barógrafo (barómetro registrador).

c) *Barógrafo.*– Es un barómetro registrador: deja constancia de las variaciones de presión habidas en un intervalo cualquiera de tiempo, sobre una hoja de papel enrollada en un cilindro giratorio. Para este fin, se fija en el extremo de la aguja indicadora una pluma entintada.

38.– APLICACIONES DE LOS BAROMETROS.

a) *Altímetro.*– Es un barómetro aneroide que permite leer directamente la altura correspondiente a las presiones que marca. Es de gran importancia en la aeronavegación, especialmente el tipo registrador.

b) *Predicción de las condiciones atmosféricas.*– La gran mayoría de los fenómenos atmosféricos que conocemos, especialmente las lluvias, tormentas eléctricas, los vientos, ondas de frío o de calor, tienen una estrecha relación con las variaciones de la presión atmosférica.

Hemos establecido ya que la presión atmosférica varía con la altura; pero no es ésta la única causa de sus variaciones: los cambios de temperatura, la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera (humedad del aire), los vientos, etc., ejercen también una influencia poderosa.

El conocimiento de esta relación permite establecer, en forma más o menos aproximada, las condiciones atmosféricas que corresponden a determinadas presiones y, por lo mismo, predecirlas, cuando tales presiones se presentan.

Esta es la base de los trabajos que realizan las oficinas o estaciones meteorológicas y de su diario "boletín del tiempo".

Cuando el barómetro baja en forma brusca y sostenida, se pronostica mal tiempo; si, por el contrario, sube y se mantiene, puede predecirse buen tiempo. Para que las predicciones sean fundadas y seguras, es necesario considerar las observaciones de una extensa zona y no sólo las de un lugar determinado.

En los barómetros aneroides, sobre el limbo graduado, van también las expresiones *buen tiempo, variable* y *lluvias,* con las cuales se caracterizan los principales estados atmosféricos correspondientes a las presiones que abarcan.

En la actualidad, durante el desarrollo del año geofísico internacional, numerosos centros de observación distribuídos por todo el mundo, han procurado recoger datos suficientes como para obtener una visión meteorológica global que permita mayor precisión en estas predicciones de las condiciones atmosféricas.

39.— MANOMETROS.

Los barómetros se usan sólo para medir la presión atmosférica.

Para medir la presión de un gas o vapor contenido en un depósito cualquiera, es necesario emplear otros aparatos, llamados manómetros, de los cuales, el más sencillo es el denominado manómetro de aire libre.

Consiste en un tubo en U, con mercurio, con sus dos ramas abiertas, una de las cuales se comunica con el depósito que contiene el gas o vapor y la otra con la atmósfera.

Cuando la presión del gas es igual a la atmosférica, los niveles del mercurio en ambas ramas son iguales y si es dife-

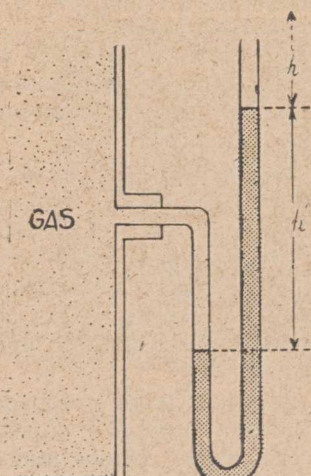


Fig. 48— Manómetro de aire libre.

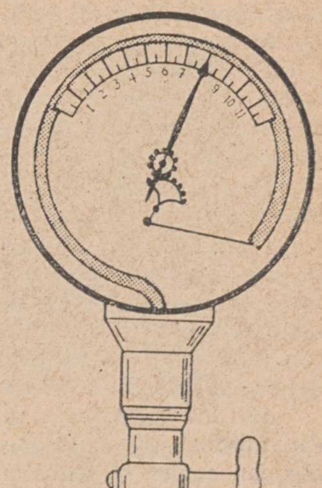


Fig. 49.— Manómetro de Bourdon.

rente, el desnivel del mercurio marca la diferencia correspondiente.

Si h es la presión atmosférica y h', el desnivel marcado por el manómetro, entonces la presión p del gas es:

$$p = h + h' \; [\text{cm de mercurio}]$$

Sin embargo, este aparato no permite medir presiones muy altas, pues sería necesario un tubo de mucha longitud, y en la práctica se prefiere el manómetro metálico de Bourdon, similar al barómetro del mismo nombre.

El tubo se conecta al depósito de gas y la presión de éste lo hace estirarse moviendo la aguja indicadora. Se gradúa en atmósferas o en libras peso por pulgada cuadrada.

$$1 \; [\text{atm}] = 14{,}697 \left[\frac{\vec{\text{lb}}}{\text{pulg}^2}\right]$$

El que se utiliza para medir la presión del aire en los neumáticos está graduado en $\left[\frac{\vec{\text{lb}}}{\text{pulg}^2}\right]$, razón por la cual se acostumbra, aunque incorrectamente, hablar de "libras de presión".

40.– APLICACIONES DE LA PRESION ATMOSFERICA.

La presión que ejerce la atmósfera sobre los cuerpos se aprovecha en numerosos aparatos de uso práctico, mediante espacios vacíos o enrarecidos.

Entre estos aparatos tenemos: la pipeta, el sifón y las bombas hidráulicas y neumáticas.

Pipeta.— Es un tubo ensanchado en el medio y muy aguzado en un extrêmo. Se lo emplea para tomar muestras de líquidos: se introduce el extremo aguzado en el líquido, se aspira por el otro y cuando ha penetrado el líquido, se tapa con el dedo la parte superior.

Al aspirar, se produce un enrarecimiento en la pipeta y una consiguiente disminución de presión. El líquido sube, impulsado por la presión atmósferica que se ejerce sobre la superficie exterior del líquido, pues la presión interior se ha hecho inferior a ella.

Al retirar el aparato, manteniendo tapado el extremo superior, el líquido no cae: lo sostiene la presión atmosférica.

Sifón.— Es un tubo acodado, de ramas desiguales, empleado para trasladar líquidos de un recipiente a otro de nivel inferior.

Para usarlo debe cebarse, esto es, llenarlo con el líquido que se va a trasvasar o bien as-

Fig. 50.— Pipeta.

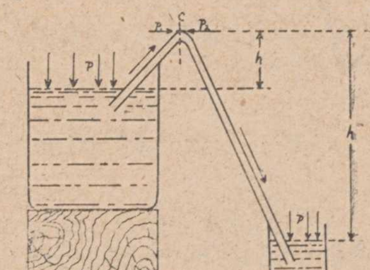


Fig. 51.— Sifón.

pirar por el extremo más largo, luego de introducir el más corto en el recipiente más alto. El líquido sube hasta el codo C y de inmediato se establece una corriente continua de líquido hacia el recipiente más bajo, por la diferencia de presión entre los niveles.

En el codo las presiones por ambos lados son:

$$p_1 = p - h$$

y $$p_2 = p - h'$$

y como $h' > h$, entonces $p_1 > p_2$

Bombas hidráulicas.– Son aparatos destinados a elevar líquidos aprovechando la presión atmosférica.

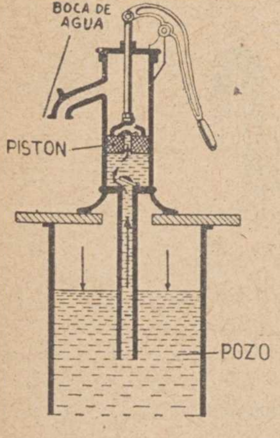


Fig. 52.– Bomba aspirante.

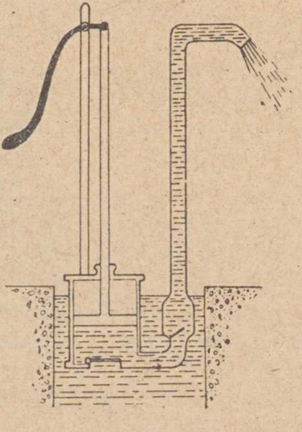


Fig. 53.– Bomba impelente.

Según la forma como logren su objetivo, las bombas pueden ser: aspirantes, impelentes y aspirante-impelentes.

1) *Bomba aspirante.*– Sus partes principales son: a) un

cuerpo de bomba abierto al exterior y recorrido por un émbolo provisto de una válvula; b) un tubo de aspiración comunicado con el cuerpo de bomba por medio de otra válvula, y c) una palanca que permite accionar el émbolo.

Un ejemplo sencillo de bomba aspirante la constituye la "jeringa".

2) *Bomba impelente.*— Consta de un cuerpo de bomba con émbolo macizo, sin válvula, cuya parte inferior está sumergida en el agua. En lugar del tubo de aspiración lleva un tubo de elevación provisto de una válvula.

3) *Bomba aspirante-impelente.*— Es una combinación de las dos anteriores, o sea, una bomba impelente provista de un tubo de aspiración.

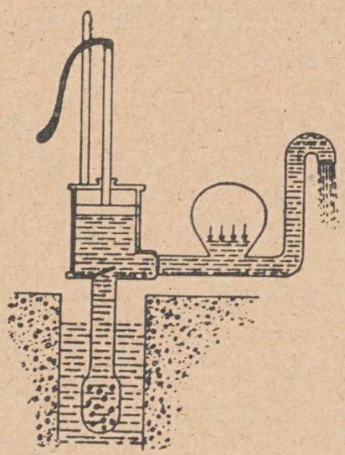


Fig. 54.— Bomba aspirante-impelente.

El límite de aspiración de una bomba es teóricamente de 10,33 metros y en la práctica, de 7 a 8 metros, lo cual indica que el tubo de aspiración no debe exceder tales longitudes. El límite de elevación de la bomba impelente depende de la fuerza propulsora.

Bombas centrífugas.–

Son bombas destinadas también a elevar líquidos aprovechando la fuerza centrífuga de una rueda de paletas, que gira a gran velocidad dentro de una caja metálica.

En la caja hay dos aberturas: una en la parte central, comunicada con el tubo de aspiración, y otra en la periferia, que comunica con el tubo de elevación.

La bomba es accionada por medio de un motor, con lo cual se consigue un mejor rendimiento, justificando su mayor empleo en la industria.

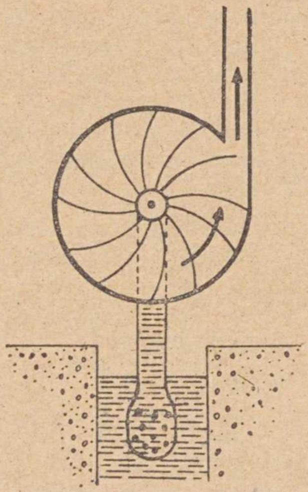


Fig. 55.– Bomba centrífuga.

41.– MAQUINAS NEUMATICAS.

El enrarecimiento que la atmósfera experimenta con la altura significa que, a medida que ascendemos, encontramos progresivamente un menor número de moléculas por cada unidad de volumen de atmósfera.

Este enrarecimiento se denomina vacío y puede lograrse también en recipientes convenientemente dispuestos, mediante máquinas llamadas bombas de vacío.

El vacío absoluto es prácticamente imposible de obtener, aunque hay máquinas con las cuales se logra un alto grado de enrarecimiento, que se aprovecha en la fabricación de tubos de radio (válvulas electrónicas) y de rayos X, ampolletas, termos, etc.

Por otra parte, sabemos que los gases son fácilmente compresibles, es decir, puede reducirse considerablemente su volumen por la aplicación de una fuerza exterior o bien aumentando la cantidad de gas contenido en un determinado volumen. Las máquinas ideadas para tal objeto se denominan compresoras.

Tanto las bombas de vacío como las compresoras obedecen al nombre común de máquinas neumáticas y las hay de los más variados tipos.

Bombas de vacío.— El modelo más sencillo y de uso más corriente, en las experiencias ordinarias, es el de pistón o de válvulas.

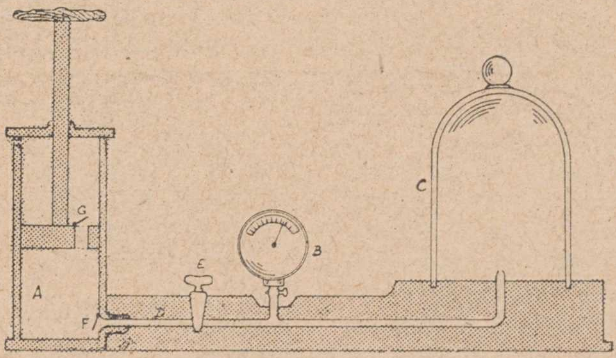


Fig. 56.— Bomba de vacío.

Sus partes principales son: el cuerpo de bomba A, el manómetro B, la campana de vacío C y el tubo D, que los une y que puede interrumpirse mediante la llave E.

Funciona en la forma siguiente:

a) Se hace subir el pistón, produciendo un vacío en la parte inferior de A. La mayor presión del aire contenido en C y D abre la válvula F, dejando pasar cierta cantidad de aire hacia la parte vacía.

b) Alcanzado el punto más alto, se hace bajar el pistón, comprimiendo el aire. Con ello se cierra la válvula F y se abre G, dejando escapar al exterior el aire contenido en A.

c) Se repite el proceso hasta conseguir el enrarecimiento deseado, que se mide mediante el manómetro B, que puede ser metálico o de mercurio.

El enrarecimiento máximo se obtiene cuando la presión del aire de la campana C se torna incapaz de abrir la válvula F.

Otras bombas de vacío son las de mercurio, la trompa de agua de Bunsen, la rotatoria, etc.

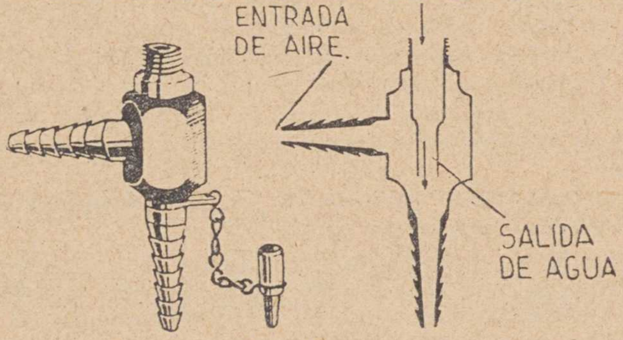


Fig. 57.– Bomba de vacío de Bunsen.

Compresoras.– Estos aparatos tienen por objeto aumentar la presión del gas contenido en un recipiente, ya sea reduciendo su volumen o bien aumentando la cantidad de gas contenido en el recipiente.

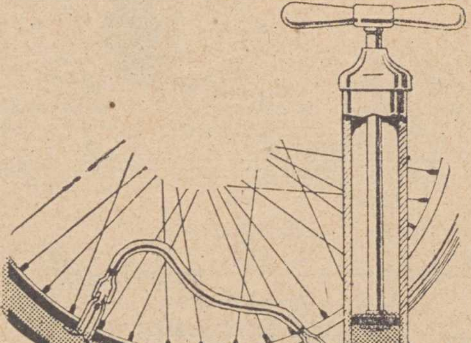


Fig. 58.– Modelo fundamental de compresora.

El modelo fundamental lo tenemos en el inflador de bicicletas.

Está constituído por un cuerpo de bomba con una válvula A, en el émbolo, y otra B, en el tubo de comunicación con el neumático.

Su funcionamiento es tan simple como su estructura. Al subir el émbolo se cierra la válvula B y se abre A, dejando penetrar aire a la parte inferior del cilindro, pero al bajar ocurre lo contrario: se cierra A y se abre B, por la compresión, empujando el aire hacia el neumático. El proceso se repite las veces que sea necesario para alcanzar el aumento de presión deseado.

Las aplicaciones prácticas de los gases comprimidos son muy variadas y numerosas.

El oxígeno, el hidrógeno, el acetileno para las soldaduras autógenas, el aire, el anhídrido carbónico, etc., son los que mayor utilidad práctica presentan al ser comprimidos en tubos especiales, de paredes metálicas, muy resistentes.

El aire comprimido se emplea principalmente en los *frenos de aire*, en los neumáticos de los vehículos, para accionar ciertos tipos de prensas hidráulicas, etc.

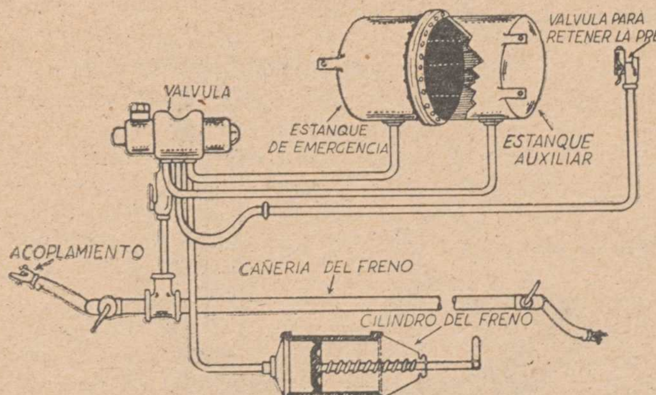


Fig. 59.– Frenos de aire, sistema Westinghouse.

CAPITULO II

PRINCIPIOS DE LA NEUMOSTATICA

42.– PRINCIPIO DE PASCAL.

Supongamos un volumen de gas encerrado en un recipiente. Sabemos que por su peso el gas ejerce presión sobre el fondo.

¿Hará presión también sobre el resto de las paredes del recipiente?

Si inflamos un globo de goma observamos que éste aumenta su volumen en todas direcciones, lo que nos indica que el aire *hace presión en todas direcciones.*

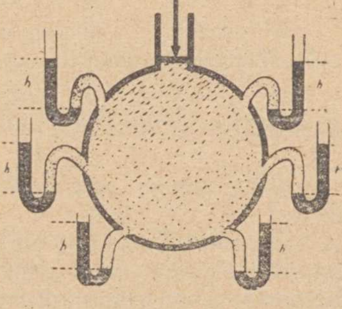


Fig. 60.– Principio de Pascal en los gases.

Para comprobar esto basta tomar un recipiente, como el de la figura, lleno de gas y con cierta cantidad de líquido en los tubitos en forma de U. El desnivel del líquido en los pequeños manómetros mide la presión que el gas ejerce sobre él.

Si aplicamos una fuerza por medio del émbolo E, observamos que el desnivel experimenta igual aumento en todos los tubos. Luego, la presión ejercida sobre el gas ha sido trasmitida con igual intensidad en todas direcciones.

Esto significa que los gases, como los líquidos, se rigen por el Principio de Pascal y, en consecuencia, podemos enunciar este principio en forma más general:

> *Toda presión ejercida sobre un flúido se transmite íntegramente y en todas direcciones.*

¿Cuál es la causa de la presión que los gases ejercen sobre las paredes de los recipientes que los contienen?

Debido a la expansibilidad característica de los gases, sus moléculas están en constante movimiento y chocando entre sí y con las paredes del recipiente respectivo. Esos choques significan la aplicación de una fuerza sobre las paredes y por lo tanto ejercen presión sobre ella.

Esta presión podrá aumentarse:

a) Aumentando la cantidad de gas contenida en el recipiente.
b) Aumentando la velocidad con que se mueven las moléculas del gas por medio de un aumento de la temperatura, y
c) Reduciendo el volumen del recipiente que contiene el gas.

Al estudiar la acción del calor sobre los gases, se verá más detenidamente este aspecto de la materia.

43.– PRINCIPIO DE ARQUIMEDES.

¿Hay alguien que no haya visto alguna vez elevarse un globo?

Observe cómo una burbuja de aire sube a través de un líquido. El aire tiene menor peso específico que cualquier líquido y, por lo tanto, el empuje del líquido sobre la burbuja la hace subir con tanta mayor rapidez cuanto mayor sea el peso específico del líquido.

Exactamente lo mismo ocurre con los globos aerostáticos. El globo se llena con gas de menor peso específico que el aire, de modo que el conjunto va perdiendo aparentemente parte de su peso, hasta que la ascensión comienza cuando el peso del globo se hace menor que el empuje del aire.

Luego, el principio de Arquímedes rige también en los gases y, en consecuencia, podemos enunciarlo en una forma más general, que abarque a líquidos y gases:

Todo cuerpo sumergido en un flúido recibe un empuje de abajo hacia arriba equivalente al peso del flúido desalojado.

El principio de Arquímedes puede demostrarse mediante una balanza especial llamada baróscopo, colocada dentro de una campana de vacío.

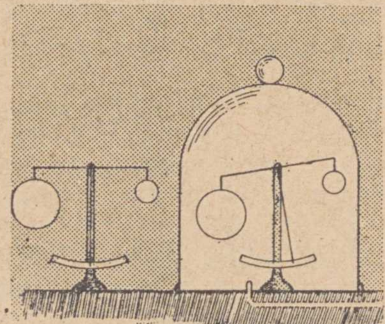


Fig. 61.— Baróscopo.

El baróscopo está constituído por dos esferas de volúmenes diferentes que se equilibran en el aire. Si se coloca el aparato equilibrado bajo la campana de una máquina neumática y se hace el vacío, el equilibrio se rompe en favor de la esfera de mayor volumen. Esto prueba que en el aire la esfera mayor recibe un empuje mayor, ya que desplaza mayor volumen de aire; en cambio, en el vacío desaparece el empuje del aire. Luego: el peso verdadero o absoluto de la esfera mayor en el vacío es mayor que el de la esfera menor.

Si pesamos un cuerpo en el aire, lo que se obtiene, en verdad, es el *peso aparente* del cuerpo equilibrado con el peso aparente de las pesas, o sea, los respectivos pesos verdaderos disminuídos en los correspondientes empujes. Luego, la condición de equilibrio en el aire es:

peso aparente del cuerpo = peso aparente de las pesas.

Si designamos por $\vec{P}_1$ y $\vec{P}_2$ los pesos verdaderos, en el vacío, de las esferas mayor y menor del baróscopo, respectivamente, y por E_1 y E_2 los empujes que actúan sobre ellas en el aire, resulta que:

peso aparente esfera mayor = peso aparente esfera menor,

o sea: $$\vec{P}_1 - E_1 = \vec{P}_2 - E_2$$

y como $E_1 > E_2$, entonces debe cumplirse que:

$$\vec{P}_1 > \vec{P}_2$$

Esto significa que, de dos cuerpos que se equilibran entre sí en el aire, en el vacío pesa más el de mayor volumen.

Luego, la influencia del empuje en las pesadas, podemos resumirla en la forma siguiente:

a) Si el volumen del cuerpo es igual al volumen de las pesas, entonces el peso verdadero es igual al peso aparente, ya que el equilibrio subsiste en el vacío porque los empujes en el aire son iguales. Para que esto ocurra, el cuerpo y las pesas deben tener igual peso específico.

b) Si el volumen del cuerpo es mayor que el volumen de las pesas, el peso verdadero resulta mayor que el peso aparente, puesto que los empujes son diferentes. En este caso, el peso específico del cuerpo es menor que el de las pesas.

c) Si el volumen del cuerpo es menor que el volumen de las pesas, su peso verdadero es también menor que el aparente. En este caso, el peso específico del cuerpo es mayor que el peso específico de las pesas.

Problema.

¿Cuál es el peso verdadero de una persona que en el aire pesa $\vec{50}$ kg, si su volumen es de 46 dm^3?

Solución:

$\vec{P}_a = \vec{50}$ kg.

$\vec{P}_v = x$

$V = 46\ [dm^3]$

$\rho_{aire} = \vec{1{,}3} \left[\frac{g}{dm^3}\right]$

$E = V_c \cdot \rho_{aire}$

$E = 46\ [dm^3] \cdot \vec{1{,}3} \left[\frac{g}{dm^3}\right]$

$\vec{E} = 59{,}8\ [g]$

$\vec{E} = 0{,}0598\ [kg]$

Luego:

$\vec{P}_v = \vec{P}_a + E$

$\vec{P}_v = \vec{50}\ [kg] + \vec{0{,}0598}\ [kg]$

$\vec{P}_v = \vec{50{,}0598}\ [kg]$

Respuesta: El peso verdadero es $\vec{50{,}0598}$ [kg].

44.– APLICACIONES DEL PRINCIPIO DE ARQUIMEDES EN LOS GASES.

La aplicación más conocida la tenemos en los globos aerostáticos.

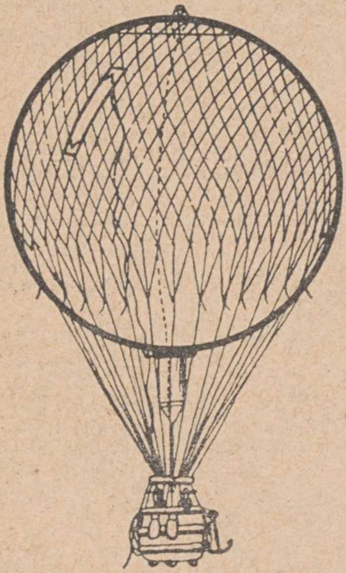


Fig. 62.– Globo aerostático.

Están constituídos por una envoltura de tela resistente y liviana, de gran volumen, que se llena con un gas de menor peso específico que el aire, generalmente gas de alumbrado, helio o hidrógeno. Unida al globo por una red pende la barquilla, en la cual se instalan los aeronautas que comandan el globo, provistos de los instrumentos necesarios: altímetros, barógrafos, termómetros, brújulas, etc., y además, sacos de arena que sirven de lastre.

En los gases, igual que en los líquidos, se presentan los tres casos siguientes: un cuerpo desciende, queda en suspenso o asciende si su peso es mayor, igual o menor que el empuje, respectivamente. Interesa el tercer caso: $P < \vec{E}$.

Si el gas considerado es hidrógeno, se sabe que es 14,5 veces menos pesado que el aire.

Entonces, un globo asciende cuando el empuje del aire es mayor que el peso total del globo. A su diferencia se la designa con el nombre de fuerza ascensional.

Fuerza ascensional de un globo es la diferencia que hay entre el empuje y el peso total del globo.

Esto es: $\boxed{F\ asc. = E - \vec{P}}$

Si V es el volumen del globo y ρ_{aire} el peso específico del aire, el empuje será:

$$E = V \cdot \rho_{aire}$$

de donde: $$F\ asc. = V \cdot \rho_{aire} - \vec{P}$$

Esta fuerza no se mantiene constante, pues al ascender el globo, el empuje disminuye debido a que disminuye el peso específico del aire. La fuerza ascensional es nula, cuando el empuje se iguala con el peso total del globo.

Además, el globo al partir no está completamente inflado, pero a medida que se eleva, aumenta su volumen. Esto último se debe a la disminución de la presión atmosférica, que permite la expansión del gas en su interior, hasta inflarlo completamente.

Si designamos por $\vec{P}_1$ al peso del globo (sin gas) y por $\vec{P}_2$ al peso del gas, el peso total del globo está dado por:

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 .$$

pero: $\vec{P}_2$ = volumen del globo . peso específico del gas

o sea: $$\vec{P}_2 = V \cdot \rho_{gas}$$

Luego: $\vec{F}\text{ asc.} = V \cdot \rho_{aire} - (\vec{P}_1 + \vec{P}_2)$

o sea: $\vec{F}\text{ asc.} = V \cdot \rho_{aire} - (P_1 + V \cdot \rho_{gas})$

de donde: $$\boxed{\text{F asc.} = V\,(\rho_{aire} - \rho_{gas}) - \vec{P}_1}$$

$(\vec{P}_1 = \text{peso del globo sin gas}).$

Problema:

¿Cuál es la fuerza ascensional de un globo de 800 m^3 de volumen, lleno de hidrógeno, en condiciones normales (0° C. y 760 mm Hg), si su peso sin gas es 780 $[\vec{kg}]$?

Solución:

$V = 800\ [m^3]$ $\qquad \rho_{aire} = 1{,}293 \left[\dfrac{\vec{kg}}{m^3}\right]$

$\vec{P}_1 = 780\ [\vec{kg}]$ $\qquad \rho_H = 0{,}089 \left[\dfrac{\vec{kg}}{m^3}\right]$

$\text{F asc.} = V\,(\rho_{aire} - \rho_{H}) - \vec{P}_1$

$\text{F asc.} = 800\ [m^3] \cdot (1{,}293 - 0{,}089) \left[\dfrac{\vec{kg}}{m^3}\right] - 780\ [\vec{kg}]$

$\text{F asc.} = 800 \cdot 1{,}204\ [\vec{kg}] - 780\ [\vec{kg}]$

$\text{F asc.} = 963{,}2\ [\vec{kg}] - 780\ [\vec{kg}]$

$\text{F asc.} = 183{,}2\ [\vec{kg}]$

Respuesta: La fuerza ascensional es de 183,2 $[\vec{kg}]$.

Un globo aerostático tiene la posibilidad de ascender y descender en la atmósfera. El ascenso no es continuo debido a la disminución que experimenta el empuje. Por esta razón, cuando el empuje se hace igual al peso total del globo es necesario arrojar parte del lastre para continuar la ascensión.

Para descender se disminuye el volumen del globo, dejando escapar parte del gas que contiene con lo cual disminuye el empuje. Esto se realiza mediante una válvula dispuesta en la parte superior del globo.

En cuanto a sus desplazamientos en dirección horizontal, los globos quedan entregados a la dirección y velocidad del viento. Este inconveniente se ha eliminado construyendo globos de forma ovoídea, alargada, que permiten, además, disminuir la resistencia del aire. Tales globos se denominan dirigibles y en ellos la propulsión se logra mediante una o más hélices, accionadas por un motor. Para conseguir la dirección deseada, tanto horizontal como en profundidad, se recurre a timones.

En la actualidad, en especial con ocasión de la celebración del Año Geofísico Internacional (1957-1958), los globos aerostáticos han sido utilizados en gran escala, en forma coordinada desde diferentes puntos de la tierra, portando radiosondas, para determinar con mayor precisión ciertas características atmosféricas como temperatura, humedad, vientos, presión y circulación atmosféricas, a fin de lograr una visión meteorológica global que permita mejorar las predicciones del tiempo.

SINTESIS

Atmósfera:

- *Concepto*: mezcla de gases que constituye la masa de aire que rodea la tierra, la acompaña en sus movimientos y descansa sobre ella por la atracción gravitacional.

- *Composición*: Principalmente: nitrógeno (78,03%) y oxígeno (20,99%).

- *Capas*:
  - Tropósfera o zona de las turbulencias.
  - Estratósfera.
  - Quemósfera.
  - Ionósfera.
  - Exósfera.

- *Peso específico*: 0,001293 $\left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$ o 1,293 $\left[\frac{\vec{g}}{litro}\right]$, a 0° C y 760 mm de mercurio de presión.

Presión atmosférica:

- *Concepto*: presión que ejerce sobre la tierra y las cosas, en todas direcciones, el peso de la atmósfera.
- *Medida*:
  - *Unidades*:
    - 1 [atm. física] $= 1{,}0336 \left[\dfrac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$
    - 1 [atm. técn.] $= 1 \left[\dfrac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right]$
    - 1 [milibar] = 0,75 mm. de mercurio
    - 1 mm de mercurio = 1 tor
  - *Instrumentos*: *Barómetros*:
    - De mercurio:
      - Fundamento: experiencia de Torricelli.
      - Tipos:
        - De cubeta.
        - De Fortin. (fondo movible, de gamuza).
    - Aneroides:
      - Fundamento: deformaciones de sus paredes elásticas.
      - Tipos:
        - Vidi
        - Bourdon
        - Registrador
- *Aplicaciones de los barómetros*:
  - Altímetros: barómetros aneroides usados para medir alturas.
  - Predicción de las condiciones atmosféricas.
- *Presión atm. normal*: 760 mm de Hg $= 1{,}0336 \left[\dfrac{\vec{\text{kg}}}{\text{cm}^2}\right] =$ 1 [atm. física]

  (a 0° C, 45° de latitud y al nivel del mar).

- *Manómetros*:
  - *Concepto*: aparatos destinados a medir la presión de los gases y vapores contenidos en un depósito (calderas, neumáticos, etc.).
  - *Tipos*
    - De aire libre.
    - Metálico de Bourdon.

- *Aplicaciones de la presión atmosférica*:
  - *Pipeta*: sirve para tomar muestras de líquido.
  - *Sifón*: sirve para trasvasar líquidos de un depósito a otro de nivel inferior.
  - *Bombas hidráulicas*:
    - Concepto: aparatos destinados a elevar líquidos aprovechando la presión atmosférica.
    - Tipos:
      - Aspirante.
      - Impelente.
      - Aspirante-impelente.
      - Centrífuga: se basa, además, en la fuerza centrífuga de una rueda de paletas.

- *Máquinas neumáticas:*
  - *Concepto:* son bombas destinadas a hacer el vacío o a comprimir gas en recipientes cerrados.
  - *Tipos:*
    - De vacío:
      - Concepto: bomba aspirante destinada a extraer aire de depósitos cerrados.
      - Tipos:
        - de pistón o válvula
        - de mercurio
        - trompa de agua
        - rotatoria
    - De compresión:
      - Concepto: bomba impelente destinada a concentrar grandes masas de gas en depósitos pequeños.
      - Nombre: compresoras.

- *Principios de la neumostática:*
  - *De Pascal:* toda presión ejercida sobre un gas se transmite íntegramente y en todas direcciones.
  - *De Arquímedes:* todo cuerpo sumergido en un gas recibe un empuje de abajo hacia arriba equivalente al peso del gas desalojado.
    - Aplicaciones:
      - globos aerostáticos
      - dirigibles

      $F_{asc} = E - P$

    Fuerza ascensional: diferencia entre el empuje y el peso total del globo.

CUESTIONARIO

1.— Defina o explique los conceptos siguientes:

a) atmósfera
b) presión atmosférica
c) barómetro
d) manómetro
e) altímetro
f) tropósfera
g) tropopausa
h) peso específico del aire.

2.— Explique qué significa:

a) una presión de 5 barias.
b) una presión de 3 atmósferas.
c) una presión de 720 mm de mercurio.
d) que el peso específico del oxígeno sea 0,001429 $\left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$.
e) que el peso específico del oxígeno relativo al aire sea 1,1052.

3.— ¿Qué significa que la presión barométrica sea de 70 cm de mercurio? (Bachillerato, enero 1959).
4.— ¿Por qué no sentimos la presión ejercida por la atmósfera?
5.— ¿En qué capa de la atmósfera vivimos? ¿Cuáles son sus características más acentuadas?
6.— ¿En qué consiste la experiencia de Torricelli? ¿En qué se basa?
7.— Indique tres experiencias que permitan comprobar la presión atmosférica.
8.— ¿En qué se basan los barómetros de mercurio?
9.— ¿En qué se basan los barómetros aneroides?
10.— ¿Qué defecto tiene el barómetro de Torricelli? (Bachillerato, enero 1959).
11.— Exprese en 3 unidades distintas la presión atmosférica normal. (Bachillerato, enero 1959).
12.— ¿Por qué no se fabrican barómetros a base de agua?
13.— Explique por qué un barómetro aneroide, al llevarlo de un lugar de la tierra a otro distante, es preciso adaptarlo al segundo lugar. ¿En qué consiste esta adaptación? (Bachillerato, enero 1959).
14.— ¿Por qué los gases no se emplean en la prensa hidráulica, a pesar de cumplir con el principio de Pascal?
15.— Si se invierte una botella llena de un líquido, ¿por qué éste sale a borbotones y no en forma de chorro?

16.– ¿Por qué se hacen dos orificios en los tarros de leche condensada?
17.– ¿En qué consiste el apunamiento? ¿Por qué se produce?
18.– ¿Qué aplicación práctica en los gases tiene el principio de Arquímedes?
19.– ¿Por qué el límite de aspiración de una bomba aspirante es 10,33 m para el agua?

PROBLEMAS

1.– Calcule el peso de 1 m^3 de aire. Exprese el resultado en $\vec{g}$ y en $\vec{kg}$.
2.– Exprese en milibares la presión atmosférica normal.
3.– Calcule el peso del aire contenido en un gimnasio de 30 m de largo, 18 m de ancho y 6 m de alto.
4.– ¿Qué presión soporta un buzo sumergido a 45 m en el mar? Considérese la presión atmosférica.

R: 5,668 $\left[\dfrac{\vec{kg}}{cm^2}\right]$

5.– Si se efectúa la experiencia de Torricelli en el fondo de una piscina, a 3 m de profundidad, ¿qué altura tendrá la columna barométrica, si la presión atmosférica exterior es de 72 cm de mercurio?

R: 94,06 cm de Hg.

6.– Un tubo cilíndrico de 15 cm de altura y 20 cm^2 de sección se llena de agua, se tapa con un papel y se invierte cuidadosamente. ¿Qué fuerza ejerce el agua sobre papel? ¿Con qué fuerza actúa el aire sobre el papel si la presión atmosférica es de 720 mm de mercurio?

R: $F_1 = 300\ \vec{g}$

$F_2 = 19584\ \vec{g}$

7.– Una esfera metálica hueca pesa 150 $\vec{g}$ en el vacío, 148 $\vec{g}$ en el aire y 147,75 $\vec{g}$ en oxígeno. Calcule su volumen, su peso específico y el peso específico del oxígeno.

R: a) 1,538 dm³

b) 0,097 $\left[\dfrac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

c) 1,46 $\left[\dfrac{\vec{g}}{dm^3}\right]$

8.– Un cuerpo cuyo volumen es 50 dm^3 se pesa primero en el vacío y luego en el aire. Calcule su diferencia de peso.

R: 64,5 $\vec{g}$

9.– ¿Qué pesa más en el vacío, 1 $\vec{kg}$ de nylon o 1 $\vec{kg}$ de plomo, pesados en el aire? Calcule la diferencia de peso, si

$$\rho_{nylon} = 1{,}12 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right] \quad y \quad \rho_{Pb} = 11{,}3 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

R: 1,04 $\vec{g}$

10.– ¿En cuánto aumenta la fuerza con que la atmósfera actúa sobre una superficie de 10 cm^2 cuando la presión atmosférica aumenta en 1 cm de Hg? (Bachillerato, marzo de 1959).

R: 136 [$\vec{g}$].

11.– Un globo de 450 m^3 está lleno de hidrógeno a la presión de 76 cm de Hg. Si su envoltura y barquilla y lastre pesan 400 $\vec{kg}$, ¿cuál es su fuerza ascensional?

R: 141,8 [$\vec{kg}$]

CAPITULO III

LA CONQUISTA DEL ESPACIO

45.– LOS PRIMEROS PASOS.

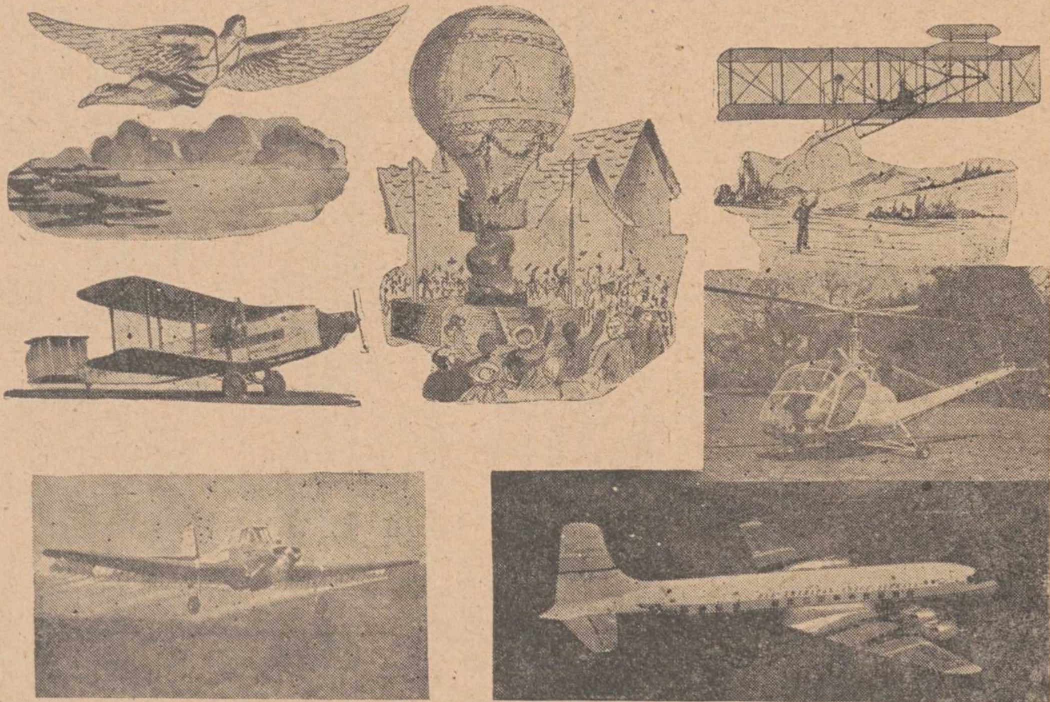
Sin lugar a dudas que el sueño más apasionante del hombre, a través de los tiempos, ha sido y sigue siendo el volar, como las aves, y lanzarse a la conquista del espacio, llevado de sus ansias de descifrar los misterios de la vida y del universo infinito.

Desde el vuelo mitológico de Icaro y Dédalo hasta nuestros días, el hombre ha ido lenta, pero seguramente, progresando en su afán de imitar a los pájaros.

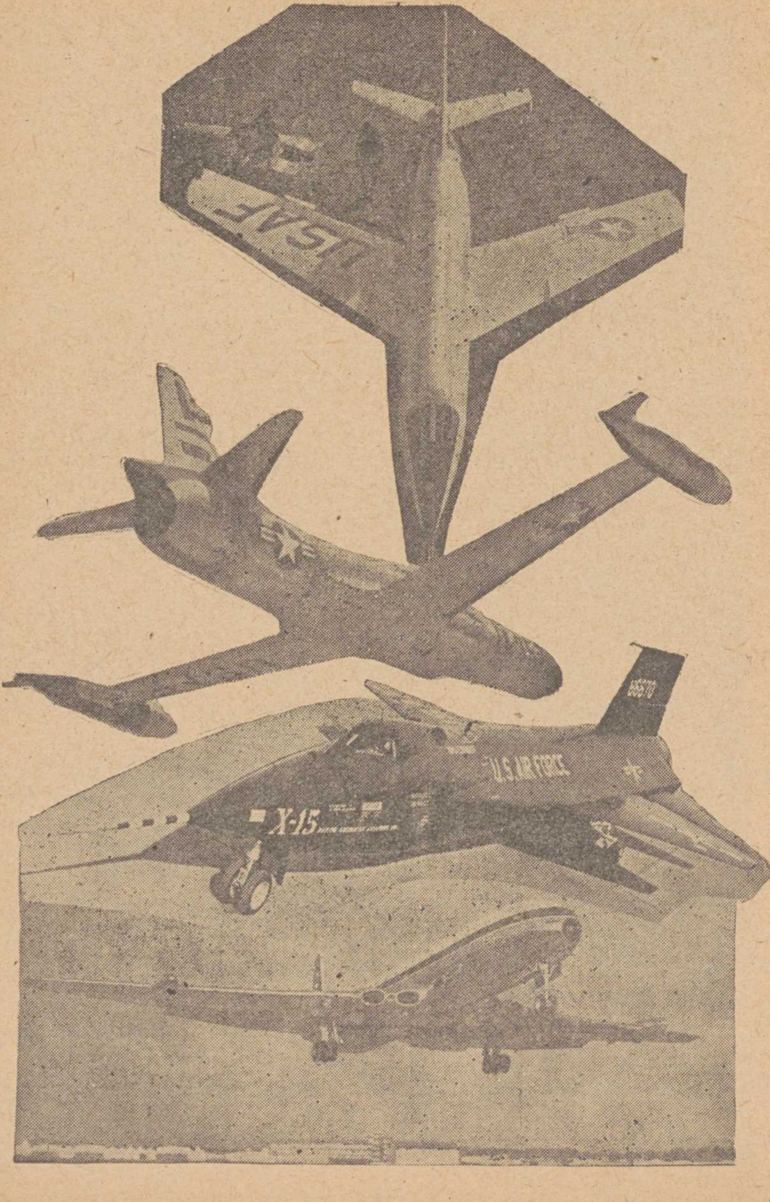
Primero fueron los hermanos Montgolfier (franceses) con el primer globo aerostático (1783); luego Henri Giffard, con el primer dirigible (1852); en seguida, los célebres hermanos Orville y Wilbur Wright, con el primer avión (1903), y desde 1900 adelante, todas las barreras han venido cayendo vertiginosamente.

Del motor a explosión se pasa al motor de propulsión a chorro con el inglés Whittle, en 1930, y los records de altura, de distancia y de velocidad se suceden en forma prodigiosa.

Así, en 1947, el capitán Charles Yeager de los Estados Unidos, sobrepasa, por primera vez, la velocidad del sonido. Es el primer vuelo supersónico, es decir, a más de 1.224 kilómetros por hora y que, derribando la "barrera del sonido", abre ilimitadas posibilidades futuras.



Evolución de la aviación, desde el vuelo mitológico de Icaro y Dédalo hasta los más modernos aviones a hélice (1.er mosaico) y la era de la propulsión a reacción y de las velocidades supersónicas, caracterizada especialmente por el Bell X-15 (2.º mosaico).


USAF
U.S. AIR FORCE
X-15

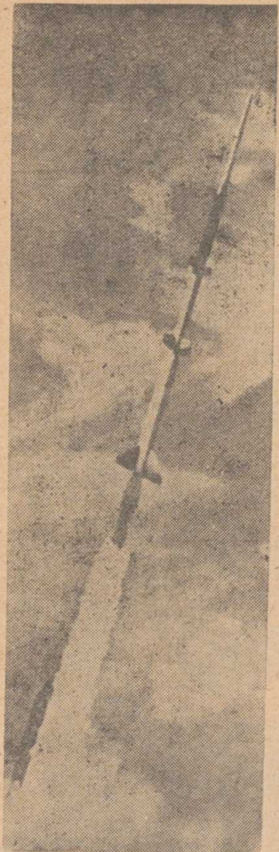


Fig. 63.— Proyectil cohete en el instante de iniciar su vuelo.

En 1956, el teniente coronel Frank Everest, también de los Estados Unidos, establece el actual record mundial de velocidad para aparatos tripulados, volando en un Bell X-2, a más de 3.000 kilómetros por hora.

Este es un tipo de avión de propulsión a cohete, especialmente diseñado y construído para atravesar la llamada *barrera térmica,* es decir, aquel punto en que el calor producido por el roce del aire funde el aparato y lo desintegra.

46.— COHETES Y SATELITES ARTIFICIALES.

A pesar de que los cohetes se conocen desde hace por lo menos unos dos mil años, recién en la guerra pasada, la famosa bomba voladora V-2 de los alemanes, vino a poner de manifiesto su valor como instrumento práctico, tanto en usos militares como científicos.

El cohete es una máquina térmica, con combustible sólido o líquido que lleva, además, oxígeno para efectuar la combustión y que produce gran cantidad de gases que escapan a alta velocidad. La reacción de los gases impulsa el cohete, haciéndolo alcanzar grandes velocidades.

Estos aparatos han sido perfeccionados a tal punto que, en octubre de 1957, vino la noticia que asombró al mundo: el primer satélite artificial había sido puesto en órbita. En

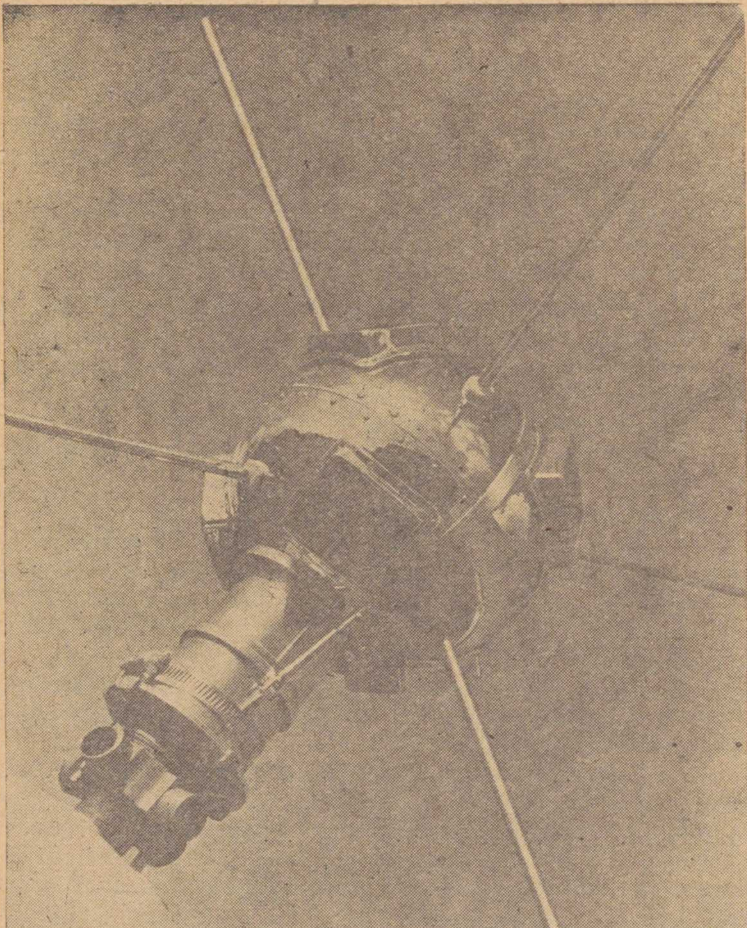


Fig. 64.– Satélite "Vanguard".

Colocado en órbita en marzo de 1958, se estima que girará en torno de la tierra no menos de 200 años.

efecto, los rusos habían lanzado con éxito su histórico Sputnik I, de 83,5 kg, en forma de una esfera de 58 cm de diámetro.

A este primer lanzamiento siguieron otros, que pusieron en órbita satélites de diferentes tamaños y formas, provistos de los instrumentos necesarios para las investigaciones a que cada uno estaba destinado.

Numerosos son los problemas científicos que los satélites están ayudando a resolver mediante sus informaciones radiales. Entre ellos tenemos:

1) Densidad de la atmósfera en las regiones altas.

2) Curvatura real de la tierra.

3) Refracción ionosférica de las ondas de radio, o sea, las desviaciones que éstas sufren al atravesar la ionósfera.

4) Características eléctricas de la ionósfera.

5) Distribución real de la masa de la tierra en la corteza terrestre.

6) Radiaciones ultravioletas del sol.

Los satélites norteamericanos Explorer I y III permitieron descubrir un campo de fuertes radiaciones a unos 1000 km de altura. El Explorer IV permitió probar que a unos 1900 km las radiaciones eran tan intensas que bastaban para matar a un viajero del espacio.

El cuadro y el gráfico siguientes, muestran en forma comparativa las características de los satélites y sus órbitas alrededor de la tierra.

A los satélites artificiales de la tierra siguieron muy luego los primeros intentos por colocar uno en órbita en torno de la luna. Dos intentos norteamericanos fracasaron por insuficiencia de velocidad. Luego, el primer lanzamiento ruso, aun cuando no logró convertir su cohete en satélite lunar, fue un éxito indiscutible por cuanto logró salir del campo de atracción gravitacional de la tierra, pasar a unos escasos 7 u 8 mil km de la luna y convertirse, finalmente, en el primer planeta artificial, pues entrará en órbita en torno del sol.

Igual suerte correrá el tercer vehículo lanzado por Estados Unidos, que pasó a unos 60 mil km de la luna.

Los satélites lunares, como los terrestres, se espera que

Satélite	*fecha del lanzamiento*	*peso*	*forma*	*dimensiones*	*carga*	*vida probable*
SPUTNIK I (Rusia)	Oct. 4, 1957	→ 83,5 kg	esfera	diám: 58 cm	instrumentos	3 meses
SPUTNIK II (Rusia)	Nov. 3, 1957	→ 508 kg	cilindro	largo: 2,1 m	instrumentos y un perro	5 meses 11 días
EXPLORER I (U.S.A.)	Ener. 31, 1958	→ 13,97 kg	cilindro	largo: 203 cm diám: 15 cm	instrumentos	2 a 5 años
VANGUARD I (U.S.A.)	Mar. 17, 1958	→ 1,47 kg	esfera	diám: 16 cm	baterías solares y radio	hasta 200 años
EXPLORER III (U.S.A.)	Mar. 26, 1958	→ 14 kg	cilindro	largo: 203 cm diám: 15 cm	instrumentos	algunos días
SPUTNIK III (Rusia)	May. 15, 1958	→ 1.342 kg	cono	largo: 3,55 m diám: 1,73 m	instrumentos	unos 6 meses
EXPLORER IV (U.S.A.)	Jul. 26, 1958	→ 17,42 kg	cilindro	largo: 203 cm	instrumentos	4 años
PROYECT SCORE (U.S.A.) (1)	Dic. 18, 1958	→ 4.000 kg	cónica	diám: 15 cm	transmisores	20 días

(1) (experimento de retransmisión de señales de comunicaciones en órbita).

El 19 de diciembre retransmite un mensaje de navidad del Presidente Eisenhower al mundo, obedeciendo a señales enviadas desde tierra.

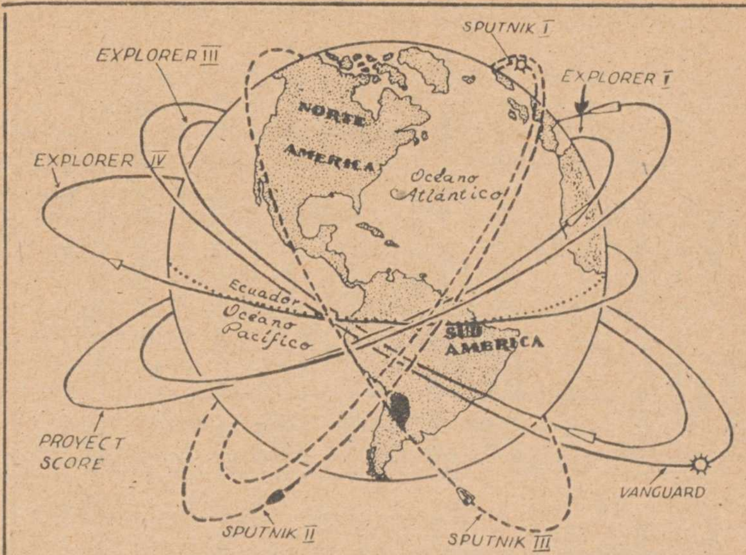


Fig. 65.— Satélites artificiales y sus órbitas.

proporcionen las informaciones necesarias para solucionar una serie de problemas de carácter científico, a la vez que saber, en definitiva, si podrá o no el hombre en un futuro cercano navegar por los espacios interplanetarios, sin grave riesgo de su vida.

Con ellos se espera saber:

1) Qué es lo que produce el campo magnético de la tierra y cuál es su forma e intensidad a grandes distancias de nuestro planeta.

2) Hasta dónde se extiende en el espacio la radiación descubierta por los Explorers.

3) Qué características presentan la presión, la temperatura, los impactos de los meteoritos, etc., a grandes distancias de la tierra.

4) Qué características radioactivas presenta la superficie lunar.

5) Qué características tiene "la otra cara de la luna", ya que ésta está presentando siempre un mismo hemisferio a la tierra.

———◆———

Hasta el momento de entrar en prensa esta tercera edición, numerosos otros lanzamientos, tanto rusos como estadounidenses, han cumplido con todo éxito los objetivos específicos a que cada uno estaba destinado.

Así, en noviembre de 1959, los rusos, con su Lunik III, lograron realizar la hazaña de fotografiar la otra cara de la luna y dar al hombre, por primera vez en su historia, la satisfacción de contemplar el lado oculto de nuestro satélite.

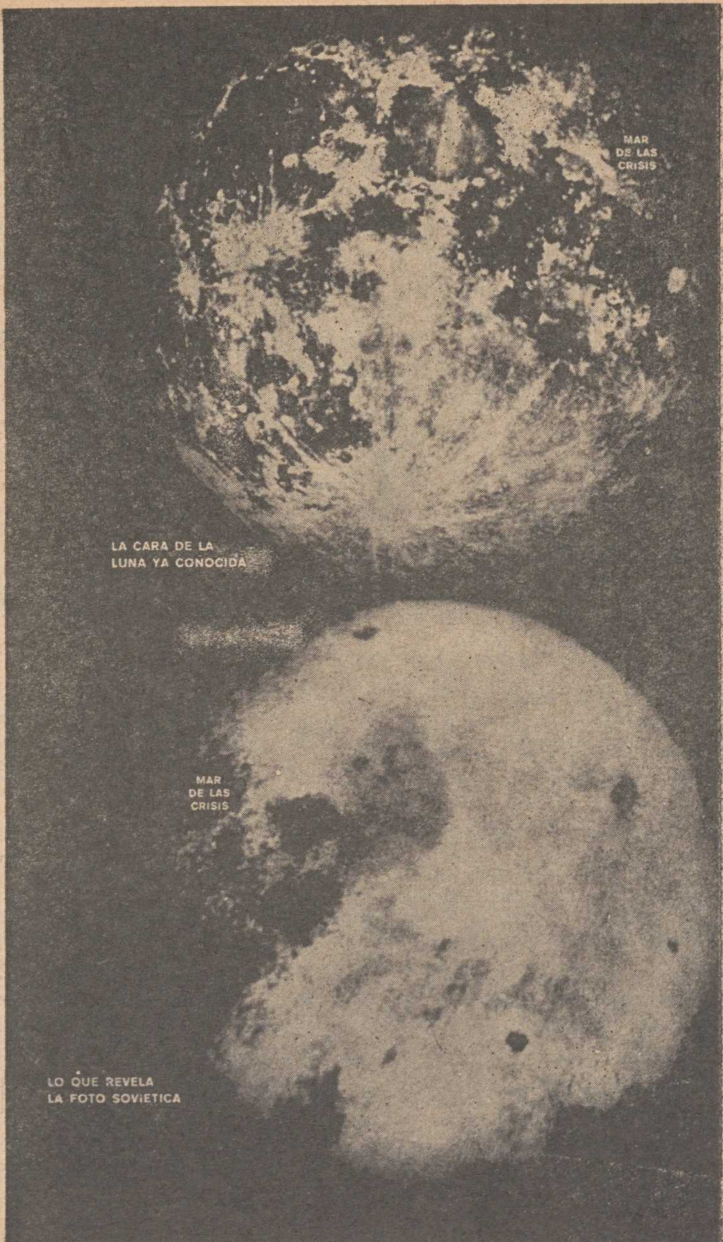
El vehículo lanzado llevaba cámaras especiales que fueron accionadas por telemando tanto para tomar las fotografías como para su revelado y transmisión a la tierra.

"La otra cara de la Luna" se presenta como un paisaje desolado, salpicado de cráteres y desiertos, con un aspecto más monótono que el lado ya conocido, como puede apreciarse por la simple comparación de las fotografías que van en la página siguiente.

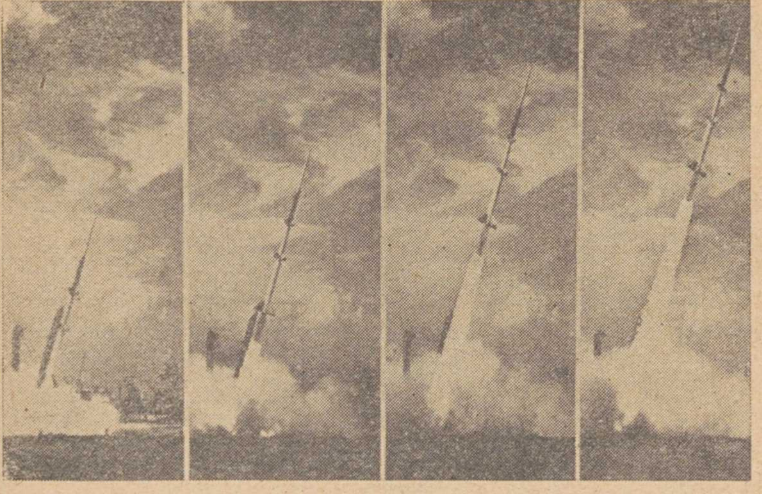
Y mientras todos estos experimentos se realizan, muchos son los que se han entregado por entero a la ilusión de ser los primeros viajeros del espacio, sometiéndose a un largo y riguroso adiestramiento que contempla hasta los últimos detalles de los múltiples problemas que deberán enfrentar en su vuelo sideral.

Muchas dificultades ya han sido resueltas a satisfacción; pero aún quedan algunas que preocupan a los sabios y que derivan de la pérdida de peso con la altura, de las radiaciones cósmicas, de la sensación de soledad en los espacios interplanetarios, etc.

Sin embargo, las etapas futuras en la conquista del espacio, por el hombre, ya se ven claras y muy próximas: primero los lanzamientos de aparatos tripulados, luego la gran plataforma del espacio (satélite terrestre) y de ahí, Marte, Venus, Júpiter, etc., estarán sólo a unos cuantos días u horas de vuelo.


MAR
DE LAS
CRISIS
LA CARA DE LA
LUNA YA CONOCIDA
MAR
DE LAS
CRISIS
LO QUE REVELA
LA FOTO SOVIETICA

4ª UNIDAD Fuerza y Movimiento



Sumario.– Capítulo I.– MOVIMIENTOS.

Capítulo II.– PRINCIPIOS DE NEWTON Y LEY DE LA GRAVITACION UNIVERSAL.

56.– Isaac Newton. 57.– Principio de inercia. 58.– Principio de masa. 59.– Principio de acción y reacción. 60.– Unidades de fuerza. 61.– Unidades de masa. 62.– Masa y peso. 63.– Relación entre fuerza y movimiento. 64.– Impulso y cantidad de movimiento. 65.– Principio de conservación de la cantidad de movimiento. 66.– Ley de la gravitación universal. Síntesis. Cuestionario. Problemas.

GALILEO GALILEI (1564-1642).

"El gran libro de la naturaleza está escrito en símbolos matemáticos".

Notable matemático, físico y astrónomo italiano, nacido en Pisa.

Es el verdadero iniciador del método científico (experimental) y de la física moderna.

Descubrió las leyes de la caída de los cuerpos y del movimiento del péndulo. Inventó el termómetro y construyó el primer anteojo astronómico (1609).

Sus observaciones lo hicieron adherir y defender al sistema planetario heliocéntrico de Copérnico, sosteniendo, además, la existencia de la rotación de la tierra.

ISAAC NEWTON (1642-1727).

"No sé lo que el mundo pensará de mí, pero a mí me parece ser tan sólo un muchacho que juega en la playa y que se divierte al encontrar un canto rodado o una concha más hermosa que de ordinario, mientras que el gran océano de la verdad yace ante mis ojos sin descubrir".

Genial matemático, físico, astrónomo y filósofo inglés, nacido en Woolsthorpe.

A él debemos el "binomio de Newton", que da las potencias de un binomio, y la invención del cálculo infinitesimal.

Descubrió la ley de la gravitación universal y enunció las leyes del movimiento conocidas con el nombre de "principios de Newton".

Sus ideas y sus principales descubrimientos están expuestos en su inmortal obra titulada "Principia".

CAPITULO I

MOVIMIENTOS

47.– CONCEPTO DE MOVIMIENTO.

Un hombre que camina, un tren en marcha, un pájaro que vuela, una rueda que gira, decimos que son cuerpos en movimiento, porque cambian de lugar o de posición, en forma continua y sucesiva respecto de otros cuerpos, que consideramos fijos. Luego:

> *Un cuerpo está en movimiento si cambia continua y sucesivamente de posición o de lugar en el espacio con respecto a otro cuerpo.*

Todo cuerpo en movimiento se denomina *móvil* y se lo considera representando por un "punto material", es decir, por un cuerpo de dimensiones muy pequeñas en que se supone concentrada cierta cantidad de materia.

48.– TRAYECTORIA Y VELOCIDAD.

Supongamos que un móvil se desplaza en línea recta en la dirección OX, partiendo del punto O. Entonces, si, en un instante determinado, el móvil se encuentra en A, B o C, las distancias AO, BO y CO, al punto de referencia, constituyen la distancia o *camino recorrido* por el móvil y la línea determinada por estas sucesivas posiciones, la "*trayectoria*" del movimiento.

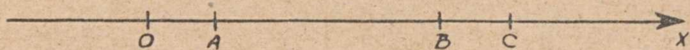


Fig. 66.– Trayectoria de un movimiento.

Si consideramos que el móvil recorre un camino de 300 km en 6 horas, en una hora habrá recorrido la sexta parte, o sea, 50 km.

Este camino recorrido en una unidad determinada de tiempo se denomina *velocidad.*

> *Velocidad de un móvil es el cuociente numérico entre el camino recorrido por el móvil y el tiempo empleado en recorrerlo.*

$$\text{Esto es: velocidad} = \frac{\text{camino recorrido}}{\text{tiempo empleado en recorrerlo}}$$

Si designamos por v la velocidad, por s el camino recorrido y por t el tiempo empleado en recorrerlo, entonces:

$$\boxed{v = \frac{s}{t}}$$

Esta relación nos indica que:

a) Para un mismo tiempo, las velocidades son directamente proporcionales a los caminos recorridos.

b) Para un mismo camino recorrido, las velocidades son inversamente proporcionales a los tiempos empleados en recorrerlo.

c) Si los caminos recorridos en tiempos iguales son iguales, la velocidad es constante.

En Física, se hace necesario, además, distinguir entre velocidad instantánea y velocidad media de un movimiento.

Velocidad instantánea es la que posee un móvil en cualquier punto de su trayectoria y que se aprecia en un intervalo pequeñísimo de tiempo. Si un automóvil se traslada de una ciudad a otra, su velocidad en cada uno de los puntos de su recorrido variará con las irregularidades del camino, las variaciones de la presión del pie sobre el acelerador, etc. Esta velocidad instantánea es la que apreciamos en los instrumentos del automóvil.

Velocidad media, en cambio, es el promedio de las velocidades instantáneas del móvil, correspondientes a cada punto de su trayectoria y su valor numérico se obtiene dividiendo el camino recorrido por el tiempo empleado en recorrerlo, como ya se ha establecido.

En consecuencia, todo movimiento tiene dos características fundamentales:

1) trayectoria y 2) velocidad.

Unidades de velocidad.

De la fórmula $v = \dfrac{s}{t}$, resulta de inmediato que:

$$\boxed{\text{una unidad de velocidad} = \frac{\text{una unidad de longitud}}{\text{una unidad de tiempo}}}$$

Luego, las unidades correspondientes a los diversos sistemas son:

C. G. S.	$\dfrac{1\ [\text{cm}]}{1\ [\text{seg}]} = 1 \left[\dfrac{\text{cm}}{\text{seg}}\right]$
M. K. S.	$\dfrac{1\ [\text{m}]}{1\ [\text{seg}]} = 1 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right]$
Técnico	$\dfrac{1\ [\text{m}]}{1\ [\text{seg}]} = 1 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right]$

En la práctica se utilizan además diversas otras unidades como el kilómetro por hora, el kilómetro por segundo, la milla por hora, el nudo, etc. *El nudo es una unidad náutica de velocidad.*

$$1\ [\text{nudo}] = 1 \left[\dfrac{\text{milla marina}}{\text{hora}}\right]$$

siendo: 1 milla marina = 1853 [m]

$$1\ [\text{nudo}] = 1{,}853 \left[\dfrac{\text{km}}{\text{h}}\right] = 1853 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{h}}\right] =$$

$$= 0{,}5148 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right] = 51{,}48 \left[\dfrac{\text{cm}}{\text{seg}}\right]$$

Reducción de unidades:

Ejercicio 1. Expresar 72 $\left[\dfrac{\text{km}}{\text{h}}\right]$ en $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right]$

Como: 1 [km] = 1000 [m]

y 1 [h] = 3600 [seg]

resulta: $$72 \left[\frac{km}{h}\right] = 72 \frac{1000\ [m]}{3600\ [seg]} = \frac{72}{3,6} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

o sea: $$72 \left[\frac{km}{h}\right] = 20 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Luego, para reducir $\left[\frac{km}{h}\right]$ a $\left[\frac{m}{seg}\right]$ se divide por **3,6.**

Ejercicio 2. Expresar 25 $\left[\frac{m}{seg}\right]$ en $\left[\frac{km}{h}\right]$

$$1\ [m] = \frac{1}{1000}\ [km]$$

$$1\ [seg] = \frac{1}{3600}\ [h]$$

Luego: $$25 \left[\frac{m}{seg}\right] = 25 \frac{\frac{1}{1000}\ [km]}{\frac{1}{3600}\ [h]}$$

$$25 \left[\frac{m}{seg}\right] = 25 \frac{3600}{1000} \left[\frac{km}{h}\right]$$

$$25 \left[\frac{m}{seg}\right] = 25\ .\ 3,6 \left[\frac{km}{h}\right]$$

$$25 \left[\frac{m}{seg}\right] = 90 \left[\frac{km}{h}\right]$$

Luego, para reducir $\left[\frac{m}{seg}\right]$ a $\left[\frac{km}{h}\right]$ se multiplica **por 3,6.**

Ejercicio 3. Expresar 20 [nudos] en $\left[\frac{km}{h}\right]$

$$1 \text{ [nudo]} = 1{,}853 \left[\frac{km}{h}\right]$$

$$20 \text{ [nudos]} = 20 \cdot 1{,}853 \left[\frac{km}{h}\right]$$

$$20 \text{ [nudos]} = 37{,}06 \left[\frac{km}{h}\right]$$

Valor aproximado de algunas velocidades interesantes:

Velocidad de la luz	300.000	$\left[\frac{km}{seg}\right]$
Velocidad del sonido en el aire a 15° C	340	$\left[\frac{m}{seg}\right]$
Velocidad del sonido en agua de mar	1500	$\left[\frac{m}{seg}\right]$
Velocidad de traslación de la tierra	29,5	$\left[\frac{km}{seg}\right]$

Velocidad de la luna alrededor de la tierra	1,012	$\left[\dfrac{km}{seg}\right]$
Velocidad record de un avión (Bell X-2)	3000	$\left[\dfrac{km}{h}\right]$
Velocidad de una bala de fusil	750 a 800	$\left[\dfrac{m}{seg}\right]$
Velocidad de los satélites artificiales	8 a 9	$\left[\dfrac{km}{seg}\right]$

49.– CONCEPTO DE ACELERACION.

En la práctica es muy difícil conseguir que la velocidad de un móvil sea constante, por lo cual es necesario y de mucha importancia estudiar las variaciones que ésta experimenta con respecto al tiempo.

Consideremos un móvil que, en un determinado instante, tenga una velocidad de 20 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$ y que, al cabo de 5 [seg], su velocidad alcance a 30 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$.

En el intervalo de 5 seg la velocidad ha experimentado una variación igual a la diferencia, o sea, de 10 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$,

y la variación en 1 [seg] es: $\dfrac{10\left[\dfrac{m}{seg}\right]}{5} = 2 \left[\dfrac{m}{seg}\right]$.

Esto significa que la velocidad del móvil aumenta en $2 \left[\dfrac{m}{seg}\right]$ en cada segundo.

Si la variación es en sentido contrario, ello indica que la velocidad del móvil disminuye en $2 \left[\dfrac{m}{seg}\right]$ en cada segundo.

Esta variación de la velocidad, en relación con la unidad de tiempo en que se ha producido, se denomina aceleración. Luego:

Aceleración es el cuociente numérico entre la variación de velocidad que experimenta un móvil y el tiempo en que ésta se produce.

Esto es:

$$\text{aceleración} = \frac{\text{variación de velocidad}}{\text{tiempo en que se produce la variación}}$$

Si designamos por *a* la aceleración, por $\triangle$v (delta v) la variación de la velocidad y por *t* el tiempo en que ésta se produce, entonces:

$$\boxed{a = \frac{\triangle v}{t}}$$

De esta relación resulta que:

a) Para un mismo intervalo de tiempo, las aceleraciones son directamente proporcionales a las variaciones de la velocidad.

b) Para una misma variación de la velocidad, las aceleraciones son inversamente proporcionales a los intervalos de tiempo en que se produce dicha variación.

Si llamamos v_i y v_f a las velocidades inicial y final del intervalo considerado y cuya diferencia es Δv, podemos escribir, para la aceleración:

$$\boxed{a = \frac{v_f - v_i}{t}}$$

Si *a* indica un aumento de velocidad, se denomina propiamente aceleración, y si, por el contrario, indica una disminución, pasa a llamarse retardación o aceleración negativa y se representa por $-a$.

Unidades de aceleración.

De la fórmula de aceleración se tiene que:

$$\text{una unidad de aceleración} = \frac{\text{una unidad de velocidad}}{\text{una unidad de tiempo}}$$

Así, en los diferentes sistemas, estas unidades son:

C. G. S.	$\dfrac{1 \left[\dfrac{cm}{seg}\right]}{1\ [seg]} = 1 \left[\dfrac{cm}{seg^2}\right]$
M. K. S.	$\dfrac{1 \left[\dfrac{m}{seg}\right]}{1\ [seg]} = 1 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$
Técnico	$\dfrac{1 \left[\dfrac{m}{seg}\right]}{1\ [seg]} = 1 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$

¿Qué significa, entonces, que la aceleración o retardación de un móvil sea 50 $\left[\dfrac{cm}{seg^2}\right]$?

Significa que el móvil aumenta o disminuye su velocidad en 50 $\left[\dfrac{cm}{seg}\right]$ en cada segundo.

Problema:

Una locomotora corre a 40 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$, pero 12 [seg] después el velocímetro marca 52 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$. ¿Qué aceleración ha experimentado?

Solución:

$$v_i = 40 \left[\frac{km}{h}\right] \qquad a = \frac{v_f - v_i}{t}$$

$$v_f = 52 \left[\frac{km}{h}\right] \qquad a = \frac{12 \left[\dfrac{km}{h}\right]}{12\ [seg]}$$

$$t = 12\ [seg]$$

$$a = x \qquad a = 1 \frac{\left[\dfrac{km}{h}\right]}{[seg]}$$

o bien: $a = 1 \left[\dfrac{km}{h \cdot seg}\right]$

Respuesta: La aceleración es de 1 $\left[\dfrac{km}{h \cdot seg}\right]$, es decir,

la velocidad aumenta en 1 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ en cada segundo.

Nota: La expresión 1 $\left[\dfrac{km}{h \cdot seg}\right]$ puede interpretarse

en dos formas: como 1 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ en cada seg, o bien, como

1 $\left[\dfrac{km}{seg}\right]$ en cada hora.

50.– CLASIFICACION DE LOS MOVIMIENTOS.

Los movimientos de los cuerpos pueden clasificarse atendiendo al punto de referencia, a la trayectoria y a la velocidad, en la forma siguiente:

Punto de referencia.– Según que el punto de referencia esté en reposo o en movimiento, tenemos:

a) Movimiento absoluto: si el punto de referencia está en reposo. Los movimientos absolutos en realidad no existen, puesto que todos los cuerpos en el universo se mueven. Sobre la superficie de la tierra, sin embargo, puede considerarse absoluto el movimiento de un tren con respecto a la estación, a pesar de que ésta se traslada conjuntamente con la tierra.

b) Movimiento relativo: si el punto de referencia está en movimiento. En la realidad, prácticamente todos los movimientos son relativos, como, por ejemplo, el de un pasajero que camina en un tren en marcha, con respecto al asiento que desea ocupar.

c) Movimiento aparente: si el observador está también en movimiento. Por ejemplo, son movimientos aparentes, el de los árboles que parecen alejarse de un tren en marcha, en el cual viaja el observador, el del sol y las estrellas respecto de la tierra que gira, etc.

Trayectoria.— Según que la trayectoria del móvil sea una línea recta o curva, los movimientos son:

a) Movimiento rectilíneo: si la trayectoria es una línea recta.

b) Movimiento curvilíneo: si la trayectoria es una línea curva. Entre estos tenemos los movimientos circulares (punteros de un reloj, rueda, respecto de su eje), elípticos (tierra en torno del sol) y parabólicos (proyectiles).

Velocidad.— Según que la velocidad se mantenga constante o varíe, un móvil puede tener:

a) *Movimiento uniforme*: si la velocidad es constante. Pueden considerarse uniformes los movimientos de un peatón, de los punteros del reloj, etc.

b) *Movimiento variado*: si la velocidad cambia continuamente de valor. Esta variación puede ser tal que la aceleración del movimiento tenga un valor constante o variable y en tal caso, un movimiento variado se divide en: uniformemente variado y no uniformemente variado.

El uniformemente variado puede, a su vez, ser uniformemente acelerado o retardado, según que la aceleración sea una aceleración propiamente tal o una retardación.

Finalmente, según que la aceleración se inicie estando el móvil en reposo o en movimiento, el movimiento uniformemente acelerado puede ser sin velocidad inicial y con velocidad inicial.

En síntesis, en este caso, tenemos:

Movimiento
- Uniforme: velocidad constante.
- Variado (velocidad **variable:** aceleración)
  - Uniformemente variado (aceleración constante).
    - Uniformemente acelerado
      - Sin velocidad inicial.
      - Con velocidad inicial.
    - Uniformemente retardado
  - No uniformemente variado (aceleración variable).

Ahora pasaremos a analizar, en particular, algunos de estos tipos de movimiento considerando sólo los rectilíneos. Los restantes se estudiarán en los cursos siguientes.

51.– MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORME.

Un móvil está dotado de movimiento rectilíneo uniforme si su trayectoria es una línea recta y su velocidad es constante.

Esto significa que, desplazándose en línea recta, el móvil recorre caminos iguales en intervalos de tiempo también iguales.

El valor numérico de la velocidad de un móvil que se desplaza con movimiento rectilíneo uniforme, se obtiene dividiendo el camino recorrido por el tiempo empleado en recorrerlo, esto es:

$$\boxed{v = \frac{s}{t}}$$

Conocida la velocidad, resulta muy sencillo obtener ya sea el camino recorrido o el tiempo empleado en recorrerlo, mediante una simple operación algebraica,

$$\text{Así,} \quad s = v \cdot t$$

$$\text{y} \quad t = \frac{s}{v}$$

Problema 1.

Un atleta corre los 100 [m] en 10,5 [seg]. ¿Cuál es su velocidad, en $\left[\frac{m}{seg}\right]$ y en $\left[\frac{km}{h}\right]$?

Solución:

$s = 100\ [m]$

$t = 10{,}5\ [seg]$

$v = x$

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

$$1)\ v = \frac{100\ [m]}{10{,}5\ [seg]}$$

$$v = 9{,}52 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$2)\ v = 9{,}52\ .\ 3{,}6 \left[\frac{km}{h}\right]$$

$$v = 34{,}272 \left[\frac{km}{h}\right]$$

Respuesta: La velocidad del atleta es $9{,}52 \left[\frac{m}{seg}\right]$ ó $34{,}272 \left[\frac{km}{h}\right]$

Problema 2.

¿Qué distancia recorre en 5 min un tren que corre a $54 \left[\frac{km}{h}\right]$?

Solución:

$$v = 54 \left[\frac{km}{h}\right] = \frac{54}{3{,}6} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$t = 5\ [min.] = 300\ [seg].$

$s = x$

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

$$s = v \cdot t$$

$$s = \frac{54}{3,6} \left[\frac{m}{seg}\right] \cdot 300 \text{ [seg]}$$

$$s = \frac{54000}{12} \text{ [m]}$$

$$s = 4,5 \text{ [km]}$$

Respuesta: El tren ha recorrido 4,5 [km] en 5 min.

Problema 3.

¿Cuánto demora la luz del sol en llegar a la tierra si la distancia que los separa es aproximadamente de 150.000.000 [km]?

Solución:

$$s = 150.000.000 \text{ [km]}$$

$$v = 300.000 \left[\frac{km}{seg}\right]$$

$$t = x$$

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

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

$$t = \frac{150.000.000 \text{ [km]}}{300.000 \left[\frac{km}{seg}\right]}$$

$$t = 500 \text{ [seg]}$$

$$t = 8 \text{ min. } 20 \text{ seg.}$$

Respuesta: La luz del sol demora 8 min 20 seg en llegar a la tierra.

52.– MOVIMIENTO RECTILINEO UNIFORMEMENTE VARIADO

De los movimientos variados nos interesan aquellos en que la aceleración es constante, es decir, la velocidad aumenta o disminuye en la misma cantidad en intervalos iguales de tiempo. Estos movimientos son los uniformemente variados: acelerado y retardado.

Comenzaremos por el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado.

a) *Movimiento rectilíneo uniformemente acelerado*

Un movimiento rectilíneo es uniformemente acelerado si su velocidad aumenta en la misma cantidad en intervalos iguales de tiempo.

Esto significa que su aceleración es constante, por lo cual, si v_i es la velocidad al iniciarse el movimiento y v_f la velocidad que adquiere el móvil después de un tiempo t, entonces, según la definición de aceleración, se tiene:

$$\boxed{a = \frac{v_f - v_i}{t}}$$

De esta relación, mediante una simple transformación algebraica, se obtiene la velocidad final v_f alcanzada por el móvil, después de un tiempo t cualquiera:

$$\boxed{v_f = v_i + at}$$

Esto es:

velocidad final = velocidad inicial + aceleración por tiempo.

Si el móvil parte del reposo inmediatamente con movimiento uniformemente acelerado, la velocidad inicial es cero y, en este caso, la velocidad después de un tiempo t cualquiera es:

$$\boxed{v_f = at}$$

o sea: velocidad final = aceleración por tiempo.

Problema.

Un ciclista parte con una velocidad de 2 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$ y acelera en 0,8 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$ durante 10 seg. ¿Cuál es su velocidad final?

Solución:

$$v = 2 \left[\frac{m}{seg}\right] \qquad v_f = v_i + at$$

$$a = 0{,}8 \left[\frac{m}{seg^2}\right] \qquad v_f = 2 \left[\frac{m}{seg}\right] + 0{,}8 \left[\frac{m}{seg^2}\right] 10\ [seg]$$

$$t = 10\ [seg]$$

$$v = x \qquad v_f = 2 \left[\frac{m}{seg}\right] + 8 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_f = 10 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Respuesta: La velocidad del ciclista, después de 10 [seg], es de **10** $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$.

Camino recorrido

El camino recorrido por un móvil con movimiento uniformemente acelerado, en un tiempo t, es equivalente al camino que recorrería, en igual tiempo, con movimiento uniforme, de velocidad igual a la velocidad media del movimiento uniformemente acelerado.

Como en el movimiento uniformemente acelerado la velocidad aumenta en la misma cantidad en intervalos iguales de tiempo ($a = \text{constante}$), la velocidad media equivale a la semi suma de las velocidades inicial y final correspondientes al intervalo de tiempo considerado, es decir,

$$v_m = \frac{v_i + v_f}{2}$$

Entonces, según lo expuesto, el camino recorrido es:

$$s = v_m \, . \, t$$

y reemplazando el valor de v_m, queda:

$$s = \frac{v_i + v_f}{2} \, . \, t$$

pero: $$v_f = v_i + at$$

de donde: $$s = \frac{v_i + v_i + at}{2} \, . \, t$$

o sea: $$s = \frac{2v_i + at}{2} \, . \, t$$

y finalmente: $$\boxed{s = v_i \, . \, t + \frac{at^2}{2}}$$

Luego, *el camino recorrido por un móvil con movimiento uniformemente acelerado, con velocidad inicial, es igual al producto de la velocidad inicial por el tiempo más el semi producto de la aceleración por el cuadrado del tiempo.*

Si el cuerpo parte del reposo, la velocidad inicial es cero, con lo cual, la fórmula del camino recorrido se reduce a:

$$\boxed{s = \frac{at^2}{2}}$$

Esto es, *el camino recorrido por un móvil con movimiento uniformemente acelerado, sin velocidad inicial, equivale al semi producto de la aceleración por el cuadrado del tiempo.*

Problema 1.

Un automóvil pasa por un punto A con una velocidad de $30 \left[\frac{km}{h}\right]$. ¿A qué distancia se halla 5 min después, si acelera en $0{,}1 \left[\frac{m}{seg^2}\right]$ y cuál es su velocidad en ese instante?

Solución:

$$v_i = 30 \left[\frac{km}{h}\right] = \frac{30}{3{,}6} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$t = 5 \text{ [min]} = 300 \text{ [seg]}$$

$$a = 0{,}1 \left[\frac{m}{seg^2}\right]$$

$$s = x$$

$$v_f = x$$

$$1)\ s = v_i t + \frac{at^2}{2}$$

$$s = \frac{30}{3,6} \left[\frac{m}{seg}\right] . 300 \,[seg] + \frac{0,1 \left[\frac{m}{seg^2}\right] 90000 \,[seg^2]}{2}$$

$$s = 2500 \,[m] + 4500 \,[m]$$

$$s = 7000 \,[m]$$

$$s = 7 \,[km]$$

2) $v_f = v_i + at$

$$v_f = \frac{30}{3,6} \left[\frac{m}{seg}\right] + 0,1 \left[\frac{m}{seg^2}\right] . 300 \,[seg]$$

$$v_f = 8\ 1/3 \left[\frac{m}{seg}\right] + 30 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_f = 38\ 1/3 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_f = 137,88 \left[\frac{km}{h}\right]$$

Respuesta: 5 min después de pasar por A, el automóvil se encuentra a 7 [km] de distancia, corriendo a una velocidad de 137,88 $\left[\frac{km}{h}\right]$.

Problema 2.

Un avión necesita 500 m para despegar de un aeródromo. Si parte del reposo con movimiento uniformemente acelerado y demora 25 seg en despegar, ¿cuál es su velocidad en el momento de abandonar la pista? (Bachillerato, enero de 1959).

Solución:

$s = 500\ [m]$

$t = 25\ [seg]$

$v_f = x$

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

pero: $a \cdot t = v_f$

luego: $$s = \frac{v_f \cdot t}{2}$$

y: $$v_f = \frac{2s}{t}$$

Por lo tanto: $$v_f = \frac{1000\ [m]}{25\ [seg]}$$

$$v_f = 40 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_f = 144 \left[\frac{km}{h}\right]$$

Respuesta: La velocidad del avión, al abandonar la pista, es de $144 \left[\frac{km}{h}\right]$.

b) *Movimiento rectilíneo uniformemente retardado*

Un movimiento rectilíneo es uniformemente retardado si su velocidad disminuye en la misma cantidad en intervalos iguales de tiempo.

Su retardación es constante y como la velocidad inicial es mayor que la velocidad final, después de un intervalo *t*, se tiene:

$$\boxed{a = \frac{v_i - v_f}{t}}$$

relación de la cual resulta:

$$v_f = v_i - at$$

es decir:

velocidad final = velocidad inicial menos aceleración por tiempo

Tiempo máximo

En un movimiento uniformemente retardado, la velocidad va disminuyendo en una misma cantidad en intervalos iguales de tiempo, hasta hacerse igual a cero, cuando el móvil se detiene. Esto ocurre después de un tiempo t llamado *tiempo máximo*, porque es el mayor tiempo de duración del movimiento.

Si designamos por $t_{máx}$ el tiempo máximo, y dado que $v_f = 0$,

se tiene: $v_i - at_{máx} = 0$

de donde:

$$\boxed{t_{máx} = \frac{v_i}{a}}$$

esto es: $\text{tiempo máximo} = \dfrac{\text{velocidad inicial}}{\text{retardación}}$

Problema.

Un tren corre a 54 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ y comienza a retardar en 0,25 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$. ¿Qué velocidad lleva 15 seg después y en cuánto tiempo se detiene?

Solución:

$$v_i = 54 \left[\frac{km}{h}\right] = \frac{54}{3,6} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$a = 0,25 \left[\frac{m}{seg^2}\right]$$

$$t = 15 \text{ seg}$$

1) $v_f = v_i - at$

$$v_f = \frac{54}{3,6}\left[\frac{m}{seg}\right] - 0,25 \left[\frac{m}{seg^2}\right] . 15 \text{ [seg]}$$

$$v_f = 15 \left[\frac{m}{seg}\right] - 3,75 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_f = 11,25 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_f = 40,5 \left[\frac{km}{h}\right]$$

$$2)\ t_{máx} = \frac{v_1}{a}$$

$$t_{máx} = \frac{15 \left[\dfrac{m}{seg}\right]}{0{,}25 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]}$$

$$t_{máx} = 60\ [seg]$$

$$t_{máx} = 1\ [min]$$

Respuesta: 15 seg después, el tren corre a 40,5 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ y se detiene al cabo de un minuto.

Camino recorrido

El camino recorrido por un móvil con movimiento uniformemente retardado, en un tiempo t, puede determinarse recurriendo a las mismas consideraciones que hicimos para el movimiento uniformemente acelerado.

Luego, $$s = v_m \cdot t$$

o sea: $$s = \frac{v_i + v_f}{2} \cdot t$$

pero, esta vez: $$v_f = v_i - at$$

entonces: $$s = \frac{v_i + v_i - at}{2} \cdot t$$

o bien: $$s = \frac{2\ v_i - at}{2} \cdot t$$

y finalmente:

$$\boxed{s = v_i\, t - \frac{at^2}{2}}$$

Esto es, *el camino recorrido por un móvil, con movimiento uniformemente retardado, es igual al producto de la velocidad inicial por el tiempo menos el semi producto de la aceleración por el cuadrado del tiempo.*

Camino máximo.

Es el camino recorrido por un móvil con movimiento uniformemente retardado, desde que empieza a retardar hasta que se detiene. El camino máximo es recorrido en el tiempo máximo, por lo tanto:

$$s_{máx} = v_m \cdot t_{máx}$$

Pero, en este caso, la velocidad final es cero,

por lo cual:

$$v_m = \frac{v_i}{2}$$

y como:

$$t_{máx} = \frac{v_i}{a}$$

resulta:

$$s_{máx} = \frac{v_i}{2} \cdot \frac{v_i}{a}$$

o sea:

$$\boxed{s_{máx} = \frac{v_i^2}{2a}}$$

Esto es, camino máximo = cuadrado de la velocidad inicial partido por el doble de la retardación.

Problema.

Al llegar a una estación un tren lleva la velocidad de 36 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ y comienza a retardar en 0,2 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$. ¿Qué camino ha recorrido 15 seg después y cuánto necesita para detenerse?

Solución:

$$v_1 = 36 \left[\frac{km}{h}\right] = \frac{36}{3{,}6} \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$a = 0{,}2 \left[\frac{m}{seg^2}\right]$$

$$t = 15\ [seg]$$

$$s = x$$

$$s_{máx} = x \qquad 1)\ s = v_1 t - \frac{at^2}{2}$$

$$s = 10 \left[\frac{m}{seg}\right] . 15\ [seg] - \frac{0{,}2 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]}{2} . 225\ [seg^2]$$

$$s = 150\ [m] - 22{,}5\ [m]$$

$$s = 127{,}5\ [m]$$

$$2)\ s_{máx} = \frac{v_1^2}{2a}$$

$$s_{máx} = \frac{100 \left[\frac{m^2}{seg^2}\right]}{0,4 \left[\frac{m}{seg^2}\right]}$$

$$s_{máx} = 250 \ [m]$$

Respuesta: después de 15 seg, el tren ha recorrido 127,5 [m] y para detenerse necesita 250 [m].

53.– CAIDA DE LOS CUERPOS.

Todos los cuerpos que se encuentran libres, a cierta altura de la superficie de la tierra, caen hacia ella con movimiento uniformemente acelerado, debido a la atracción que ésta ejerce sobre ellos.

La trayectoria de un cuerpo en caída libre es una recta dirigida hacia el centro de la tierra y, por lo tanto, vertical.

> *Caída libre es el movimiento uniformemente acelerado, de dirección vertical, que la atracción gravitacional origina en los cuerpos libres, que se encuentran a cierta altura de la superficie de la tierra.*

Aceleración de la gravedad

La aceleración de un móvil en caída libre se denomina aceleración de la gravedad y se designa por "g".

La aceleración de la gravedad depende de la latitud y de la altura con respecto al nivel del mar.

La aceleración de la gravedad puede considerarse constante para un mismo lugar de la tierra sólo hasta una altura prudencial, pues a grandes alturas disminuye apreciablemente.

Otro factor del cual depende la aceleración de la gravedad es el roce del aire contra el cuerpo que cae, que aumenta a medida que disminuye la altura.

Sin embargo, para la Física, la caída libre es un movimiento idealizado, pues prescinde del roce del aire y de la variación de g con la altura y define la aceleración de la gravedad en la forma siguiente:

> *Aceleración de la gravedad es aquella que adquieren los cuerpos al caer libremente en el vacío.*

Su valor medio o normal se obtiene a 45° de latitud y al nivel del mar, siendo de 980,6 $\left(\frac{cm}{seg^2}\right)$.

En los polos tiene su mayor valor y en el ecuador el menor.

lugar	*Ecuador*	*Polos*	*Chile, región central*	*45° latitud, nivel del mar*	*Valor aproxim.*
g, en $\left(\frac{cm}{seg^2}\right)$	978	983,2	979,5	980,6	10 $\left(\frac{m}{seg^2}\right)$

Velocidad final y camino recorrido

Siendo la caída libre un movimiento uniformemente acelerado, para calcular la velocidad y el camino recorrido en un intervalo de tiempo t, empleamos las fórmulas ya determinadas, considerando que *a* tiene ahora el valor de g. Luego:

$$1)\quad v_f = g\,t$$

$$2)\quad s = \frac{g\,t^2}{2}$$

Estas dos fórmulas constituyen dos leyes de la caída libre denominadas *leyes de Galileo,* por ser este físico italiano el primero en establecerlas.

1ª *ley*: *Todos los cuerpos caen en el vacío con igual velocidad, desde una misma altura.*

O en otra forma: *los cuerpos en el vacío caen con la misma aceleración, desde alturas iguales.*

Para probar esta ley se emplea el llamado tubo de Newton, que es un tubo de vidrio de más o menos 1 m de largo, en el cual puede hacerse el vacío mediante una bomba de vacío.

La experiencia es sencilla: se dejan caer dentro del tubo dos cuerpos de diferente peso, primero estando lleno de aire y en seguida, vacío. Ella prueba que lo que influye en la variación de la velocidad de caída de los cuerpos es la resistencia que opone el aire, la cual depende directamente del volumen de los cuerpos.

2ª *ley*: *Los caminos recorridos por un móvil en caída libre son directamente proporcionales a los cuadrados de los tiempos de recorrido.*

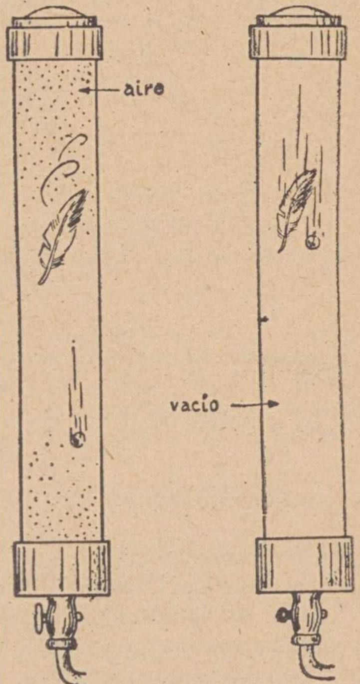


Fig. 67.– Tubo de Newton.

Problema.

Un cuerpo cae libremente y llega al suelo 20 seg después de iniciada la caída. ¿Desde qué altura cae y con qué velocidad llega al suelo?

Solución:

$$g = 10 \left[\frac{m}{seg^2}\right] \qquad 1)\ s = \frac{gt^2}{2}$$

$$t = 20\ [seg]$$

$$s = x \qquad s = \frac{10 \left[\frac{m}{seg^2}\right] .\ 400\ [seg^2]}{2}$$

$$v_f = x \qquad s = 2000\ [m]$$

$$2)\ v_f = g\ t$$

$$v_f = 10 \left[\frac{m}{seg^2}\right] .\ 20\ [seg]$$

$$v_f = 200 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

Respuesta: El cuerpo cae desde 2000 [m] de altura y llega al suelo con una velocidad de 200 $\left[\frac{m}{seg}\right]$.

54.– LANZAMIENTO VERTICAL.

Es el movimiento de un cuerpo al que se da un impulso verticalmente hacia abajo o hacia arriba.

Si es un lanzamiento vertical hacia abajo, el movimiento es uniformemente acelerado, con velocidad inicial y, en tal caso, considerando que *a* vale *g*, tenemos:

velocidad final: $v_f = v_i + g\ t$

camino recorrido: $s = v_i\, t + \dfrac{gt^2}{2}$

Si el lanzamiento vertical es hacia arriba, el movimiento es uniformemente retardado y entonces:

velocidad final: $v_f = v_1 - g\,t$

camino recorrido: $s = v_1 t - \dfrac{gt^2}{2}$

tiempo máximo: $t_{\text{máx}} = \dfrac{v_1}{g}$

camino máximo: $s_{\text{máx}} = \dfrac{v_1{}^2}{2g}$

Alcanzada la altura máxima, el lanzamiento vertical hacia arriba se convierte en caída libre y de tal modo que, en cualquier punto de la trayectoria, el tiempo de subida es igual al tiempo de caída.

Problema.

Un proyectil es lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad de 300 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$. ¿A qué altura alcanza y cuánto demora en alcanzarla? ¿Cuánto demora en caer después del lanzamiento?

Solución:

$v_1 = 300 \left[\dfrac{m}{seg}\right]$

$g = 10 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$

$s_{\text{máx}} = x$

$t = x$

1) $s_{\text{máx}} = \dfrac{v_1{}^2}{2g}$

$$s_{\text{máx}} = \frac{90000 \left[\dfrac{m^2}{seg^2}\right]}{20 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]}$$

$$s_{máx} = 4500\ [m]$$

$$2)\ t_{máx} = \frac{v_1}{g}$$

$$t_{máx} = \frac{300 \left[\dfrac{m}{seg}\right]}{10 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]}$$

$$t_{máx} = 30\ [seg]$$

Respuesta: El proyectil alcanza a 4500 m de altura en 30 seg y cae a tierra 1 min después del lanzamiento.

55.– COMPOSICION DE VELOCIDADES.

La velocidad, como la fuerza y la aceleración, es una magnitud vectorial, cuyas características son: intensidad o medida, dirección y sentido.

Las velocidades pueden, pues, representarse gráficamente por medio de vectores.

Cuando un cuerpo está sometido simultáneamente a dos o más movimientos, éste se mueve como si, en verdad, estuviese animado de uno solo, que se denomina resultante.

La velocidad de este movimiento resultante se llama velocidad resultante y su determinación se denomina composición de velocidades o de movimientos.

Componer dos o más velocidades es reemplazarlas por una sola, llamada resultante, cuyo efecto es equivalente al efecto de las componentes.

Consideraremos los casos en que las velocidades componentes tienen igual y distinta dirección.

a) *Velocidades con igual dirección.*– Pueden tener igual o distinto sentido. Si son de igual sentido, la resultante equivale a la suma y si son de sentido contrario, a la diferencia de las componentes.

Por ejemplo, si un bote, que navega en un río, lo hace a favor de la corriente, su velocidad resultante equivale, en intensidad, dirección y sentido, a la velocidad del bote más la velocidad del río, y si lo hace en sentido contrario, su velocidad resultante es igual en intensidad, dirección y sentido a la velocidad del bote menos la velocidad del río.

Si son más de dos velocidades componentes, la resultante equivale a la suma algebraica de ellas. Entonces, si v_r es la velocidad resultante y v_1, v_2, v_3 ...., v_n son las velocidades componentes, cualquiera sea su sentido, se tiene:

$$\boxed{v_r = v_1 + v_2 + \ldots\ldots + v_n}$$

b) *Velocidades con distinta dirección.*– Son velocidades cuyos vectores forman ángulo. Un ejemplo lo tenemos en un nadador que cruza un río: su velocidad y la de la corriente forman un determinado ángulo.

En este caso, la velocidad resultante se obtiene por medio de la regla llamada del paralelógramo de las velocidades:

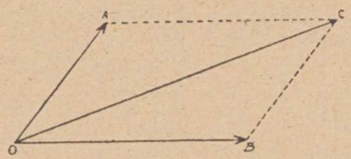


Fig. 68.– Paralelógramo de las velocidades.

La resultante de dos velocidades que forman un ángulo equivale, en intensidad, dirección y sentido, a la diagonal del paralelógramo cuyos lados son las velocidades componentes.

Esta resultante se mide con la misma unidad de longitud adoptada para representar gráficamente la intensidad de las componentes.

Esta regla del paralelógramo se basa en el llamado *principio de superposición o de independencia de los movimientos*:

Un cuerpo sometido a dos o más movimientos simultáneos describe una trayectoria tal que la posición que ocupa después de un tiempo t es la misma que ocuparía si dichos movimientos se hubiesen cumplido sucesiva e independientemente uno de otro y cada uno de ellos durante el mismo tiempo t.

Problema.

Un vaporcito, que desarrolla 18 nudos, remonta un río cuyas aguas avanzan a 1,5 $\left[\frac{m}{seg}\right]$. ¿Cuánto se demora en ir de un embarcadero a otro que dista 18 km 48 m de aquél?

Solución:

$$v_1 = 18 \text{ nudos} = 18 \,.\, 0{,}51 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_2 = 1{,}5 \left[\frac{m}{seg}\right] \qquad v_r = x$$

$$t = x$$

$$s = 18 \text{ km } 48 \text{ m} = 18048 \, [m]$$

1) $v_r = v_1 - v_2$

$$v_r = 9{,}18 \left[\frac{m}{seg}\right] - 1{,}5 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$v_r = 7{,}68 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

2) $v = \dfrac{s}{t}$

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

$$t = \frac{18048\ [m]}{7{,}68 \left[\frac{seg}{m}\right]}$$

$$t = 2350\ [seg]$$

$$t = 39\ min\ 10\ seg$$

Respuesta: El vaporcito se demora 39 min 10 seg en ir de un embarcadero a otro.

Nota: Calcule el tiempo que demora en hacer el recorrido en sentido contrario.

SINTESIS

Movimiento:

- *Concepto*: un cuerpo está en movimiento si cambia continua y sucesivamente de posición o de lugar en el espacio con respecto a otro cuerpo.
- *Características*:
  - *Trayectoria*: línea recta o curva determinada por las sucesivas posiciones del móvil en su desplazamiento.
  - *Velocidad*:
    - Concepto: Cuociente numérico entre camino recorrido y tiempo empleado en recorrerlo.
    - Fórmula: $\boxed{v = \dfrac{s}{t}}$
    - Unidades: $\left[\dfrac{cm}{seg}\right]$; $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$; $\left[\dfrac{km}{h}\right]$; [nudo]; etc.
  - *Aceleración*:
    - Concepto: cuociente numérico entre variación de velocidad y tiempo en que ésta se produce.
    - Fórmula: $\boxed{a = \dfrac{\Delta v}{t}}$ o bien, $\boxed{a = \dfrac{v_f - v_i}{t}}$
    - Unidades: $\left[\dfrac{cm}{seg^2}\right]$; $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$; $\left[\dfrac{\frac{km}{h}}{seg}\right]$; etc.

Movimiento:

- *Clasificación*:
  - *Según el punto de referencia*:
    - Absoluto: punto de ref. fijo.
    - Relativo: punto de ref. en movimiento.
    - Aparente: punto de referencia fijo y observador en movimiento.
  - *Según la trayectoria*:
    - Rectilíneo: trayectoria es una línea recta.
    - Curvilíneo: trayectoria es una línea curva.
      - circular
      - elíptico
      - parabólico.
  - *Según la velocidad*:
    - Uniforme: velocidad constante; $\boxed{v = \dfrac{s}{t}}$
    - Variado: (velocidad variable: aceleración)
      - Uniformemente variado: (a = constante)
        - Uniformemente acelerado: (veloc. aumenta)
          - Sin velocidad inicial
            - $v_f = at$
            - $s = \dfrac{at^2}{2}$
          - Con velocidad inicial
            - $v_f = v_i + at$
            - $s = v_it + \dfrac{at^2}{2}$
        - Uniformemente retardado: (veloc. disminuye).
          - $v_f = v_i - at$
          - $s = v_it - \dfrac{at^2}{2}$
          - $t_{máx} = \dfrac{v_i}{a}$
          - $s_{máx} = \dfrac{v_i^2}{2a}$
      - No uniformemente variado: (a = variable).

Movimiento:

- *Aceleración de la gravedad:*
  - *Concepto:* aceleración de la gravedad es aquella que adquieren los cuerpos al caer libremente en el vacío.
  - *Valor:* (*sup. tierra*)
    - Máximo: 983,2 $\left[\dfrac{cm}{seg^2}\right]$, en los polos.
    - Mínimo: 978 $\left[\dfrac{cm}{seg^2}\right]$, en el ecuador.
    - Medio: 980,6 $\left[\dfrac{cm}{seg^2}\right] = 10 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$ (45° latitud, nivel del mar)
- *Caída libre:*
  - *Concepto:* movimiento uniformemente acelerado de dirección vertical que la atracción gravitacional origina en los cuerpos libres que se encuentran a cierta altura del suelo.
  - *Leyes de Galileo*
    1) En el vacío, los cuerpos caen con igual aceleración, desde una misma altura.
    2) Los caminos recorridos en caída libre son directamente proporcionales a los cuadrados de los tiempos de recorrido.
  - *Fórmulas:*
    1) $v = g\ t$
    2) $s = \dfrac{g\ t^2}{2}$

Movimiento:

- *Lanzamiento vertical*:
  - Hacia arriba: (uniformemente retardado)
    - $v_f = v_i - g\,t$
    - $s = v_i t - \dfrac{g\,t^2}{2}$
    - $h_{máx} = \dfrac{v_i{}^2}{2g}$
  - Hacia abajo: (uniformemente acelerado)
    - $v_f = v_i + gt$
    - $s = v_i\,t + \dfrac{gt^2}{2}$
- *Composición de velocidades*:
  - *Concepto*: componer dos o más velocidades es reemplazarlas por una sola cuyo efecto sea equivalente al efecto de las componentes
  - *Casos*:
    - velocidades con igual dirección: resultante equivale, en intensidad, dirección y sentido, a la suma algebraica de los componentes.

      $$\boxed{v_r = v_1 + v_2 + \dots + v_n}$$

    - velocidades con distinta dirección: resultante equivale, en intensidad, dirección y sentido, a la diagonal del paralelógramo cuyos lados son las velocidades componentes.

CUESTIONARIO

1.— Defina o explique los conceptos siguientes:

a) movimiento.
b) trayectoria.
c) velocidad.
d) aceleración.
e) aceleración de la gravedad.
f) movimiento rectilíneo uniforme.
g) movimiento uniformemente acelerado.
h) movimiento uniformemente retardado.
i) lanzamiento vertical.
j) caída libre.
k) tiempo máximo.
l) camino máximo.

2.— ¿Qué miden las expresiones 18 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ y 0,25 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$?
¿Qué significa cada una de ellas?

3.— La aceleración de un móvil es $a = 0{,}5 \left[\dfrac{m}{seg \, . \, min}\right]$. ¿Cómo puede interpretarse de dos maneras diferentes este resultado? (Bachillerato, enero 1959).

4.— ¿Qué diferencia existe entre la velocidad instantánea y la velocidad media?

5.— Dé ejemplos de movimientos absolutos, relativo, aparente, rectilíneo, curvilíneo, uniforme, uniformemente acelerado y uniformemente retardado.

6.— ¿Cómo pueden clasificarse los movimientos?

7.— ¿De qué depende el valor de la aceleración de la gravedad?

8.— ¿Por qué la aceleración de la gravedad es máxima en los polos y mínima en el ecuador?

9.— ¿Qué quiere decir que a 45° de latitud $g = 980{,}6 \left[\dfrac{cm}{seg^2}\right]$?
(Bachillerato, marzo 1959).

10.— Enuncie las leyes de Galileo.

11.— ¿Qué le recuerda la fórmula $\dot{x} = g\,t$? (Bachillerato, marzo 1959).

12.— ¿Qué camino recorre un móvil en el primer segundo de caída libre, en Santiago, en los polos, en el ecuador?

13.— ¿En qué consiste la regla del paralelógramo de las velocidades?

14.— ¿Qué consideración es necesario hacer para calcular el camino recorrido por un móvil con movimiento uniformemente acelerado?

PROBLEMAS

1.– Exprese la velocidad de 54 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ en $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$ y en $\left[\dfrac{cm}{seg}\right]$.

2.– La velocidad de los satélites artificiales es alrededor de 9 $\left[\dfrac{km}{seg}\right]$. Exprese en $\left[\dfrac{km}{h}\right]$.

3.– La velocidad del sonido en el aire es aproximadamente de 340 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$. Exprese en $\left[\dfrac{km}{h}\right]$.

4.– ¿Cuál es más veloz, un automóvil que corre a 80 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ o un tren que se desplaza a 20 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$?

5.– Escriba en orden creciente las velocidades que siguen: $v_1 = 12 \left[\dfrac{m}{seg}\right]$, $v_2 = 48 \left[\dfrac{km}{h}\right]$, $v_3 = 18$ nudos y $v_4 = 1{,}2 \left[\dfrac{km}{min}\right]$.

6.– ¿Cuántos km recorre un barco en 5 h con una velocidad media de 16 nudos?

R: 148,24 km

7.– Un móvil recorre 264 km en 4 horas, con movimiento uniforme. ¿Cuál es su velocidad en $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ y en $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$?

8.– ¿Cuánto demora un tren en recorrer 181,44 km si su velocidad media es de 16 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$?

R: 3 h 9 min

9.– Un avión vuela a 450 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$. ¿Qué distancia recorre en 15 min?

R: 112,5 km

10.– Un móvil aumenta su velocidad en 25 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$ en 5 seg. Calcule su aceleración.

R: 5 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$

11.– ¿Cuál es la aceleración de un móvil que en 4 seg alcanza la velocidad de 9 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$?

R: 0,625 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$

12.– La aceleración de un móvil es 0,4 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$. ¿En cuánto tiempo alcanza la velocidad de 72 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$?

R: 50 seg

13.– ¿Qué profundidad tiene un pozo, si un cuerpo cae libremente en 2 seg hasta el fondo?

R: 19,6 m

14.– Un cuerpo tarda 5 seg en caer en el vacío. ¿De qué altura cae y con qué velocidad llega al suelo?

R: 122,5 m ; 49 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$.

15.– Se lanza un proyectil verticalmente hacia arriba con velocidad inicial de 250 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$. ¿Cuánto tarda en alcanzar su altura máxima? ¿Cuál es dicha altura? ¿Cuánto demora en llegar nuevamente al suelo?

R: 25,5 seg; 3188 m; 51 seg

16.– Un proyectil es lanzado verticalmente hacia arriba con $v_1 =$ 400 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$. ¿Qué velocidad tiene después de 10 seg? ¿Qué altura alcanza en dicho tiempo? ¿Cuál es su altura máxima?

R: 302 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$; 3510 m; 8163 m

17.– ¿En cuánto tiempo se d e t i e n e un automóvil que corre a 75,6 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ si al aplicar los frenos se consigue una retardación de 3 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$? ¿Cuánto camino requiere para detenerse?

R: 7 seg; 73,5 m

18.– Un tren que corre a 72 $\left[\dfrac{km}{h}\right]$ se detiene en 100 m. ¿Cuál es la retardación aplicada? ¿En cuánto tiempo se detiene?

$$R:\ 2 \left[\frac{m}{seg^2}\right] ;\ 10\ seg$$

19.— Desde un globo se dispara verticalmente hacia abajo un proyectil. Si su velocidad inicial es de 320 $\left[\frac{m}{seg}\right]$ y emplea 5 seg en llegar al suelo, ¿cuál es su velocidad final y desde qué altura fue lanzado?

$$R:\ 369 \left[\frac{m}{seg}\right] ;\ 1722{,}5\ m$$

20.— Un móvil se desliza sobre un plano horizontal con una velocidad constante de 15 $\frac{m}{seg}$; llega a un plano inclinado de 200 m y lo recorre en 10 seg. Calcule la aceleración en el plano inclinado y la velocidad final alcanzada al término de éste.

$$R:\ 1 \left[\frac{m}{seg^2}\right] ;\ 25 \left[\frac{m}{seg}\right]$$

CAPITULO II

PRINCIPIOS DE NEWTON Y LEY DE LA GRAVITACION UNIVERSAL

56.– ISAAC NEWTON. (1642-1727).


Fig. 69.– Isaac Newton.

"Alégrense los mortales de que tal y tanto ornamento del género humano haya existido".

Así reza la lápida que muestra al mundo el sitio en que yacen los restos mortales del gran físico Sir Isaac Newton, junto a los reyes de Inglaterra, en la Abadía de Westminster.

Sus descubrimientos e invenciones marcan toda una época de la Física, en especial en lo relativo a las leyes del movimiento y a la gravitación universal.

Tales leyes son los llamados "principios de la mecánica clásica" y la ley de la gravitación universal, que analizaremos separadamente a continuación.

57.– PRINCIPIO DE INERCIA.

En el párrafo Nº 7 hemos establecido que la inercia, una de las propiedades generales de la materia, es la imposibilidad de los cuerpos de cambiar su estado de reposo o de movimiento por sí solos.

Esto significa que un cuerpo en reposo jamás comenzará a moverse por sí mismo y que es necesario aplicarle una fuerza para ponerlo en movimiento, y también, que un cuerpo en movimiento no podrá modificar su velocidad por sí solo, sino bajo la acción de una fuerza exterior.

En efecto, numerosas experiencias de la vida diaria evidencian la realidad de esta afirmación:

Cuando un bus o un automóvil arranca bruscamente, todos sabemos que los pasajeros son impulsados hacia atrás, como si trataran de permanecer en el lugar en que se hallaban.

Si colocamos una moneda sobre una hoja de papel y damos un tirón de la hoja, la moneda permanece en el lugar en que se hallaba.

Luego, los cuerpos en reposo permanecen en reposo si no actúa una fuerza que los ponga en movimiento.

Si, por el contrario, el bus o el automóvil frena bruscamente, los pasajeros son impulsados hacia adelante, como si tratarán de continuar en movimiento.

Lo mismo ocurre con un jinete cuya cabalgadura se detiene repentinamente.

Fig. 70.– Al detenerse bruscamente la cabalgadura, el jinete es lanzado hacia adelante.

Además, cuando un automóvil o cualquier vehículo acelera la marcha, los pasajeros se inclinan hacia atrás, y lo hacen hacia adelante, si el vehículo reduce su velocidad.

Esto indica que los cuerpos en movimiento conservan su velocidad si no actúa una fuerza que la modifique.

Fig. 71.– Al partir bruscamente, los pasajeros se van hacia atrás y hacia adelante si el vehículo frena de repente.

Y como la velocidad es un vector, no sólo se mantiene su intensidad, sino también su dirección y su sentido. Ello se prueba con lo que ocurre en las curvas a los pasajeros de un vehículo, que son empujados hacia afuera como si tendiesen a continuar en la dirección primitiva. Esto se hace aún más evidente si consideramos que el vehículo mismo se inclina y se vuelca si toma la curva con excesiva velocidad.

O sea, los cuerpos en movimiento continúan en movimiento rectilíneo y uniforme si no actúa una fuerza que los detenga.

Las conclusiones anteriores constituyen el *principio de inercia*, que podemos enunciar en la forma siguiente:

> *Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo a menos que sobre él actúe una fuerza exterior que lo obligue a cambiar dicho estado.*

La inercia de un cuerpo puede medirse comparándola con la de otro cuerpo que se elige convencionalmente como unidad. La medida obtenida por este procedimiento cuantitativo se denomina masa del cuerpo.

En consecuencia, el principio de inercia nos permite dar una nueva y más rigurosa definición del concepto de masa:

> *Masa de un cuerpo es la medida de la inercia que opone a todo cambio en su estado de reposo o de movimiento.*

O más brevemente:

> *Masa de un cuerpo es la medida cuantitativa de su inercia*.*

* Física General. Sears y Zemansky.

Se le llama también *principio de las aceleraciones* porque relaciona la masa de los cuerpos con las aceleraciones que éstos adquieren con las fuerzas que sobre ellos se aplican.

Para determinar esta relación apliquemos primero a un cuerpo de masa m las fuerzas diferentes F y F'

Las aceleraciones que el cuerpo experimenta son también distintas, siendo mayor la que adquiere cuando sobre él actúa la fuerza mayor y de tal modo que si F' es el doble, triple, etc., de F, a' es también el doble, triple, etc., de a.

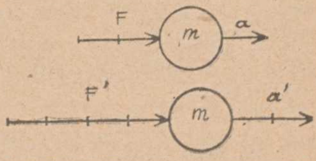


Fig. 72.– Para una misma masa, a mayor fuerza, mayor aceleración.

Luego, *las aceleraciones que un cuerpo experimenta son directamente proporcionales a las fuerzas que las producen.*

Lógico es pensar además que estas aceleraciones se producirán en el mismo sentido y dirección en que actúan las fuerzas.

Ahora, apliquemos una misma fuerza F a cuerpos de masas diferentes m y m'.

De nuevo, las aceleraciones que el cuerpo experimenta son distintas; pero, esta vez, es menor aquella que se obtiene cuando la fuerza F actúa sobre el cuerpo de mayor masa y de tal manera que si m' es el doble, triple, etc., de m, a' resulta ser 1/2, 1/3, etc., de a.

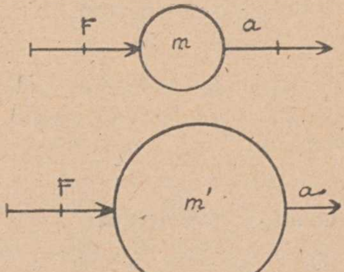


Fig. 73.– Para una misma fuerza, a mayor masa, menor aceleración.

Luego, ***las aceleraciones que una fuerza F origina son inversalmente proporcionales a las masas de los cuerpos sobre los cuales actúa.***

Estas conclusiones constituyen el *principio de masa o de las aceleraciones*, que podemos enunciar en la forma que sigue:

> *La aceleración que adquiere un cuerpo bajo la acción de una fuerza es directamente proporcional a la intensidad de la fuerza, inversamente proporcional a la masa del cuerpo y se produce en la dirección y sentido en que actúa la fuerza.*

O sea: a es proporcional a $\dfrac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}$

Esta proporcionalidad se transforma en igualdad si multiplicamos por una constante k, de proporcionalidad, cuyo valor depende de las unidades empleadas para medir la fuerza, la masa y la aceleración. Los sistemas de unidades han sido establecidos de tal modo que, en cualquiera de ellos, esta constante vale 1.

En consecuencia, la relación: $\mathrm{a} = \mathrm{k}\,\dfrac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}$

podemos escribirla en la forma:

$$\boxed{\mathrm{a} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}}}$$

que expresa, de una manera matemática, el principio de las aceleraciones.

De esta fórmula se obtienen, además, las dos relaciones siguientes:

$$\mathrm{F} = \mathrm{m} \,.\, \mathrm{a}$$

y

$$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{F}}{\mathrm{a}}$$

que nos dan la medida de la fuerza y de la masa respectivamente:

La fuerza que mueve un cuerpo equivale al producto de la masa del cuerpo por la aceleración que éste adquiere con dicha fuerza.

La masa de un cuerpo es el cuociente constante entre la fuerza que actúa sobre él y la aceleración que ésta le comunica.

El principio de las aceleraciones nos permite también expresar matemáticamente la medida del peso de un cuerpo, puesto que si $a = g$, y $F = \vec{P}$, entonces:

$$\boxed{\vec{P} = m \cdot g}$$

Esto es:

El peso de un cuerpo equivale al producto de su masa por la aceleración que le comunica la atracción gravitacional de la tierra.

El punto del cuerpo en el cual actúa esta fuerza, se denomina *centro de gravedad del cuerpo* y *es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas con que la tierra atrae a cada una de las moléculas del cuerpo.*

59.– PRINCIPIO DE ACCION Y REACCION.

Consideremos un cuerpo que se apoya sobre una superficie horizontal. Este ejerce sobre la superficie una fuerza P, igual a su peso, y la superficie ejerce sobre él una fuerza N, igual y contraria, que anula el peso del cuerpo y lo mantiene en reposo.

Si el cuerpo se mueve sobre la superficie ambas fuerzas iguales y de sentido contrario, subsisten.

Si suspendemos el cuerpo de un hilo, el peso del cuerpo es anulado por la resistencia del hilo, y si lo hacemos flotar en un líquido, su peso es anulado por el empuje del líquido.

Estos ejemplos nos indican que la fuerza con que actúa un cuerpo sobre otro origina siempre una reacción igual y contraria del segundo sobre el primero, lo cual significa que las fuerzas actúan siempre formando parejas.

En nuestros ejemplos, el peso del cuerpo es una de estas fuerzas y se la denomina *acción*. La otra, llamada *reacción*, está representada por la resistencia de la superficie, en el primero, por la resistencia del hilo, en el segundo, y por el empuje del líquido, en el tercero.

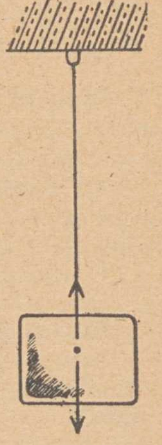


Fig. 74.– Acción y reacción.

La evidencia de lo establecido constituye el principio de acción y reacción, que puede expresarse como sigue:

> *Si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido contrario.*

La validez de este principio es absolutamente general y en la mayoría de los casos, evidente.

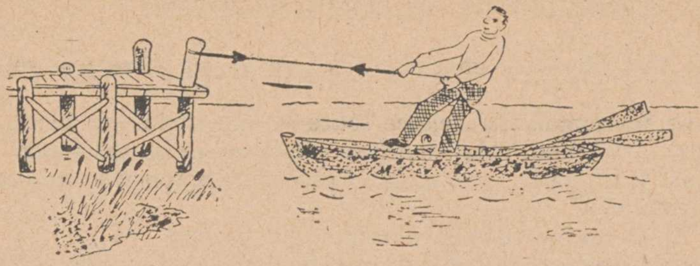


Fig. 75.– La reacción arrastra el bote hacia la orilla.

Si desde un bote se ejerce una tracción sobre un cuerda atada a la orilla, el bote se aproxima a ella como si la tracción se hubiese ejercido desde la orilla.

La acción es la tracción ejercida sobre la cuerda para atraer la orilla hacia el bote y la reacción es la resistencia de la cuerda y su soporte, que lleva el bote hacia la orilla.

Un hombre que camina ejerce con el pie una acción hacia atrás sobre la tierra y ésta reacciona con una fuerza igual y contraria, impulsándolo hacia adelante.

Pero, si la acción y la reacción son iguales y contrarias, ¿cómo se explica entonces que el bote se mueva y el hombre camine?

Ello se explica porque ambas fuerzas, acción y reacción, siendo iguales, se han aplicado sobre cuerpos de masa muy diferente, lo que origina en ellos aceleraciones también muy distintas. La aceleración que la acción comunica a la tierra es despreciable comparada con aquella que la reacción comunica al bote o al hombre que camina, por la gran diferencia de masas.

De ahí que, a pesar de ser la acción y la reacción dos fuerzas iguales y contrarias, no siempre los cuerpos sobre los cuales actúan permanezcan en equilibrio, o bien, sea corriente que sólo uno de ellos se mueva.

Las aplicaciones prácticas de este principio son muy numerosas y variadas. La más novedosa y trascendental, en estos momentos, la tenemos en la propulsión a reacción, que se logra en tres formas diferentes: a) mediante cohetes, b) por propulsión a chorro o "*jet propulser*" y c) por medio de estatorreactores o "*ram-jet*". De ello hablaremos en detalle en el curso siguiente.

60.– UNIDADES DE FUERZA.

De la relación:

$$F = m \cdot a$$

se desprende que:

una unidad de fuerza = una unidad de masa por una unidad de aceleración.

Entonces, las unidades correspondientes a los diferentes sistemas son:

Sistema C. G. S. Unidad: 1 [dina]

$$1\ [\text{dina}] = 1\ [\text{g}] \cdot 1 \left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right] = 1 \left[\frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$$

Una dina es la fuerza que aplicada a 1 [g] de masa le imprime una aceleración de 1 $\left[\frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$.

Sistema M. K. S. Unidad: 1 [newton]

$$1\ [\text{newton}] = 1\ [\text{kg}] \cdot 1 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right] = 1 \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{seg}^2}\right]$$

Un newton es la fuerza que aplicada a 1 [kg] de masa le imprime una aceleración de 1 $\left[\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$.

Puesto que: $1 \text{ [kg]} = 1000 \text{ [g]}$

y $1 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right] = 100 \left[\dfrac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$

se tiene que: $1 \text{ [newton]} = 1000 \text{ [g]} \, . \, 100 \left[\dfrac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$

o sea: $\boxed{1 \text{ [newton]} = 100.000 \text{ [dinas]}}$

Sistema Técnico. Unidad: $1 \, [\overrightarrow{\text{kg}}]$.

Esta vez, la a c e l e r a c i ó n no es $1 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$ sino $9{,}806 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$, pues se trata de la aceleración de la gravedad.

Luego: $1 \, [\overrightarrow{\text{kg}}] = 1 \text{ [kg]} \, . \, 9{,}806 \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$

o sea: $\boxed{1 \, [\overrightarrow{\text{kg}}] = 9{,}806 \text{ [newton]}}$

y como: $1 \text{ [newton]} = 100.000 \text{ [dinas]}$,

entonces: $\boxed{1 \, [\overrightarrow{\text{kg}}] = 980.600 \text{ [dinas]}}$

Un $\overrightarrow{kg}$ *es la fuerza que aplicada a* 1 *[kg] de masa le imprime una aceleración de* 9,806 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$.

Además, se emplea el $\overrightarrow{\text{g}}$ que equivale a la milésima parte del $\overrightarrow{\text{kg}}$, esto es:

$$1\ [\overrightarrow{\text{g}}] = 980{,}6\ [\text{dinas}].$$

Sistema	*Sistema* / *unidad*	*C. G. S.* / *dina*	*M. K. S.* / *newton*	*Técnico* / $\overrightarrow{kg}$
C. G. S.	dina	1	0,00001	0,00000102
M. K. S.	newton	100.000	1	0,102
Técnico	$\overrightarrow{\text{kg}}$	980.600	9,806	1

61.– UNIDADES DE MASA.

Las unidades fundamentales de masa, g y kg, ya definidas en el párrafo 15, pertenecen a los sistemas C. G. S. y M. K. S., respectivamente.

En el sistema técnico, la unidad de masa se obtiene en la forma siguiente y a partir de la relación:

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

Como, en este sistema, las unidades de fuerza y aceleración respectivas son 1 $[\overrightarrow{\text{kg}}]$ y 1 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$, se tiene:

$$\text{una unidad técnica de masa} = \frac{1\ [\vec{\text{kg}}]}{1\ \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]}$$

y como: $1\ [\vec{\text{kg}}] = 9{,}806\ [\text{newton}]$

$$\text{resulta:} \quad 1\ [\text{u. t.}]_m = \frac{9{,}806\ [\text{newton}]}{1\ \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]}$$

$$\text{o sea:} \quad 1\ [\text{u. t.}]_m = \frac{9{,}806\ \left[\dfrac{\text{kg}\ .\ \text{m}}{\text{seg}^2}\right]}{1\ \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]}$$

$$\text{de donde:} \quad \boxed{1\ [\text{u. t.}]_m = 9{,}806\ [\text{kg}]}$$

Luego, *una unidad técnica de masa es aquella masa que adquiere la aceleración de* $1\ \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$ *al aplicarle la fuerza de* $1\ [\vec{\text{kg}}]$.

Conocida esta unidad de masa, podemos dar una nueva definición de $\vec{\text{kg}}$:

Un $\vec{\text{kg}}$ *es la fuerza que aplicada a una unidad técnica de masa le imprime una aceleración de* $1\ \left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$.

62.– MASA Y PESO.

Hemos establecido que peso y masa de un cuerpo son conceptos diferentes y, por consiguiente, no deben confundirse.

El principio de las aceleraciones hace todavía más evidentes sus diferencias.

El cuadro siguiente contiene las de mayor importancia:

Masa de un cuerpo	*Peso de un cuerpo*
Concepto: Es el cuociente constante entre la fuerza que actúa sobre el cuerpo y la aceleración que ésta le comunica. Es la medida cuantitativa de su inercia. Es la medida de su cantidad de materia.	*Concepto*: Es la medida de la fuerza con que la tierra atrae a la masa del cuerpo. Es una fuerza.
Fórmula: $\boxed{m = \dfrac{F}{a}}$	Fórmula: $\boxed{\vec{P} = m \cdot g}$
Unidades de medida: C. G. S. 1 [g]; M. K. S. 1 [kg]; Técnico 1 $[\text{u. t.}]_m$	Unidades de medida: C. G. S. 1 [dina]; M. K. S. 1 [newton]; Técnico 1 $[\vec{\text{kg}}]$
Instrumentos de medida: Balanzas	Instrumentos de medida: Dinamómetros
Valor: Constante (excepto en mecánica relativista).	Valor: Variable (su variación depende de la latitud y de su altura sobre el nivel del mar).

Problema 1.

Una fuerza de 30 $\vec{[kg]}$ actúa sobre un cuerpo de 19,6 [kg] de masa. ¿Qué aceleración adquiere el cuerpo?

Solución:

$$m = 19{,}6\ [kg] = \frac{19{,}6}{9{,}8}\ [u.\,t.]_m = 2\ [u.\,t.]_m \qquad a = \frac{F}{m}$$

$$F = 30\ \vec{[kg]}$$

$$a = \frac{30\ \vec{[kg]}}{2\ [u.\,t.]_m}$$

$$a = 15 \left[\frac{m}{seg^2}\right]$$

Respuesta: La aceleración que adquiere el cuerpo es de $15 \left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$.

Problema 2.

¿Qué fuerza se requiere para comunicar a un automóvil que pesa 800 $\vec{kg}$ una aceleración de 2,4 $\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]$?

Solución:

$$\vec{P} = 800\ \vec{[kg]} \qquad \vec{P} = m\,.\,g \quad F = m\,.\,a$$

$$a = 2{,}4 \left[\frac{m}{seg^2}\right] \qquad m = \frac{\vec{P}}{g} \quad F = \frac{\vec{P}\,.\,a}{g}$$

$$F = x$$

$$\vec{F} = \frac{800\,[kg]\,.\,2{,}4\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]}{9{,}8\left[\dfrac{m}{seg^2}\right]}$$

$$\vec{F} = 196\ [kg]$$

Respuesta: Se requiere una fuerza de $\vec{196}$ [kg], aproximadamente.

63.– RELACION ENTRE FUERZA Y MOVIMIENTO.

Consideremos la expresión: $F = m\ .\ a$

Ella nos permite establecer la relación que existe entre la fuerza aplicada a un cuerpo y la aceleración que éste adquiere:

1) Si $F = o$,

entonces: $a = o$

puesto que la masa m no puede ser nula.

Esto significa que la velocidad es constante y entonces pueden darse las dos situaciones siguientes:

a) si $v = o$, el cuerpo está en reposo, y

b) si $v \neq o$, el cuerpo está en movimiento uniforme y rectilíneo.

Pero estas son, evidentemente, las condiciones correspondientes al principio de inercia, de donde resulta que éste es sólo un caso especial del principio de masa o de las aceleraciones.

2) Si $F =$ constante

entonces: $a =$ constante

puesto que m también lo es.

Esto significa que la velocidad varía en una misma cantidad en la unidad de tiempo, resultando, por lo tanto, un movimiento uniformemente acelerado o retardado, según que esta fuerza constante actúe en el mismo sentido o en sentido contrario al movimiento.

Por otra parte, en relación con el tiempo que dura su acción, una fuerza puede ser instantánea o continua, instantánea si actúa sólo durante un lapso muy breve, y continua si lo hace permanentemente, mientras dura el movimiento. Una fuerza continua puede, a su vez, ser constante o variable, según que actúe siempre con el mismo valor o con valores diferentes.

El cuadro siguiente indica, en síntesis, la relación que existe entre los movimientos y las fuerzas que los originan:

a) movimiento rectilíneo y uniforme:
- *fuerza instantánea* (en teoría, actuando sobre un cuerpo libre, o sea, no sujeto a otras fuerzas).
- *fuerza instantánea más una fuerza continua constante para vencer el roce* (en la realidad).

b) movimiento variado: *fuerza continua*
- movimiento uniformemente variado: *fuerza continua constante*
  - acelerado: *fuerza continua constante, en el sentido del movimiento.*
  - retardado: *fuerza continua constante, en sentido contrario al movimiento.*
- movimiento no uniformemente variado: *fuerza continua variable.*

64.– IMPULSO Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

Si consideramos nuevamente la relación:

$$F = m \cdot a$$

y multiplicamos ambos miembros por t, que representa el intervalo de tiempo durante el cual actúa la fuerza F, tenemos:

$$F \cdot t = m \cdot a \cdot t$$

pero: $$a \cdot t = v_f$$

y como v_f es la velocidad del movimiento uniforme con que seguiría el cuerpo después del intervalo t, según el principio de inercia, v_f puede reemplazarse por v, y entonces:

$$\boxed{F \cdot t = m \cdot v}$$

Los productos $F \cdot t$ y $m \cdot v$ reciben los nombres de impulso y cantidad de movimiento, respectivamente.

Impulso de una fuerza constante es el producto de la fuerza por el intervalo de tiempo durante el cual ésta se aplica.

Cantidad de movimiento de un cuerpo es el producto de su masa por su velocidad.

Por lo tanto:

impulso de una fuerza constante = cantidad de movimiento.

Si en la relación:

$$F \cdot t = m \cdot v$$

se hace: $$t = 1 \text{ [seg]}$$

resulta: $$\boxed{F = m \cdot v}$$

fórmula que mide la fuerza instantánea que en 1 seg es capaz de comunicar a un cuerpo de masa m la velocidad v.

65.– PRINCIPIO DE CONSERVACION DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.

Supongamos que un cuerpo de masa m actúa sobre otro de masa m' con una fuerza F durante un intervalo de tiempo t. Este reacciona aplicando sobre el primero una fuerza F' igual a F, pero de sentido contrario.

Entonces, los impulsos comunicados por ambas fuerzas son iguales, y también de sentido contrario, o sea:

$$F' \, t = - F \, t$$

Pero: $$F' \, t = m \, . \, v$$

y $$F \, t = m' \, . \, v'$$

Luego: $$m \, . \, v = - m' \, . \, v'$$

de donde: $$\boxed{m \, . \, v + m' \, . \, v' = o}$$

Esto nos indica que, en el sistema formado por los dos cuerpos considerados, la cantidad de movimiento permanece constante.

De un modo general, podemos afirmar que:

> *La cantidad de movimiento total de un sistema sólo puede modificarse por fuerzas exteriores que actúen sobre el sistema, es decir, la cantidad de movimiento de un sistema aislado es constante en magnitud y sentido.*

Esta afirmación constituye *el principio de la conservación de la cantidad de movimiento* y es una de las leyes más importantes de la mecánica.

Problema.

Un proyectil de 40 [g] es lanzado con una velocidad de $450 \left[\frac{m}{seg}\right]$. ¿Cuál es la fuerza que lo impulsa si actúa durante $\frac{1}{100}$ [seg] y se la supone constante?

Solución:

$m = 40$ [g]

$v = 450 \left[\frac{m}{seg}\right]$

$t = 0{,}01$ [seg]

$F = x$

$F \cdot t = m \cdot v$

$$F = \frac{m\,v}{t}$$

$$F = \frac{40\,[g] \cdot 45000 \left[\frac{cm}{seg}\right]}{0{,}01\,[seg]}$$

$F = 180.000.000$ [dinas]

$F = 1800$ [newton]

$F = 183{,}6\ [\vec{kg}]$

Respuesta: La fuerza que impulsa el proyectil es de $183{,}6\ [\vec{kg}]$.

66.– LEY DE LA GRAVITACION UNIVERSAL.

En párrafos anteriores hemos establecido que la tierra atrae hacia su centro a todos los cuerpos que se encuentran en su superficie, o por sobre ella, con una fuerza que hemos llamado fuerza de gravedad.

Hemos visto también cómo la aceleración de la gravedad, que esta fuerza comunica a los cuerpos que caen, varía con la latitud y con la altura.

Pues bien, esta propiedad gravitacional no es exclusiva de la tierra, sino que la presentan también el sol, la luna, las estrellas y en general todos los cuerpos.

¿De qué factores depende esta atracción gravitacional?

En primer lugar, la disminución de la aceleración de la gravedad y del peso de los cuerpos a medida que aumenta la altura sobre la superficie terrestre, nos indica que la atracción gravitacional disminuye cuando aumenta la distancia que separa al cuerpo del centro de la tierra. Midiendo la aceleración de la gravedad a diversas alturas se ha logrado establecer que *la fuerza con que la tierra atrae a los cuerpos es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa de su centro.*

En segundo término, nuestra experiencia nos enseña que al levantar cuerpos diferentes debemos desplegar mayor esfuerzo mientras mayor es su masa. Esto es, *la tierra atrae a los cuerpos con una fuerza que es directamente proporcional a su masa.*

Pero, por el principio de acción y reacción, sabemos que si la tierra atrae a los cuerpos con una determinada fuerza, estos atraen también a la tierra con una fuerza igual y contraria.

Luego, si la atracción es mutua, la fuerza con que se atraen dos cuerpos es directamente proporcional al producto de sus masas.

Las conclusiones anteriores, reunidas en una sola, constituyen la llamada *ley de la gravitación universal*, que fuera ya establecida en 1682 por Isaac Newton.

Puede enunciarse en los términos siguientes:

> *Todos los cuerpos del universo se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separan.*

Esta ley es aplicable a cuerpos cuyas dimensiones son muy pequeñas en comparación con las distancias que los separan, de modo que cuando se trata de cuerpos de grandes dimensiones, se conviene en considerar sus masas concentradas en sus centros respectivos, midiendo entre ellos las distancias.

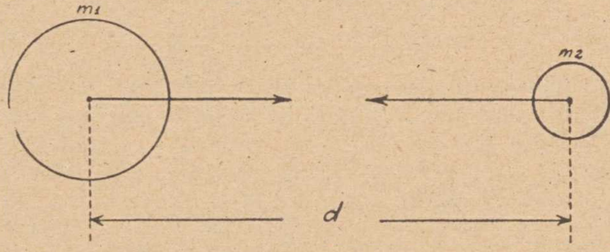


Fig. 76.– Factores de la gravitación universal.

Así, si m_1 y m_2 son las masas de dos cuerpos y d la distancia que los separa, entonces:

$$F \text{ es proporcional a } \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Esta proporcionalidad se convierte en igualdad multiplicando por una constante, llamada constante de la gravitación universal y que se designa por G.

Luego: $$\boxed{F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}}$$

El valor numérico de G depende de las unidades que se empleen para medir la fuerza, las masas y la distancia.

G representa la atracción recíproca entre las unidades de masa colocadas a la unidad de distancia, correspondientes a un mismo sistema.

Experimentalmente se obtiene midiendo la fuerza de atracción gravitacional entre dos cuerpos de masas dadas situadas a una distancia conocida.

En el sistema C. G. S., su valor es:

$$G = 0{,}000\,000\,0667 \left[\frac{\text{dina} \,.\, \text{cm}^2}{\text{g}^2}\right]$$

lo que significa que dos masas de 1 [g] cada una, separadas por la distancia de 1 [cm], se atraen con la fuerza de 0,000 000 0667 [dinas].

En el sistema M. K. S.,

$$G = 6{,}\ 67 \,.\, 10^{-11} \left[\frac{\text{newton} \,.\, \text{m}^2}{\text{kg}^2}\right]$$

La importancia de la ley de la gravitación universal es tal, que sin ella sería imposible explicarse el equilibrio del sistema planetario solar y del universo en general.

SINTESIS

Principios de Newton:	*De inercia:*	Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo a menos que sobre él actúe una fuerza exterior que lo obligue a cambiar dicho estado.
	De masa o de las aceleraciones:	La aceleración que adquiere un cuerpo bajo la acción de una fuerza es directamente proporcional a la intensidad de la fuerza, inversamente proporcional a la masa del cuerpo y se produce en la dirección y sentido en que actúa la fuerza. $\boxed{a = \dfrac{F}{m}}$; $\boxed{F = m \cdot a}$; $\boxed{m = \dfrac{F}{a}}$
	De acción y reacción:	Si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido contrario.

Fuerza y su relación con los movimientos:

- *Instantánea*: movimiento uniforme y rectilíneo (teórico).
- *Continua: mov. variado*
  - Constante:
    - En el sentido del movimiento: movimiento uniformemente acelerado.
    - En sentido contrario al movimiento: movimiento uniformemente retardado.
  - Movimiento uniformemente variado.
  - Variable: movimiento arbitrario.

Impulso y cantidad de movimiento:

$$\boxed{F\,t = m\,v}$$

impulso de una fuerza constante = cantidad de movimiento

Principio de la conservación de la cantidad de movimiento: La cantidad de movimiento de un sistema aislado es constante en magnitud y sentido.

Ley de la Gravitación Universal:

Todos los cuerpos del universo se atraen con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de las distancias que los separan.

Fórmula: $$\boxed{F = G\,\frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}}$$

CUESTIONARIO

1.– Defina o explique los conceptos siguientes:

a) inercia
b) masa
c) peso
d) dina
e) newton
f) unidad técnica de masa
g) cantidad de movimiento
h) impulso.

2.– Enuncie los principios y leyes siguientes:

a) Principio de inercia.
b) Principio de masa o de las aceleraciones.
c) Principio de acción y reacción.
d) Principio de conservación de la cantidad de movimiento.
e) Ley de la gravitación universal.

3.– Indique de qué factores depende:

a) la aceleración de un cuerpo en movimiento
b) la fuerza de atracción gravitacional
c) la cantidad de movimiento de un cuerpo.

4.– ¿Qué hacemos realmente cuando pesamos un cuerpo con una balanza?

5.– ¿Qué mide el dinamómetro? (Bachillerato, marzo 1959).

6.– ¿Qué diferencias existen entre el peso de un cuerpo y su masa?

7.– ¿En qué condiciones el número que expresa el peso de un cuerpo en kg expresa también su masa en kg?

8.– ¿Qué relación existe entre la fuerza y el movimiento que origina?

9.– ¿Por qué cuando un cuerpo cae sólo apreciamos su movimiento y no el de la tierra?

10.– Explique qué significa que la constante de gravitación universal sea $6{,}67 \cdot 10^{-11} \dfrac{\text{newton} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

11.– ¿A qué distancia de la superficie de la tierra el peso de un cuerpo se reduce a la cuarta parte? ¿Por qué?

12.– Indique ejemplos de inercia de cuerpos en reposo y en movimiento.

13.— ¿El principio de inercia tiene relación con la velocidad, la fuerza o el trabajo? ¿Por qué? (Bachillerato, marzo 1959).

14.— ¿Cómo cae una persona que resbala sobre una cáscara de plátano? ¿Cómo cae una persona que tropieza con una piedra? ¿Por qué? (Bachillerato, marzo 1959).

15.— ¿Qué concepto de la Física está condensado en la expresión $\dfrac{F}{a}$? Defínalo. (Bachillerato, marzo 1959).

16.— ¿Qué ley explica que en un polo terrestre la aceleración de la gravedad sea mayor que en el ecuador? (Bachillerato, marzo 1959).

PROBLEMAS

1.— La aceleración de la gravedad de la luna es aproximadamente $\dfrac{1}{6}$ de la de la tierra. Calcule el peso de una persona en la luna, si en la tierra pesa 72 $\overrightarrow{\text{kg}}$.

R: 12 $\overrightarrow{\text{kg}}$

2.— Calcule el peso de una persona cuya masa es de 60 kg, en los polos y en el ecuador.

R: 60,16 $\overrightarrow{\text{kg}}$; 59,85 $\overrightarrow{\text{kg}}$

3.— ¿Qué aceleración comunica una fuerza de 5.000 dinas a una masa de 250 g? ¿Qué camino recorre el cuerpo en 12 seg?

R: 20 $\left[\dfrac{\text{cm}}{\text{seg}^2}\right]$; 14,4 m

4.— ¿Qué aceleración adquiere un móvil de 500 $[\text{u. t.}]_m$ al aplicarle una fuerza de 5.000 newton?

R: 1,02 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$

5.– ¿Cuánto tiempo debe actuar una fuerza de 450 $\vec{\text{kg}}$ sobre un cuerpo de 900 kg para darle una velocidad de 20 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right]$?

R: 4 seg

6.– ¿Qué velocidad alcanza un cuerpo de 1 kg, si sobre él actúa durante 1 minuto una fuerza de 1 $\vec{\text{kg}}$?

R: 588 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right]$

7.– Un tren de 100 ton que corre a una velocidad de 54 $\dfrac{\text{km}}{\text{h}}$ frena y se detiene en un minuto 15 segundos. ¿Cuál es la fuerza de los frenos, si se la supone constante? Calcule en newton y $\vec{\text{kg}}$.

R: 20 000 newton $=$ 2.040 $\vec{\text{kg}}$

8.– Una fuerza de 4,9 newton actúa sobre una masa de 1 [u. t.], durante 20 seg. Calcule la velocidad alcanzada y el camino recorrido en ese intervalo.

R: 10 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}}\right]$; 100 m

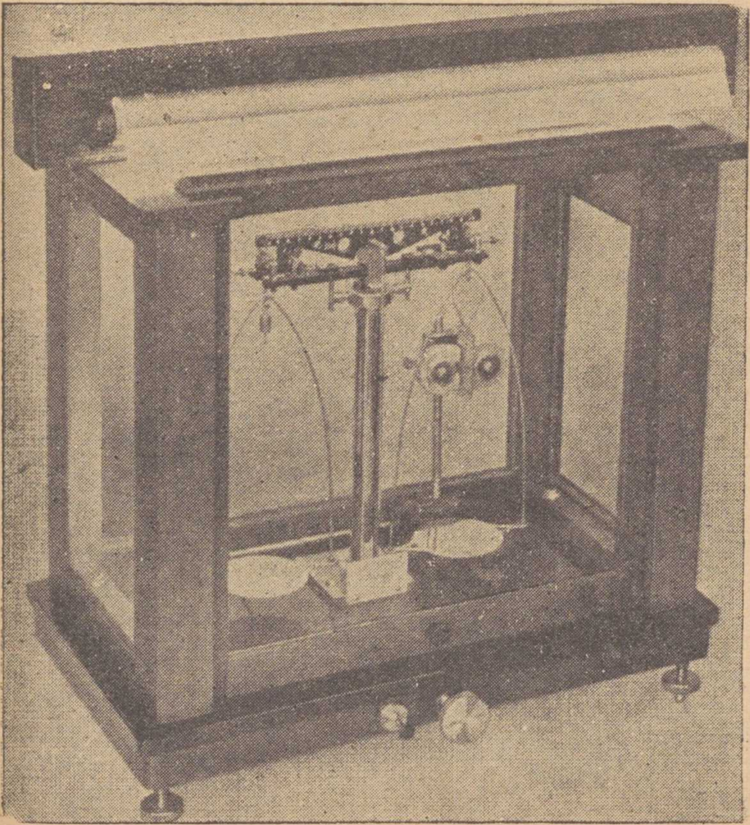
9.– Una fuerza de 500 $\vec{\text{kg}}$ actúa sobre un cuerpo que pesa 1.500 $\vec{\text{kg}}$. ¿Qué aceleración recibe el cuerpo en la dirección de la fuerza?

R: 3,26 $\left[\dfrac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right]$

10.– ¿Cuál es el peso de un cuerpo si una fuerza continua de 16 $\vec{\text{kg}}$ le hace recorrer 400 m en 20 seg?

R: 78,4 $\vec{\text{kg}}$.

5ª UNIDAD Fuerza y Equilibrio



Sumario.– Capítulo I.– COMPOSICION Y DESCOMPOSICION DE FUERZAS.

67.–Componer un sistema de fuerzas. 68.– Fuerzas con el mismo punto de aplicación e igual dirección. 69.– Fuerzas con el mismo punto de aplicación y distinta dirección. 70.– Fuerzas con distinto punto de aplicación y distinta dirección. 71.– Fuerzas con distinto punto de aplicación e igual dirección. 72.– Pareja de fuerzas o cupla. 73.– Descomponer una fuerza. Síntesis. Cuestionario. Problemas.

Capítulo II.– EQUILIBRIO Y ESTABILIDAD.

74.– Momento de una fuerza. 75.– Composición de momentos estáticos. 76.– Momento de una cupla. 77.– Equilibrio de los cuerpos. 78.– Tipos de equilibrio. 79.– Formas de conseguir equilibrio. 80.– Estabilidad. 81.– Equilibrio de los cuerpos flotantes. Síntesis. Cuestionario. Problemas.

STEVIN (1548-1620). *VARIGNON* (1654-1722).

Al flamenco Simón Stevin se debe el descubrimiento de la ley que ahora llamamos "paralelógramo de las fuerzas". También se le atribuye la relación que rige entre las fuerzas y las distancias entre sus puntos de aplicación, tanto para la composición como para la descomposición de fuerzas paralelas, o sea, $F_1.a = F_2.b$.

Sin embargo, fue Varignon el primero que logró dar al teorema del paralelógramo de las fuerzas su verdadero significado. De igual modo, pertenece a Varignon la mayoría de los teoremas y consideraciones que componen actualmente los tratados elementales de estática.

Varignon funda toda la estática sobre bases dinámicas, ella es para él un caso particular de la dinámica.

CAPITULO I

COMPOSICION Y DESCOMPOSICION DE FUERZAS

67.– COMPONER UN SISTEMA DE FUERZAS.

Un conjunto de varias fuerzas que actúan sobre un mismo cuerpo constituye un *sistema de fuerzas.*

Siempre es posible reemplazar un sistema por una sola fuerza cuyo efecto sea equivalente al afecto del sistema. Esa fuerza se denomina resultante y su determinación gráfica se llama composición de las fuerzas del sistema.

Componer un sistema de fuerzas es ***determinar su resultante****, es decir, aquella fuerza cuyo efecto* ***equivale*** *al efecto del sistema.*

Para hacerlo, es necesario recordar que las características que permiten representar gráficamente una fuerza son: 1) intensidad, 2) dirección, 3) sentido y 4) punto de aplicación.

De acuerdo con ellas, los diversos sistemas pueden agruparse en la forma siguiente:

a) Fuerzas con el mismo punto de aplicación e igual dirección, es decir, con una misma línea de acción.
b) Fuerzas con el mismo punto de aplicación y distinta dirección (fuerzas que forman ángulo).
c) Fuerzas con distinto punto de aplicación y distinta dirección (también forman ángulo).

d) Fuerzas con distinto punto de aplicación e igual dirección (fuerzas paralelas).

Analizaremos cada caso en particular, tomando en consideración sólo fuerzas coplanarias.

68.– FUERZAS CON EL MISMO PUNTO DE APLICACION E IGUAL DIRECCION.

Pueden presentarse los dos casos que indica la figura 77, según el sentido.

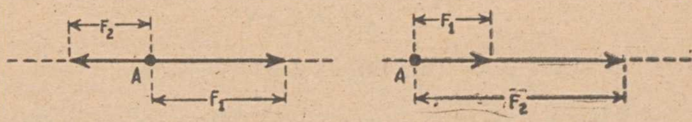


Fig. 77.– Dos fuerzas con el mismo punto de aplicación e igual dirección pueden tener igual o distinto sentido.

Características de la resultante:

	a) con distinto sentido	b) con el mismo sentido
Intensidad:	$R = F_1 - F_2$ (dif. comp.)	$R = F_1 + F_2$ (suma comp.)
Dirección:	la del sistema.	la del sistema.
Sentido:	de la fuerza mayor.	el de las componentes.
Punto de aplicación:	el del sistema.	el del sistema.

Combinando ambos casos, tenemos lo que indica la Fig. 78:

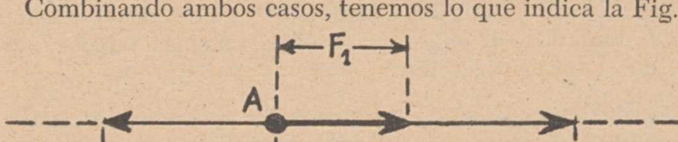


Fig. 78.– Sistema de fuerzas con el mismo punto de aplicación e igual dirección.

Característica de la resultante:

Intensidad:	$R = F_1 + F_2 - F_3$
Dirección:	la del sistema.
Sentido:	según el signo de la suma algebraica.
Punto de aplicación:	el del sistema.

Luego, en general:

> *La resultante de un sistema de fuerzas con el mismo punto de aplicación e igual dirección equivale a la suma algebraica de las componentes del sistema.*

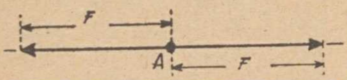


Fig. 79.– Dos fuerzas de igual intensidad y de sentido contrario se anulan, si tienen una misma línea de acción.

Un caso especial importante es aquel sistema formado por dos fuerzas de distinto sentido y de igual intensidad.

La resultante es nula, lo que significa que tal sistema, aplicado sobre un cuerpo, no produce efecto alguno, es decir, el cuerpo permanece en equilibrio.

> *Dos fuerzas de igual intensidad y de sentido contrario se equilibran, si tienen una misma línea de acción.*

Igual efecto puede producir cualquier sistema cuya resultante sea nula.

69.– FUERZAS CON EL MISMO PUNTO DE APLICACION Y DISTINTA DIRECCION.

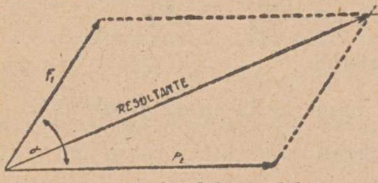


Fig. 80.– Regla del paralelógramo de las fuerzas.

Consideremos primero un sistema de dos fuerzas, que forman un ángulo ∝ cualquiera.

Un ejemplo claro lo tenemos en el caso de un nadador que cruza un río.

> *La resultante de un sistema de dos fuerzas que forman un ángulo equivale, en intensidad, dirección y sentido, a la diagonal del paralelógramo cuyos lados son las fuerzas del sistema.*

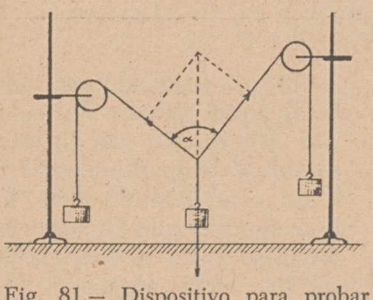


Fig. 81.– Dispositivo para probar la regla del paralelógramo.

La regla del paralelógramo puede verificarse experimentalmente por medio de un dispositivo como el que indica la figura 81. ¿Cómo procedería?

Consideremos a h o r a un sistema de varias fuerzas. Para obtener la resultante podemos proceder en dos formas: a) aplicando en forma sucesiva la regla del paralelógramo y b) aplicando la regla del *polígono de las fuerzas.*

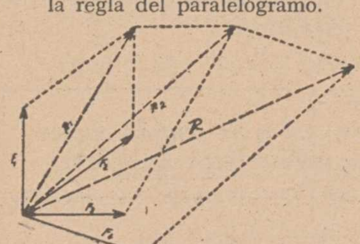


Fig. 82.– Aplicación sucesiva de la regla del paralelógramo.

Aplicación sucesiva de la regla del paralelógramo.

F_1 y F_2 dan R_1
R_1 y F_3 dan R_2
R_2 y F_4 dan R

Regla del polígono de las fuerzas.

Se trazan:

B C paralela e igual a F_2
C D paralela e igual a F_3
D E paralela e igual a F_4

y se tiene:

$$A\,E = R$$

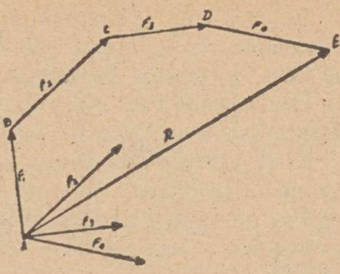


Fig. 83.– Regla del polígono de las fuerzas.

Puede observarse claramente la ventaja del segundo procedimiento, pues hace innecesarios los trazados de los paralelógramos y sus correspondientes diagonales.

70.– FUERZAS CON DISTINTO PUNTO DE APLICACION Y DISTINTA DIRECCION.

Son fuerzas cuyas líneas de acción forman ángulo, por lo cual se las llama también *fuerzas concurrentes*.

Toda fuerza puede trasladarse a lo largo de su línea de acción sin que varíe su efecto. En consecuencia, un sistema de dos fuerzas con distinto punto de aplicación y distinta dirección, puede transformarse en un sistema de fuerzas con el mismo punto de aplicación y distinta dirección. Su resultante se obtiene, entonces, mediante la regla del paralelógramo.

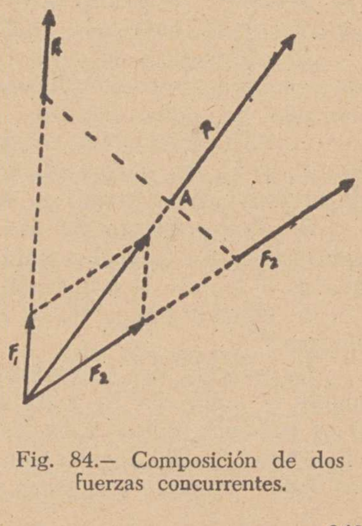


Fig. 84.– Composición de dos fuerzas concurrentes.

El punto de aplicación real de la resultante, se fija por la intersección de la línea de acción de la resultante con el trazo que une los puntos de aplicación de las componentes.

Determinado el punto de aplicación, basta trasladar la resultante sobre su línea de acción hasta dicho punto.

Si el sistema está formado por más de dos fuerzas, se determina la resultante entre dos de ellas, en la forma indicada, luego se procede a componer la tercera con la resultante parcial ya obtenida y así, sucesivamente, hasta conseguir la resultante final.

71.– FUERZAS CON DISTINTO PUNTO DE APLICACION E IGUAL DIRECCION.

Se trata de fuerzas paralelas, las que pueden tener el mismo o distinto sentido.

a) *Con el mismo sentido.*

Para determinar la resultante de un sistema de dos fuerzas paralelas del mismo sentido, procedamos en la forma siguiente, de acuerdo con la Fig. 85.

1) Apliquemos en A_1 y A_2, sobre la recta $A_1 A_2$, las fuerzas iguales y contrarias F_a, que no alteran el efecto del sistema, pues se anulan entre sí.

2) Obtengamos las resultantes parciales R_1 y R_2 entre F_1, F_a y F_2, F_a, respectivamente, y prolonguemos sus líneas de acción hasta cortarse en A_a.

3) Tracemos por A_a una paralela a las fuerzas componentes F_1 y F_2, la cual cortará a la recta $A_1 A_2$ en el punto A, que es el punto de aplicación de la resultante del sistema.

4) Hagamos $R = F_1 + F_2$ y tendremos la resultante del sistema.

La validez del procedimiento indicado se prueba fácilmente si, junto con R_1 y R_2 se trasladan hasta A_a los respectivos paralelógramos. Se verá entonces que F_1 y F_2 forman un sistema de dos fuerzas con igual dirección y sentido, cuya resultante equivale a la suma de las componentes.

¿A qué distancia de los puntos de aplicación de las componentes se encuentra el punto de aplicación de la resultante?

Para determinarla, empleemos una barra rígida, apoyada por su punto medio, como indica la figura 86.

Si colgamos dos pesas iguales, una a cada lado, es obvio que la barra estará en equilibrio sólo si ambas quedan a igual distancia del punto medio A.

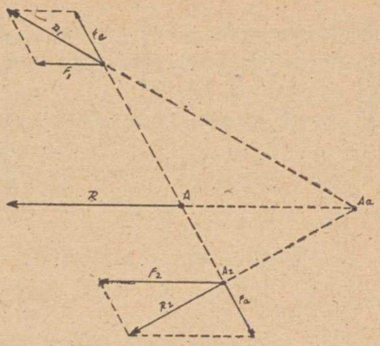


Fig. 85.– Composición de dos fuerzas paralelas de igual sentido.

Si ponemos dos pesas en un lado y queremos equilibrarlas con una sola, ésta deberemos colocarla a doble distancia del eje.

Si ponemos 3 pesas a un lado, para equilibrarlas con una sola, deberemos colocarla a triple distancia; si 4, a cuádruple distancia, etc.

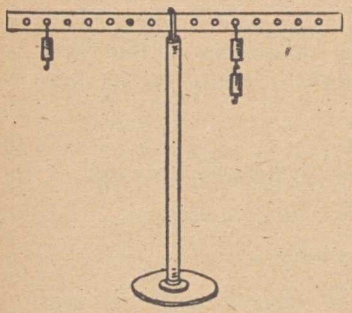


Fig. 86.– Dispositivo para probar que $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$

Pongamos ahora 3 pesas a una distancia de 6 cm del eje y equilibremos con 2 pesas: deberemos colocarlas a 9 cm.

Todo esto evidencia que a mayor peso menor distancia al eje y viceversa, es decir, que las distancias son inversamente proporcionales a las fuerzas.

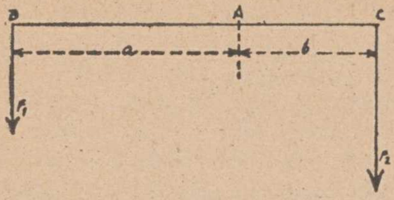


Fig. 87.– $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$

Esto significa que los productos de las fuerzas por sus respectivas distancias al eje son iguales.

Entonces, representando en la forma que indica la figura 87.

tenemos:

$$F_1 \cdot BA = F_2 \cdot AC$$

o bien:

$$\boxed{F_1 \cdot a = F_2 \cdot b}$$

Por otra parte, usando un dinamómetro en lugar del soporte, podemos fácilmente verificar: 1) que A es el punto de aplicación de la resultante y 2) que R equivale a la suma de las componentes.

En síntesis, la resultante de un sistema de dos fuerzas paralelas con el mismo sentido presenta las siguientes características:

Intensidad: *igual a la suma de las componentes.*

Dirección: *igual a la de las componentes.*

Sentido: *el mismo que las componentes.*

Punto de aplicación: *ubicado sobre la recta que une los puntos de aplicación de las componentes y de tal modo que* $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$

b) *Con distinto sentido.*

Para determinar la resultante de un sistema de dos fuerzas paralelas, de sentido contrario, podemos proceder como en el caso precedente, pero aplicando las fuerzas auxiliares F_a, iguales y contrarias, hacia el interior, sobre la recta A_1 A_2.

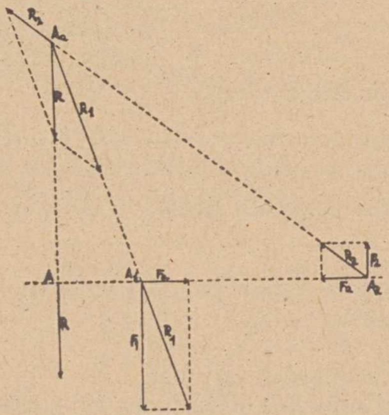


Fig. 88.— Composición de dos fuerzas paralelas de sentido contrario.

Fácil es, entonces, observar que esta resultante tiene las características siguientes:

Intensidad: igual a la diferencia de las componentes.
Dirección: igual a la de las componentes.
Sentido: igual al de la componente mayor.
Punto de aplicación: ubicado sobre la prolongación de la recta que une los puntos de aplicación de las componentes y de tal modo que también se verifica que $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$

La validez del procedimiento indicado se prueba trasladando hasta A_a las resultantes parciales R_1 y R_2 con sus respectivos paralelógramos.

72.– PAREJA DE FUERZAS O CUPLA.

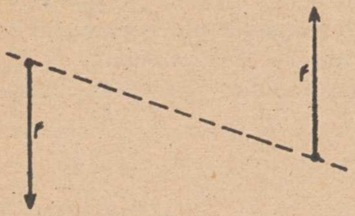


Fig. 89.– Pareja de fuerzas o cupla.

Un caso especial de gran importancia de sistema de dos fuerzas paralelas, de sentido contrario, es aquel en que las fuerzas son de igual intensidad. El sistema se denomina entonces, *par, pareja o cupla.*

> *Se denomina cupla o par de fuerzas a un sistema de dos fuerzas paralelas, iguales y de sentido contrario.*

Si se procede a determinar la resultante, en la forma ya descrita, se observa:

a) Que su intensidad es nula.
b) Que es imposible determinar su punto de aplicación, lo que se expresa diciendo que éste se encuentra infinitamente alejado del sistema.

Esto significa que no existe ninguna fuerza cuyo efecto sea equivalente al efecto de una cupla.

Una cupla puede, sin embargo, ser anulada mediante otra cupla.

Ejemplos de cuplas: las que se aplican para hacer girar una llave de agua, un tirabuzón, un destornillador, etc.

73.– DESCOMPONER UNA FUERZA.

Descomponer una fuerza dada, es determinar un sistema de dos o más fuerzas cuyo efecto sea equivalente al efecto de la fuerza dada.

Es esta la operación inversa de la composición y tiene gran importancia en el estudio de aquellos casos en que se aplica una fuerza a un cuerpo para moverlo en una dirección distinta de la que corresponde a la fuerza.

De los diversos casos que pueden presentarse, sólo analizaremos los siguientes:

a) *Descomponer una fuerza en otras dos que forman un ángulo.*

Se recurre a la regla del paralelógramo, cuya aplicación exige que se conozcan, además de la diagonal, que es la fuerza dada, dos características relativas a las componentes, por ejemplo:

1) intensidad y dirección de una de las componentes.
2) intensidad de ambas componentes, y
3) dirección de ambas componentes.

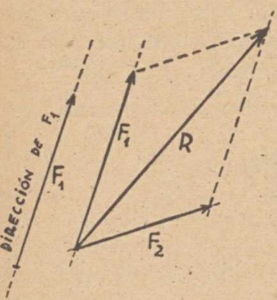


Fig. 90.— Descomponer una fuerza en otras dos, conociendo la intensidad y dirección de una de ellas.

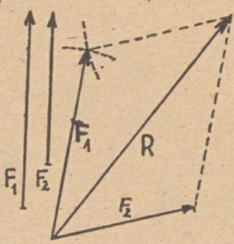


Fig. 91.— Descomponer una fuerza en otras dos de intensidad conocida.

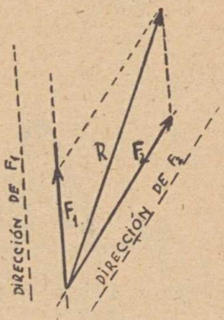


Fig. 92.— Descomponer una fuerza en otras dos de dirección dada.

Las figuras anteriores, indican, respectivamente, cómo debe procederse para resolver cada caso. Analice detenidamente cada resolución y practíquela.

Ejercicios:

Las figuras que van a continuación indican diversos casos prácticos de descomposición de fuerzas. Estúdielos, y conteste las preguntas que siguen:

Descomposición del peso de un cuerpo en un plano inclinado.

1) ¿Qué papel desempeñan las componentes F_1 y F_2, del peso $\vec{P}$?
2) Si se quiere subir el cuerpo, ¿cuál de esas fuerzas deberá vencerse?

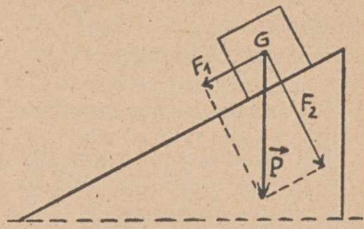


Fig. 93.– Descomposición del peso de un cuerpo en un plano inclinado.

Descomposición de la fuerza del timón de un bote.

1) ¿Qué papel desempeñan F_1 y F_2?
2) ¿Hacia qué lado deberá girar el timón si se desea virar el bote hacia la izquierda? ¿Por qué?

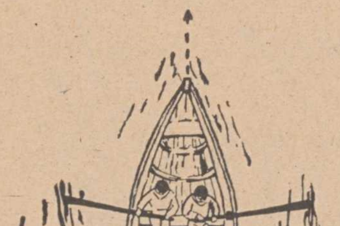


Fig. 94.– Descomposición de la fuerza del timón de un bote.

Fig. 95.– Descomposición del peso de una puerta.

Descomposición del peso de una puerta.

1) ¿Qué papel desempeñan F_1 y F_2?
2) ¿Cuál de las bisagras resiste mayor peso?
3) ¿Cómo se elimina en los edificios de gran afluencia de público el problema de las bisagras en las puertas?

Descomposición de la fuerza que se aplica para accionar un rodillo.

1) ¿Qué papel desempeñan F_1 y F_2?
2) ¿En qué caso la fuerza R aplicada rendirá el máximo? ¿Por qué?

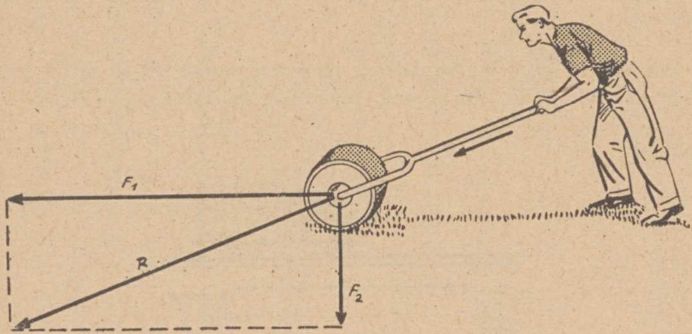


Fig. 96.– Descomposición de la fuerza aplicada para empujar un rodillo.

Descomposición del peso del techo de una casa.

1) ¿Qué papel desempeñan F_1 y F_2?

2) ¿Qué efecto tienden a producir las componentes de F_1 y F_2?

3) ¿Qué utilidad presta la viga A B?

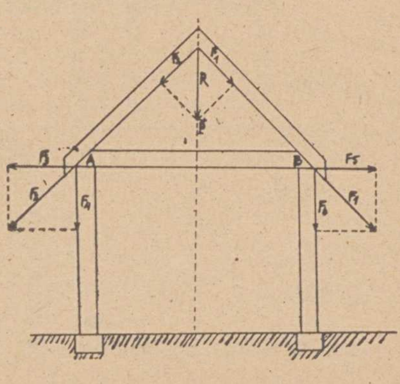


Fig. 97.– Descomposisión del peso del techo de una casa.

b) *Descomponer una fuerza en otras dos paralelas a ella.*

Basta recordarse del caso inverso, para establecer que tales componentes deberán cumplir las siguientes condiciones:

1) suma equivalente a la fuerza dada.
2) puntos de aplicación ubicados de modo que los productos de cada componente por su respectiva distancia al punto de aplicación de la fuerza dada, sean iguales. Esto es, deberá cumplirse la relación:
$F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$

Problema.

Un camión de 4 $\overrightarrow{\text{ton}}$ se detiene sobre un puente de 20 m de largo, a 5 m de uno de los dos pilares. ¿Cuánto peso resiste cada pilar?

Solución:

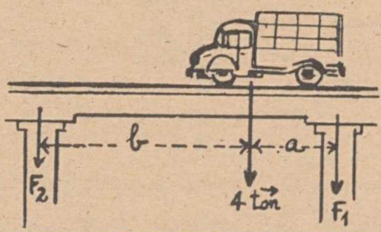


Fig. 98.– Cada pilar resiste una parte del peso.

$R = 4000\ \overrightarrow{\text{kg}}$	$F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$
$a = 5$ m	$x \cdot 5 = (4000 - x) \cdot 15$
$b = 15$ m	$5x = 60000 - 15x$
$F_1 = x$	$20x = 60000$
$F_2 = 4000 - x$	$x = 3000\ \overrightarrow{\text{kg}}$

Respuesta: $F_1 = 3000\ \overrightarrow{\text{kg}}$ y $F_2 = 1000\ \overrightarrow{\text{kg}}$.

Composición de fuerzas:

- Sistema de fuerzas: conjunto de varias fuerzas que actúan sobre un mismo cuerpo.
- Resultante de un sistema: es una fuerza cuyo efecto equivale al efecto del sistema.
- Componer un sistema: es determinar su resultante.
- *Sistemas de fuerzas y sus resultantes:*
  - a) Fuerzas con el mismo punto de aplicación e igual dirección.

    Resultante: equivale a la suma algebraica de las componentes.
  - b) Fuerzas con el mismo punto de aplicación y distinta dirección (forman ángulo).

    Resultante: se determina por la regla del paralelógramo o del polígono de las fuerzas.
  - c) Fuerzas con distinto punto de aplicación y distinta dirección.

    Resultante: se obtiene por la regla del paralelógramo, previa reducción del sistema al caso anterior, trasladando las componentes sobre su dirección.
  - d) Fuerzas paralelas:
    - a) de igual sentido.

      Resultante: 1) igual a la suma de las componentes, 2) dirección y sentido de las com-

Composición de fuerzas:

- *Sistemas de fuerzas y sus resultantes:*
  - d) Fuerzas paralelas
    - ponentes y 3) punto de aplicación sobre la recta que une los puntos de aplicación de las componentes, de modo que:

      $F_1 \,.\, a = F_2 \,.\, b.$
    - b) con distinto sentido.

      Resultante: 1) igual a la diferencia de las componentes, 2) dirección de las componentes, 3) sentido de la componente mayor y 4) punto de aplicación sobre la prolongación de la recta que une los puntos de aplicación de las componentes, de modo que:

      $F_1 \,.\, a = F_2 \,.\, b.$
    - Cupla: sistema de dos fuerzas paralelas, iguales y de sentido contrario.

Descomposición de una fuerza:

- Descomponer una fuerza dada: es determinar un sistema de dos o más fuerzas cuyo efecto sea equivalente al efecto de la fuerza dada.
- a) En un sistema de dos fuerzas que forman ángulo. Resolución: por medio de la regla del paralelógramo. Deben conocerse, además de la fuerza dada, dos características relativas a las componentes.
- b) En un sistema de dos fuerzas paralelas:
  las componentes deberán cumplir las condiciones:

  1) $F_1 + F_2 = R$
  2) $F_1 \,.\, a = F_2 \,.\, b$

CUESTIONARIO

1.– Defina o explique los conceptos siguientes:

a) sistema de fuerzas.
b) fuerzas concurrentes.
c) cupla.
d) descomponer una fuerza.

2.– ¿Qué se entiende por resultante de un sistema de fuerzas? (Bachillerato, enero 1959).

3.– Indique cómo se determina la resultante de un sistema:

a) formado por dos fuerzas paralelas de igual sentido.
b) formado por dos fuerzas paralelas de distinto sentido.
c) formado por dos fuerzas concurrentes.

4.– Indique las características de la resultante de un sistema:

a) de dos fuerzas paralelas de igual sentido.
b) de dos fuerzas paralelas de distinto sentido.
c) de dos fuerzas que forman ángulo.

5.– En qué caso es máxima y en cuál es mínima la resultante de dos fuerzas de distinta magnitud y concurrentes? Dé valores a las respectivas resultantes en relación con las componentes. (Bachillerato, marzo 1959).

6.– ¿Qué importancia tiene la composición de fuerzas? Indique sus aplicaciones más destacadas.

7.– ¿De cuántas maneras puede descomponerse una fuerza?

8.– Indique 3 ejemplos de descomposición de fuerzas.

PROBLEMAS

1.– Determine gráficamente la resultante de un sistema de dos fuerzas de 4 y 6 $\overrightarrow{kg}$ que forman un ángulo de 45°.

2.– Calcule la resultante de un sistema de dos fuerzas iguales que forman un ángulo de 120°.

3.– Dos fuerzas paralelas de 7 y 13 $\overrightarrow{kg}$ actúan en los extremos de una barra de un metro de largo. Calcule la resultante y la posición de su punto de aplicación, si: a) las fuerzas tienen igual sentido, b) las fuerzas tienen distinto sentido.

R: a) 20 $\overrightarrow{\text{kg}}$; 35 cm de la componente mayor.

b) 6 $\overrightarrow{\text{kg}}$; $116\frac{2}{3}$ cm de la componente mayor.

4.— ¿Qué fuerza soporta cada uno de los dos cables que sostienen una lámpara de 10 $\overrightarrow{\text{kg}}$, si forman con la horizontal un ángulo de 30°?

R: 10 $\overrightarrow{\text{kg}}$.

5.— Descomponer una fuerza de 80 $\overrightarrow{\text{kg}}$ en un sistema de dos fuerzas paralelas de igual sentido, que actúen a 15 y 33 cm respectivamente de la fuerza dada.

R: 25 $\overrightarrow{\text{kg}}$ y 55 $\overrightarrow{\text{kg}}$.

CAPITULO II

EQUILIBRIO Y ESTABILIDAD

74.– MOMENTO DE UNA FUERZA O TORQUE

Ya hemos podido observar que el efecto que una fuerza produce sobre un cuerpo (movimiento, presión, deformación, etc.) no sólo depende de su intensidad y dirección, sino también de la *posición de su línea de acción.*

Para fijar la posición de esta línea de acción de una fuerza, es necesario tomar algún punto de referencia, de modo que ella estará determinada cuando se conozcan la dirección de la fuerza y la distancia de dicho punto a su línea de acción.

Aquí nos interesará especialmente estudiar esta situación con respecto a los cuerpos que pueden girar en torno de algún eje.

Por ejemplo: una llave de agua, un tirabuzón, una rueda, una puerta (muy comunes son las puertas con eje central, sin goznes), etc.

En todos estos casos, el punto de referencia será el eje en torno del cual pueden girar tales cuerpos.

Para una mejor comprensión, será necesario aclarar que las fuerzas que actúan sobre tales cuerpos deberán ser coplanarias y su plano de acción, perpendicular al eje de rotación.

En tales condiciones, la distancia del punto de referencia o eje a la dirección de la fuerza se denomina *brazo de la fuerza.*

Lo designaremos por b. Así, en la figura 100, la posición de la línea de acción de la fuerza F está determinada por su dirección AB y por su brazo E B = b.

Brazo de una fuerza respecto de un punto es la distancia de dicho punto a la línea de acción de la fuerza (1).

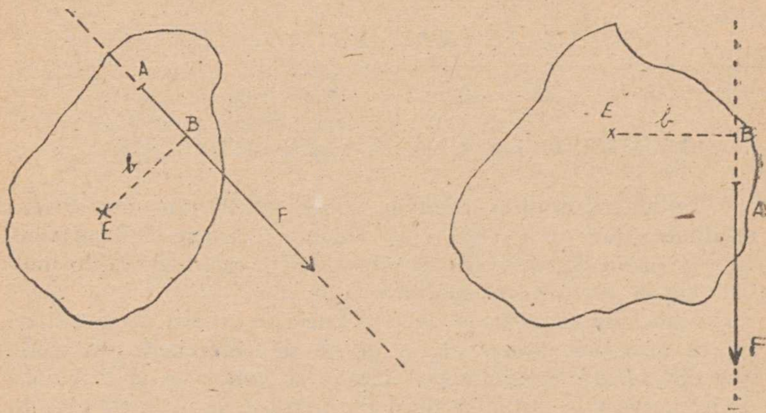


Fig. 99.– Brazo de una fuerza respecto de un eje.

Ahora bien, el efecto que produce una fuerza que actúa sobre un cuerpo en estas condiciones es una rotación o giro. Se dice que la fuerza origina un *momento estático* o *torque*, con respecto al eje.

Una fuerza origina un momento estático si actúa sobre un cuerpo provisto de eje y a cierta distancia de dicho eje.

(1) Distancia de un punto a una recta: segmento de la perpendicular trazada desde el punto a la recta.

El momento de una fuerza depende directamente, desde luego, de la intensidad de la fuerza.

¿De qué otro factor?

Abramos una puerta empujándola primero junto a los goznes, luego en el centro y finalmente en la perilla. El resultado es claro: a medida que aumenta el brazo de la fuerza, mayor es el efecto conseguido: la puerta se abre con mayor facilidad.

Luego, el momento de una fuerza depende directamente de la intensidad y del brazo de la fuerza.

En consecuencia, *el valor del momento estático se mide por el producto de la intensidad de la fuerza por su brazo.*

$$\boxed{\textbf{Momento} = \text{fuerza} \;.\; \text{brazo}}$$

Si designamos por M el momento de la fuerza, tendremos:

$$\boxed{M = F \;.\; b}$$

Sentido de un momento estático.–

Una fuerza puede hacer girar un cuerpo en dos sentidos en torno de su eje, de modo que es necesario que todo momento, además de su valor, se caracterice por un signo que indique su sentido.

Se conviene en llamar *positivos* a los momentos que hacen girar el cuerpo en el mismo sentido en que giran los punteros de un reloj y *negativos* a los que lo hacen girar en sentido contrario.

Un momento estático es nulo si el brazo de la fuerza F es nulo, o sea: $M = o$ si $b = o$

Los momentos positivos los designaremos por $M(+)$ y los negativos por $M(-)$.

75.– COMPOSICION DE MOMENTOS ESTATICOS.

Dos o más momentos estáticos que actúan simultáneamente sobre un cuerpo pueden ser sustituídos por uno solo que produzca el mismo efecto.

> *El momento resultante de varios momentos estáticos equivale a la suma algebraica de los momentos componentes.*

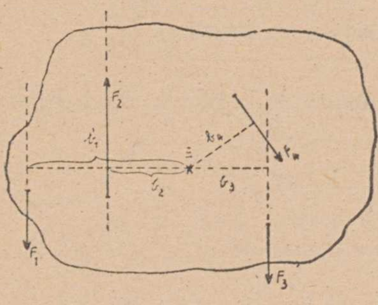


Fig. 100.– Composición de momentos estáticos.

Sean las fuerzas F_1, F_2, F_3, y F_4 que actúan sobre un cuerpo, con brazos b_1, b_2, b_3 y b_4, respectivamente.

Entonces:

$$M_1\ (-) = F_1 \cdot b_1$$
$$M_2\ (+) = F_2 \cdot b_2$$
$$M_3\ (+) = F_3 \cdot b_3$$
$$M_4\ (+) = F_4 \cdot b_4$$

y como $M_R = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + \ldots\ldots + M_n$, en este caso:

$$M_R = -\ F_1\ b_1 + F_2\ b_2 + F_3\ b_3 + F_4\ b_4$$

Si el momento resultante es nulo, el cuerpo no gira: se dice que está en equilibrio. Esto se expresa también diciendo que la suma de los momentos positivos es igual a la suma de los momentos negativos.

$$\boxed{\text{Suma M }(+) = \text{Suma M }(-)}$$

Unidades de momento estático.—

De una manera general, una unidad de momento estático se obtiene multiplicando una unidad de fuerza por una unidad de longitud.

Así, en los distintos sistemas, tenemos:

C. G. S.:	1 [dina] . 1 [cm]	= 1 [dina . cm]
M. K. S.:	1 [newton] . 1 [m]	= 1 [newton . m]
Técnico:	1 $[\vec{kg}]$. 1 [m]	= 1 $[\vec{kg}$. m]

Problema 1.—

Una fuerza de 8 $\vec{kg}$ actúa a 10 cm del eje de una rueda. ¿A qué distancia deberá colocarse, en el lado opuesto, un peso de 20 $\vec{kg}$ para que la rueda no gire?

Solución:

$F_1 = 8\ [\vec{kg}]$ $\qquad M_1\ (+) = F_1 \cdot b_1 \qquad M_2\ (-) = F_2 \cdot b_2$

$b_1 = 10\ [cm] \qquad M_1 = 8\ [\vec{kg}] \cdot 10\ [cm] \qquad M_2 = 20\ [\vec{kg}] \cdot x$

Para que la rueda no gire, debe ser:

$F_2 = 20\ [\vec{kg}]$

$$M\ (+) = M\ (-)$$

$b_2 = x$

Luego: $\quad 8\ [\vec{kg}] \cdot 10\ [cm] = 20\ [\vec{kg}] \cdot x$

de donde: $\quad x = \dfrac{80}{20}\ [cm]$

$$x = 4\ [cm]$$

Respuesta: Los 20 $\overrightarrow{\text{kg}}$ deben colocarse a 4 [cm] del eje.

Problema 2.–

Una viga de 6 m pesa 15 $\overrightarrow{\text{kg}}$ y soporta en sus extremos los pesos de 30 y 50 $\overrightarrow{\text{kg}}$. ¿A qué distancia del centro debe apoyarse para que esté en equilibrio?

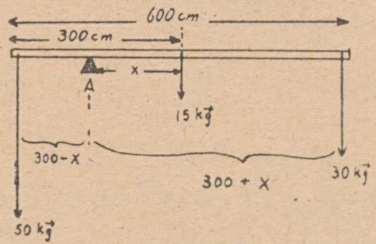


Fig. 101.– Esquema de la situación planteada.

Solución:

$\vec{F}_1 = 50\ \overrightarrow{\text{kg}}$ $\qquad M = F \cdot b$

$\vec{F}_2 = 30\ \overrightarrow{\text{kg}}$ $\qquad M_1\ (-) = 50\ [\overrightarrow{\text{kg}}] \cdot (300 - x)\ [\text{cm}]$

$\vec{P} = 15\ \overrightarrow{\text{kg}}$ $\qquad M_2\ (+) = 30\ [\overrightarrow{\text{kg}}] \cdot (300 + x)\ [\text{cm}]$

$b_3 = x$

$b_1 = 300 - x$ $\qquad M_3\ (+) = 15\ [\overrightarrow{\text{kg}}] \cdot x$

$b_2 = 300 + x$

Para que haya equilibrio:

Suma M (+) = Suma M (–)

Luego: $30\ (300 + x) + 15\ x = 50\ (300 - x)$

de donde: $9000 + 30\,x + 15\,x = 15000 - 50\,x$

o sea: $95\,x = 6000$

y: $x = 63{,}15$ [cm]

Respuesta: Debe apoyarse a 63,15 [cm] del centro.

76.– MOMENTO DE UNA CUPLA.

El efecto de una cupla es una rotación del cuerpo sobre el cual actúa.

Si el cuerpo no está provisto de eje, igualmente gira en torno de un punto como si éste fuera su eje de rotación.

Luego, *una cupla siempre origina un momento estático.*

Para calcular el momento de una pareja pensemos en un punto cualquiera del plano de la cupla en torno del cual consideramos que gira el cuerpo.

Entonces, cada fuerza de la cupla origina un momento en torno de ese punto:

$$M_1 \ (+) = F \cdot b_1$$
$$M_2 \ (-) = F \cdot b_2$$

y el momento resultante es:

$$M_R = M_1 + M_2$$

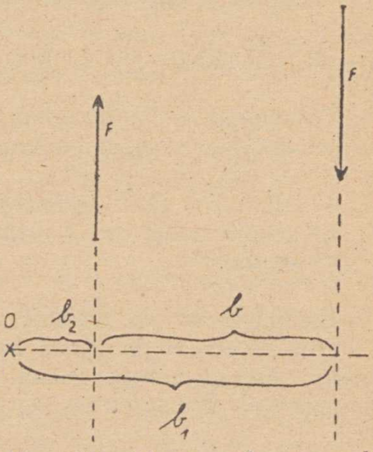


Fig. 102.– Momento de una cupla.

o sea: $M_R = F\,b_1 - F\,b_2$

pero: $b_1 = b_2 + b$

Luego: $M_R = F . (b_2 + b) - F b_2$

o bien $M_R = F b_2 + F b - F b_2$

Y si llamamos M_p al momento de la cupla, se tiene:

$$\boxed{M_p = F . b}$$

Este resultado nos indica que:

a) El momento de la cupla es independiente de la posición del punto o eje de giro, o sea, que es el mismo respecto de todos los puntos del plano de la cupla.
b) *El momento de la cupla se obtiene multiplicando una de las fuerzas que la forman por la distancia que las separa o brazo de la cupla.*

77.– EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS.

Un cuerpo sometido simultáneamente a la acción de varias fuerzas puede sufrir cualquiera de los efectos siguientes:

a) alteración de sus dimensiones o forma.
b) modificación de su estado de movimiento.
c) equilibrio.

Estudiaremos este tercer caso.

Que el efecto de varias fuerzas que actúan simultáneamente sobre un cuerpo sea un estado de equilibrio significa cualquiera de las dos cosas siguientes:

1) Que el cuerpo permanece en reposo.
2) Que el cuerpo persevera en un movimiento rectilíneo uniforme,

Supongamos que sobre un cuerpo actúan tres fuerzas coplanarias F_1, F_2 y F_3, aplicadas en puntos diferentes.

¿Qué condiciones deben cumplir tales fuerzas para que el efecto sea el equilibrio del cuerpo?

Tomemos la resultante de las fuerzas F_1 y F_2. El sistema queda reducido a R y F_3, es decir, a dos fuerzas. De igual modo podemos proceder si el sistema está constituído por más de 3 fuerzas, hasta dejarlo reducido a 2.

En tal caso, bastará con establecer las condiciones según las cuales R y F_3 se anulan, para que el cuerpo quede en equilibrio. Esas condiciones son:

1) que R y F_3 sean de igual intensidad;
2) que R y F_3 sean de sentido contrario, y
3) que R y F_3 tengan la misma línea de acción.

Luego, la *condición general de equilibrio* de los cuerpos puede enunciarse del modo siguiente:

Un cuerpo está en equilibrio si la resultante de todas las fuerzas que sobre él actúan es nula.

Esta condición puede expresarse también en términos de los momentos estáticos originados por las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, respecto de cualquier eje:

Un cuerpo está en equilibrio si la suma algebraica de los momentos estáticos de todas las fuerzas que sobre él actúan es nula.

Esto significa que el momento resultante de todos los momentos originados por las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es cero, lo cual puede también escribirse en la forma siguiente, muy útil en la resolución de problemas:

$$\text{Suma M } (+) = \text{Suma M } (-)$$

De lo expuesto se desprende que:

1) no puede existir equilibrio bajo la acción de una sola fuerza, y
2) una cupla que actúa sobre un cuerpo sólo puede ser equilibrada por la acción de otra cupla o por un momento estático.

78.– TIPOS DE EQUILIBRIO.

El estado de equilibrio de un cuerpo puede darse en tres formas: estable, inestable e indiferente, de acuerdo con las variaciones que pueden experimentar las intensidades, sentidos y líneas de acción de las fuerzas que sobre él actúan al desplazarlo ligeramente de su posición de equilibrio.

Equilibrio estable: el equilibrio es estable si las fuerzas, en la posición desplazada, son tales que hacen volver el cuerpo a su posición inicial.

Equilibrio inestable: el equilibrio es inestable si las fuerzas, en la posición desplazada, actúan aumentando el desplazamiento.

Equilibrio indiferente: el equilibrio es indiferente si el cuerpo continúa en equilibrio en la posición desplazada.

79.– FORMAS DE CONSEGUIR EQUILIBRIO.

En la práctica, el equilibrio de un cuerpo se obtiene por cualquiera de los dos medios siguientes: a) suspendiéndolo de algún punto o eje, y b) apoyándolo sobre una base.

En ambos casos, se trata de anular el peso del cuerpo mediante una reacción igual y contraria, representada por el eje de suspensión o por la base de sustentación.

En tales circunstancias, la condición general de equilibrio podría darse en la forma siguiente:

Un cuerpo suspendido por un eje o apoyado sobre una base, está en equilibrio si la línea de acción del peso pasa por el eje o cae sobre la base.

Equilibrio por medio de un eje.–

a) *Estable.–* Si el centro de gravedad está verticalmente bajo el eje de suspensión. El cuerpo tiende a recobrar su posición inicial. Ej.: péndulo, plomada.

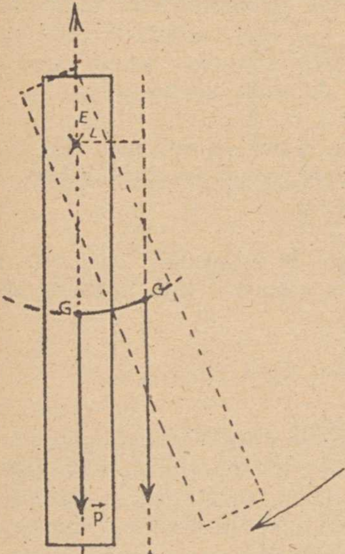


Fig. 103.– Equilibrio estable de un cuerpo suspendido por un eje.

b) *Inestable.–* Si el centro de gravedad está verticalmente sobre el eje. El cuerpo aumenta su desplazamiento y no recobra su posición primitiva. Ej.: equilibrista, una regla parada sobre un dedo.

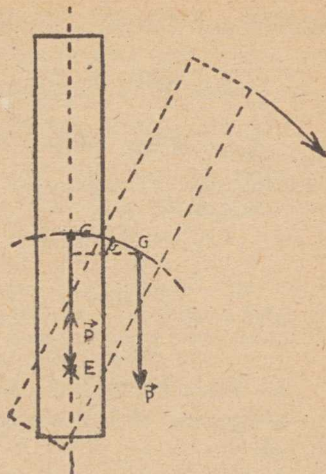


Fig.– 104.– Equilibrio inestable de un cuerpo suspendido por un eje.

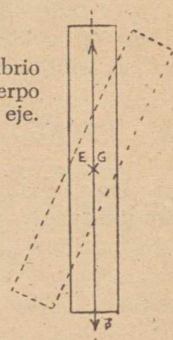


Fig. 105.– Equilibrio indiferente de un cuerpo suspendido por un eje.

c) *Indiferente.–* Si el centro de gravedad coincide con el eje. El cuerpo queda en equilibrio en cualquiera posición. Ej.: hélice, rueda.

Equilibrio por medio de una base.–

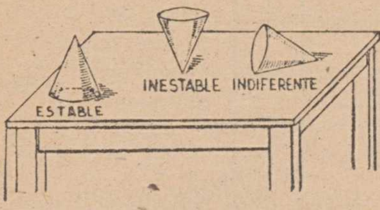


Fig. 106.– Equilibrios estables, inestable e indiferente de un cuerpo apoyado sobre una base.

Un cono, colocado en las tres posiciones que indica la figura 106, nos da una idea muy clara de cada caso de equilibrio, sobre una base.

a) *Estable.*– Si el centro de gravedad está más bajo que en cualquiera otra posición vecina (cono apoyado sobre su base).

b) *Inestable.*– Si el centro de gravedad está más alto que en cualquiera otra posición vecina (cono apoyado sobre su cúspide).

c) *Indiferente.*– Si el centro de gravedad conserva su altura en cualquiera otra posición vecina (cono apoyado sobre su generatriz).

80.– ESTABILIDAD.

En el caso de un cuerpo cuyo equilibrio se consigue apoyándolo sobre una base, no sólo interesa conocer las tres clases de equilibrio que pueden presentarse, sino también la resistencia que el cuerpo opone a cualquiera fuerza que tienda a volcarlo y que constituye su estabilidad.

Estabilidad de un cuerpo apoyado sobre una base es la fuerza con que el cuerpo resiste a cualquiera fuerza que tienda a volcarlo.

Se mide por la fuerza horizontal mínima que se requiere aplicar, a la altura de su centro de gravedad, para que el cuerpo sea volcado.

Así, un cuerpo tendrá mayor estabilidad que otro cuando, para volcarlos, se necesite aplicar al primero una fuerza mayor que al segundo, en las condiciones ya indicadas.

¿De qué depende la estabilidad de un cuerpo?

Determinación experimental.— Es fácil averiguarlo experimentalmente por medio de un dispositivo como el que muestra la figura 107, procediendo en la forma siguiente:

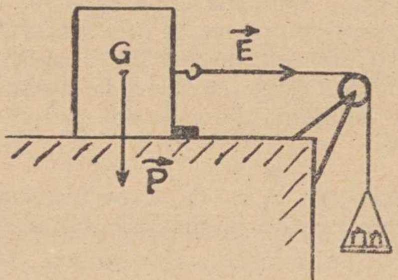


Fig. 107.— Dispositivo para medir la estabilidad.

1) La cuerda C se ata a cuerpos de pesos diferentes, pero de igual forma y tamaño, colocados en la base de apoyo. Por ejemplo, prismas o cilindros de madera, cartón, fierro, etc.

En el platillo p se colocan pesas hasta volcar el cuerpo.

¿Qué resulta de tal experiencia?

Para volcar los cuerpos más pesados se requieren más pesas, es decir, una fuerza mayor. Luego, la estabilidad es directamente proporcional al peso de los cuerpos.

2) Repítase la experiencia apoyando cada cuerpo sobre otras caras, de modo que varíe la altura del centro de gravedad con respecto a la base. ¿Qué se observa?

Mientras menor es la altura del centro de gravedad, mayor es la fuerza necesaria para volcar cada cuerpo. Luego, la estabilidad de un cuerpo es inversamente proporcional a la altura de su centro de gravedad con respecto a la base.

3) Experiméntese, ahora, con un prisma oblicuo, midiendo la estabilidad sobre las caras oblicuas. ¿Qué se observa?

Presenta mayor estabilidad sobre la cara cuya arista de rotación está más alejada de la línea de acción del peso. Luego, la estabilidad de un cuerpo es directamente proporcional a la distancia que separa la línea de acción del peso de la arista de rotación.

Resumiendo, la estabilidad de un cuerpo es:

1) directamente proporcional a su peso.
2) inversamente proporcional a la altura de su centro de gravedad, respecto de la base de apoyo.
3) directamente proporcional a la distancia que separa la línea de acción del peso del cuerpo de su arista de rotación.

Si designamos por $\vec{P}$, h y b, respectivamente, a estos tres factores, podemos escribir la siguiente fórmula para medir la estabilidad E:

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{P} \cdot b}{h}}$$

Puesto que la $\vec{E}$ es una fuerza, para expresar su medida se emplearán las unidades de fuerza ya establecidas.

Determinación teórica.—

Supongamos un prisma recto, en el cual:

A B = arista de rotación.
D C = b = distancia de la línea de acción del peso a la arista de rotación.
G D = H C = h = altura del centro de gravedad respecto de la base de apoyo.

Sobre el cuerpo actúan dos fuerzas: su peso $\vec{P}$ y la fuerza $\vec{E}$, que tiende a volcarlo, las cuales originan sendos momentos estáticos respecto de la arista de rotación A B y cuyos brazos respectivos son b y h.

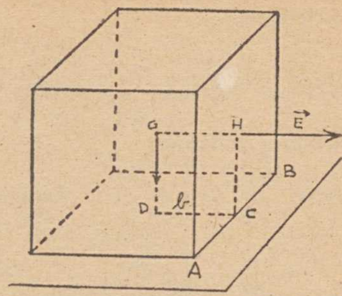


Fig. 108.– Determinación teórica de la estabilidad.

Esos momentos estáticos son:

$$M_1\ (-) = \vec{P}\ .\ b$$

$$M_2\ (+) = \vec{E}\ .\ h$$

La fuerza $\vec{E}$ medirá la estabilidad del cuerpo, cuando los momentos M_1 y M_2 cumplan la condición de equilibrio correspondiente, es decir, cuando se tenga:

$$\vec{E}\ .\ h = \vec{P}\ .\ b$$

de donde:

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{P}\ .\ b}{h}}$$

Problema 1.–

Las aristas de un paralelepípedo rectangular de Fe, miden **8 cm**, 12 cm y 20 cm. Si se apoya sobre la cara menor, y gira sobre la **arista de** 12 cm, ¿qué estabilidad tiene? $\rho_{Fe} = 7{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$

Solución:

$a = 8\ [cm]$

$b = 12\ [cm]$

$c = 20\ [cm]$

$$\vec{E} = \frac{\vec{P} \cdot b}{h}$$

Pero: $\vec{P} = V \cdot \vec{\rho}$

$$\vec{\rho}_{Fe} = 7{,}8 \left[\frac{g}{cm^3}\right] \text{ o sea: } \vec{P} = 8 \cdot 12 \cdot 20\ [cm^3] \cdot 7{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

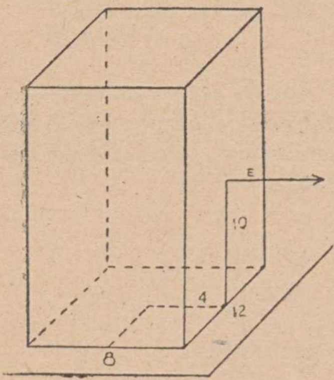


Fig. 109.– Esquema de la situación planteada.

$$\vec{P} = 1920\ [cm^3] \cdot 7{,}8 \left[\frac{\vec{g}}{cm^3}\right]$$

$$\vec{P} = 14976\ [\vec{g}]$$

$$\text{Luego: } \vec{E} = \frac{14976\ [\vec{g}] \cdot 4\ [cm]}{10\ [cm]}$$

$$\vec{E} = 5990{,}4\ [\vec{g}]$$

$$\vec{E} = 5{,}99\ [\vec{kg}]$$

Respuesta: La estabilidad es de 5,99 $\vec{kg}$.

Problema 2.–

La arista de un cubo de mármol mide 0,8 m. Calcular su estabilidad en newton y en $\vec{kg}$, si la densidad del mármol es 5 unidades. (Bachillerato, enero 1959).

$a = 8$ dm

$b = 4$ dm

$h = 4$ dm

$\vec{\rho} = 5 \left[\frac{kg}{dm^3}\right]$

$$\vec{E} = \frac{\vec{P} \cdot b}{h};$$

Pero:

$$\vec{P} = V \cdot \vec{\rho}$$

$$\vec{P} = 8^3 \, [dm^3] \cdot 5 \left[\frac{\vec{kg}}{dm^3}\right]$$

$$\vec{P} = 2560 \, [\vec{kg}]$$

Luego: $$\vec{E} = \frac{2560 \, [\vec{kg}] \cdot 4 \, [dm]}{4 \, [dm]}$$

$$\vec{E} = 2560 \, [\vec{kg}]$$

y, como: $1 \, [\vec{kg}] = 9{,}8$ [newton].

$$\vec{E} = 25088 \, [newton]$$

Respuesta: La estabilidad del cubo es de 25088 [newton] o de 2560 $\vec{kg}$.

81.– EQUILIBRIO DE LOS CUERPOS FLOTANTES.

Un cuerpo flotante está sometido a dos fuerzas contrarias: su peso $\vec{P}$ y el empuje E, cuyos puntos de aplicación son el centro de gravedad G y el centro de empuje C, respectivamente.

Se llama centro de empuje al centro de gravedad de una porción de líquido equivalente a la porción desalojada.

El cuerpo flotante está en equilibrio si las fuerzas peso y empuje actúan sobre una misma línea de acción y son de igual intensidad.

Si las fuerzas tienen distinta línea de acción, forman una cupla que tiende a hacer girar el cuerpo de manera que el centro de empuje quede más arriba que el centro de gravedad.

Entonces, un cuerpo flotante tiene equilibrio estable si

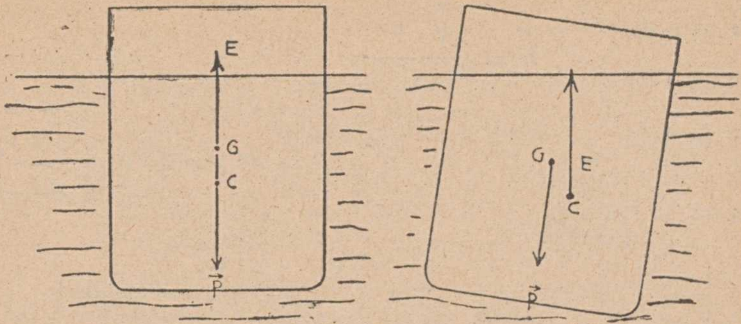


Fig. 110.– Centro de empuje de un cuerpo flotante.

el centro de empuje está más arriba que el centro de gravedad e inestable si ocurre lo contrario. El equilibrio es indiferente si ambos centros coinciden.

En el caso especial de un barco, la intersección de la línea de acción del empuje con el plano de simetría del barco se denomina metacentro (M) y las posiciones de equilibrio se determinan en relación con dicho punto.

Así, si el centro de gravedad está más abajo que el metacentro el equilibrio es estable (figs. a y b); si está más arriba, el equilibrio es inestable (fig. c) y si coinciden, es indiferente.

La estabilidad de un barco será tanto mayor cuanto mayor sea la altura del metacentro sobre el centro de gravedad.

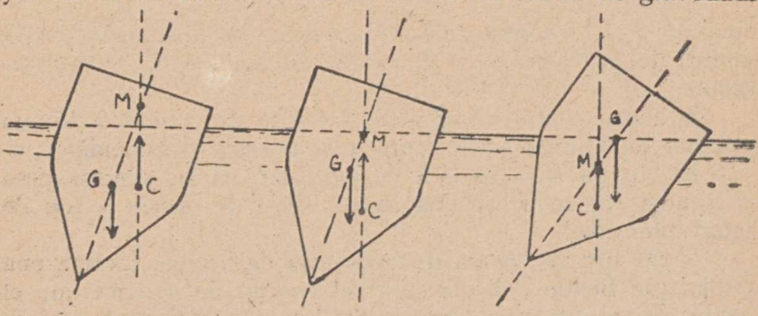


Fig. 111.– Equilibrio de un barco.

Momento de una fuerza:

- *Concepto*: una fuerza origina un momento estático si actúa sobre un cuerpo que puede girar en torno de algún punto y a cierta distancia de dicho punto.
- *Medida*:
  - $$\boxed{M = F \cdot b}$$; momento = fuerza por brazo.
  - Brazo de una fuerza respecto de un punto es la distancia de dicho punto a la línea de acción de la fuerza.
- *Sentido*:
  - Positivo: si el cuerpo gira en el sentido de los punteros del reloj.
  - Negativo: si gira en sentido contrario a los punteros del reloj.
- Composición de momentos estáticos: Momento resultante = suma algebraica de los momentos componentes.
- Momento de una cupla: se mide por el producto de una de las fuerzas que la forman por la distancia que las separa o brazo de la cupla.

$$\boxed{M_p = F \cdot b_p}$$

Equilibrio de los cuerpos:

- *Concepto*: un cuerpo está en equilibrio si está en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.
- *Condición general*:
  - "Un cuerpo está en equilibrio si la resultante de todas las fuerzas que sobre él actúan es nula".
  - o bien:
  - "Un cuerpo está en equilibrio si la suma algebraica de los momentos estáticos de todas las fuerzas que sobre él actúan es nula".

$$\boxed{\text{Suma M } (+) = \text{Suma M } (-)}$$

- *Tipos de equilibrio*
  - a) Estable: si las fuerzas que actúan, al desplazarse el cuerpo de su posición de equilibrio, son tales que hacen volver el cuerpo a su posición inicial.
  - b) Inestable: si las fuerzas que actúan, al desplazarse el cuerpo de su posición de equilibrio, actúan aumentando el desplazamiento.
  - c) Indiferente: si a pesar del desplazamiento, las fuerzas que actúan son tales que el cuerpo continúa en equilibrio.
- *Formas de conseguir equilibrio*
  - a) suspendiendo los cuerpos de algún punto o eje.
  - b) apoyando los cuerpos sobre una base.
- Condición de equilibrio de los cuerpos suspendidos o apoyados:

  Un cuerpo suspendido por un eje o apoyado sobre una base está en equilibrio si la línea de acción del peso pasa por el eje o cae sobre la base.

  (En ambos casos se trata de anular el peso del cuerpo oponiéndole, por medio del eje o de la base, una reacción igual y contraria).

Estabilidad:

- *Concepto:* estabilidad de un cuerpo apoyado sobre una base es la fuerza con que el cuerpo resiste a cualquiera fuerza que tienda a volcarlo.
- *Medida*
  - Se mide por la fuerza horizontal mínima necesaria para volcar el cuerpo, aplicada a la altura de su centro de gravedad.
  - Fórmula: $$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{P} \cdot b}{h}}$$
  - Unidades: las de fuerza.

Equilibrio de los cuerpos flotantes:

- *Condición*
  1) si $\vec{P} = E$
  2) si $\vec{P}$ y E están sobre la misma línea de acción (vertical).
- *En los buques:*
  - Estable: si el centro de gravedad está bajo el centro de empuje o bajo el metacentro.
  - Inestable: si el centro de gravedad está sobre el centro de empuje o sobre el metacentro.
- *Metacentro:* Punto de intersección del plano de simetría del buque con la línea de acción del empuje.

CUESTIONARIO

1.— Defina o explique los conceptos siguientes:

a) Momento de una fuerza.
b) Brazo de una fuerza.
c) Momento de una cupla.
d) Equilibrio de un cuerpo.
e) Equilibrio estable.
f) Equilibrio inestable.
g) Equilibrio indiferente.
h) Estabilidad.

2.— ¿De qué depende el efecto que una fuerza produce sobre un cuerpo?
3.— ¿Cómo se fija la posición de la línea de acción de una fuerza?
4.— ¿Qué condiciones se requieren para que una fuerza origine un momento?
5.— ¿De qué factores depende un momento?
6.— ¿Cómo se determina el sentido de un momento?
7.— ¿Bajo qué condición un sistema de n fuerzas cualesquiera, coplanarias está en equilibrio? Dé la respuesta de dos maneras diferentes. (Bachillerato, enero 1959).
8.— ¿Qué es un par de fuerzas y qué efecto produce? (Bachillerato, marzo 1959).
9.— ¿Cómo se mide el momento de una cupla?
10.— ¿Qué significa que el efecto de varias fuerzas que actúan simultáneamente sobre un cuerpo sea un estado de equilibrio?
11.— ¿Qué condición deben cumplir las fuerzas que actúan sobre un cuerpo para que éste permanezca en equilibrio?
12.— ¿Puede un cuerpo estar en equilibrio bajo la acción de una sola fuerza? ¿Por qué?
13.— ¿Cómo se consigue, en la práctica, el equilibrio de un cuerpo?
14.— ¿Por qué los equilibristas llevan en sus manos una barra larga o un paraguas abierto?
15.— ¿Por qué se dice que las motonetas tienen muy poca estabilidad?
16.— ¿De qué factores depende la estabilidad de un cuerpo?
17.— ¿Qué es un “mono porfiado”?
18.— Indique y explique tres formas de aumentar su propia estabilidad. (Bachillerato, marzo 1959).

PROBLEMAS

1.— De los extremos de una barra de 2 m de largo se suspenden dos bultos que pesan 24 y 16 kg, respectivamente. ¿A qué distancia del peso mayor debe apoyarse la barra para que haya equilibrio?

R: 80 cm

2.– Sobre un extremo de una barra de 2,8 m de largo y 30 $\overrightarrow{\text{kg}}$ actúa una fuerza de 84 $\overrightarrow{\text{kg}}$. ¿Qué fuerza, aplicada en el otro extremo, equilibra el sistema, si la barra se apoya a 1 m del extremo en que actúa la fuerza dada?

R: 40 $\overrightarrow{\text{kg}}$

3.– En los extremos de una barra de 10 $\overrightarrow{\text{kg}}$ y 1,8 m de largo actúan dos fuerzas de 20 y 30 $\overrightarrow{\text{kg}}$. ¿A qué distancia del centro debe apoyarse para que permanezca en equilibrio?

R: 15 cm

4.– Un prisma rectangular de cobre cuyas aristas son 5, 7 y 9 cm se apoya sucesivamente sobre sus caras distintas. ¿En qué posición tiene mayor estabilidad? ¿Qué estabilidad tiene en cada caso? Peso específico del cobre: 8,7 $\left[\dfrac{\vec{\text{g}}}{\text{cm}^3}\right]$.

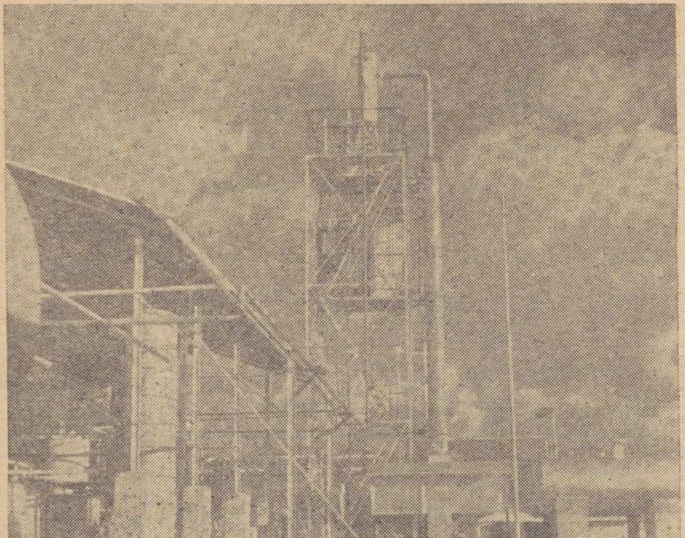
5.– Un cubo de bakelita de 20 cm de arista se apoya sobre una base horizontal. ¿Calcule su estabilidad en $\overrightarrow{\text{kg}}$ y en newton, si el peso específico de la bakelita es 2 $\left[\dfrac{\vec{\text{g}}}{\text{cm}^3}\right]$. ¿Cuánto debe inclinarse la base para volcar el cubo?

R: 16 $\overrightarrow{\text{kg}}$; 156,8 newton; 45°

6.– ¿Qué fuerza mínima, paralela a la base, se necesita para volcar una columna homogénea de 600 $\overrightarrow{\text{kg}}$ de 1,5 m de altura y radio basal 25 cm, cuando está apoyada en una de sus bases y la fuerza se aplica a 75 cm de la base? (Bachillerato, marzo 1959).

R: 200 $\overrightarrow{\text{kg}}$

6ª UNIDAD Trabajo, Potencia y Energía



Sumario.— Capítulo I.— TRABAJO MECANICO.

82.— Concepto de trabajo.

Capítulo II.— POTENCIA MECANICA.

83.— Concepto de potencia. Resumen de unidades de trabajo y potencia: cuadros de equivalencias. 84.— Potencia y velocidad.

Capítulo III.— ENERGIA.

85.— Concepto de energía. 86.— Medida de la energía potencial. 87.— Medida de la energía cinética. 88.— Equivalencia entre materia y energía. 89.— Ley de la conservación de la energía. 90.— Ley de la conservación de la masa. 91.— Variación de la masa con la velocidad. Síntesis. Cuestionario. Problemas.

ALBERTO EINSTEIN (1879-1955).

"No puedo creer que Dios juegue a los dados con el Universo".

Físico alemán de origen judío, nació en Ulm en 1879.

Recibió el premio Nóbel de Física, en 1921, por su valioso trabajo sobre el efecto fotoeléctrico.

A la edad de 26 años, Einstein publicó su teoría de la relatividad.

Los seguidores de Newton estaban convencidos de que el movimiento y reposo eran absolutos y mensurables; Einstein demostró que el movimiento y el reposo son relativos: son medidos en formas diferentes por observadores diferentes. Desde este punto de partida, desplazó el carácter absoluto de la extensión, la masa y el tiempo, las tres medidas fundamentales de las que dependen todas las demás magnitudes.

Sus ideas acerca de la equivalencia entre la materia y la energía dieron origen a la que hoy conocemos como "ley de la conservación de la masa".

En agosto de 1945, cuando la fuerza aérea de los EE. UU. lanzó la bomba atómica en Hiroshima, 80 mil personas murieron como resultado de la aplicación de sus complejos razonamientos.

Sus estudios habían significado la mayor revolución científica de nuestros tiempos.

CAPITULO I

TRABAJO MECANICO

82.– CONCEPTO DE TRABAJO.

En la vida diaria, la expresión trabajo se aplica a cualquier clase de actividad, sea ésta un esfuerzo muscular o intelectual. Por ejemplo, levantar un cuerpo, arrastrar un mueble, comprimir un resorte o un gas, escribir un libro, etc. Sin embargo, en Física, dicho término se usa en un sentido más restringido.

Diremos que *una fuerza efectúa trabajo si desplaza al cuerpo sobre el cual actúa, o a su propio punto de aplicación, en un cierto camino.*

El concepto mecánico de trabajo exige pues, la existencia de dos factores: una fuerza y cierto camino recorrido por ella.

No habrá, por lo tanto, trabajo mecánico, si falta cualquiera de estos dos factores.

¿Cómo influyen estos factores en el trabajo realizado?

Si queremos levantar un cuerpo a cierta altura tendremos que vencer su peso, efectuando un determinado trabajo. Resulta evidente que si la altura es doble o triple, el trabajo efectuado será también doble o triple. Por otra parte, si queremos levantar un cuerpo de doble o triple peso que el anterior, a la misma altura, el trabajo efectuado será también doble o triple.

Luego:

a) El trabajo realizado para desplazar una fuerza, en un determinado camino, es directamente proporcional a la fuerza desplazada, y

b) El trabajo realizado por una determinada fuerza es directamente proporcional al camino que recorre.

Supongamos ahora un cuerpo que se desplaza horizontalmente bajo la acción de una fuerza F, que forma un ángulo α con la dirección del desplazamiento.

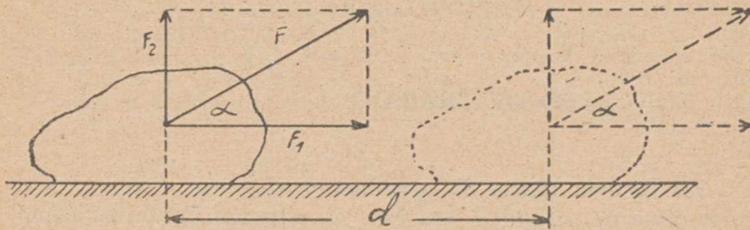


Fig. 112.– Sólo ejecuta trabajo la componente paralela al desplazamiento.

Entonces, la fuerza F se descompone en dos: F_1, en la dirección del desplazamiento, y F_2, perpendicular a ella. F_1 tiende a arrastrar el cuerpo horizontalmente y F_2 a levantarlo verticalmente. Como F_2 es anulada por el peso del cuerpo, sólo F_1 origina trabajo.

De todo lo anterior resulta que:

El trabajo mecánico efectuado por una fuerza para mover un cuerpo se obtiene multiplicando el desplazamiento por la componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento.

Esto es:

Trabajo = componente de la fuerza en la dirección del desplazamiento por desplazamiento.

Si designamos el trabajo por T y por d el desplazamiento,

entonces: $$T = F_1 \, . \, d$$

Pero, la intensidad de F_1 depende del ángulo α que F forma con la dirección del desplazamiento y, como es una componente de F, se tiene que:

$$F_1 = F \, . \cos \alpha$$

en que $\cos \alpha$ (léase: coseno de α) es un factor que indica cómo varía F_1 en relación con el ángulo α y cuyo valor es menor o igual a 1.

Por consiguiente, el trabajo mecánico está dado por:

$$\boxed{T = F \, . \cos \alpha \, . \, d}$$

que representa la expresión más general para medir el trabajo mecánico.

Casos especiales.–

De los diferentes valores de $\cos \alpha$ nos interesan los dos siguientes:

1) $\cos \alpha = 1$.

El factor $\cos \alpha$ tiene el valor máximo 1 cuando α vale cero, es decir, la fuerza F y el desplazamiento tienen la misma dirección.

En tal caso, la relación precedente se reduce a:

$$\boxed{T = F \, . \, d}$$

o sea: trabajo = fuerza por desplazamiento

Esta fórmula representa y mide el trabajo efectuado por una fuerza para mover un cuerpo, o su propio punto de aplicación, en la misma dirección de la fuerza, y será la que consideraremos en el curso de nuestros estudios.

De ella resulta que:

a) si $d = 0$; $T = 0$, o sea:

> *No hay trabajo mecánico si la fuerza no desplaza el cuerpo sobre el cual actúa.*

b) si $F = 0$, $T = 0$, esto es:

> *No hay trabajo mecánico si un cuerpo se desplaza sin la intervención de una fuerza.*

2) $\cos \alpha = 0$

El factor $\cos \alpha$ tiene el valor cero cuando α vale 90°, o sea, la fuerza F y el desplazamiento son perpendiculares. Pero si $\cos \alpha = 0$, entonces el trabajo efectuado también es cero. Esto significa que:

> *No se requiere trabajo para desplazar el punto de aplicación de una fuerza en dirección perpendicular a ella.*

Unidades de trabajo.—

En general, de acuerdo con la fórmula, una unidad de trabajo se obtiene multiplicando una unidad de fuerza por una unidad de longitud.

En el sistema C. G. S. la unidad de trabajo es el *erg o ergio.*

Un erg es el trabajo efectuado por la fuerza de 1 ***dina al*** *desplazar su punto de aplicación en 1 cm en la misma* ***dirección*** *y sentido de la fuerza.*

$$1\ [\text{erg}] = 1\ [\text{dina}]\ .\ 1\ [\text{cm}]$$

$$\boxed{1\ [\text{erg}] = 1\ [\text{dina}\ .\ \text{cm}]}$$

En el sistema M. K. S. la unidad de trabajo es el ***joule.*** *Un joule es el trabajo efectuado por la fuerza de 1* ***[newton]*** ***al*** *desplazar su punto de aplicación en 1 [m] en la* ***misma dirección*** *y sentido de* ***la*** *fuerza.*

$$1\ [\text{joule}] = 1\ [\text{newton}]\ .\ 1\ [\text{m}]$$

Recordando que: $1\ [\text{newton}] = 10^5\ [\text{dinas}]$

y como: $1\ [\text{m}] = 100\ [\text{cm}]$

se tiene que: $1\ [\text{joule}] = 10^5\ [\text{dinas}]\ .\ 100\ [\text{cm}]$

$1\ [\text{joule}] = 10^7\ [\text{dina}\ .\ \text{cm}]$

pero: $1\ [\text{dina}\ .\ \text{cm}] = 1\ [\text{erg}]$

luego: $\boxed{1\ [\text{joule}] = 10^7\ [\text{erg}]}$

En el sistema técnico la unidad de trabajo es el ***kilográmetro*** (kgm). *Un kgm es el trabajo efectuado por la* ***fuerza*** *de 1 [$\overrightarrow{kg}$] al desplazar su punto de aplicación en 1* ***[m] en*** *la misma dirección y sentido de la fuerza.*

$$1\ [\text{kgm}] = 1\ [\overrightarrow{\text{kg}}]\ .\ 1\ [\text{m}]$$

Recordando que: $1\ [\overrightarrow{\text{kg}}] = 980.600\ [\text{dinas}]$

y que: $1\ [\text{m}] = 100\ [\text{cm}],$

se tiene: $1\ [\text{kgm}] = 980.600\ [\text{dinas}]\ .\ 100\ [\text{cm}]$

o sea: $$\boxed{1\ [\text{kgm}] = 98.060.000\ [\text{erg}]}$$

y como: $$1\ [\text{joule}] = 10^7\ [\text{erg}]$$

resulta: $$\boxed{1\ [\text{kgm}] = 9{,}8\ [\text{joule}]}$$

Problema.–

Una persona que pesa 70 $\vec{\text{kg}}$ sube a pie un cerro de 250 m de altura. ¿Qué trabajo realiza? Exprese el resultado en erg, joule y kgm.

Solución:

$F = 70\ \vec{\text{kg}}$

$d = 250$ m

$T = x$

1) $T = F\ .\ d$

$T = 70\ [\vec{\text{kg}}]\ .\ 250\ [\text{m}]$

$T = 17500\ [\text{kgm}]$

2) $T = 17500\ .\ 9{,}8\ [\text{joule}]$

$T = 171500\ [\text{joule}]$

3) $T = 171500\ .\ 10^7\ [\text{erg}]$

$T = 1715\ .\ 10^9\ [\text{erg}]$

Respuesta: La persona realiza un trabajo:

$T = 17500\ [\text{kgm}] = 171500\ [\text{joule}] = 1715\ .\ 10^9\ [\text{erg}]$

CAPITULO II

POTENCIA MECANICA

83.– CONCEPTO DE POTENCIA.

En la definición de trabajo, no está incluído el concepto de tiempo. En la práctica, el trabajo se realiza por medio de máquinas o motores que se caracterizan por la mayor o menor cantidad de trabajo que pueden desarrollar en un tiempo determinado, esto es por su *potencia.*

> *Potencia de una máquina o motor es el cuociente entre el trabajo que es capaz de realizar y el tiempo que tarda en efectuarlo.*

$$\text{potencia} = \frac{\text{trabajo efectuado}}{\text{tiempo empleado en efectuarlo}}$$

Si designamos la potencia por P, tenemos:

$$\boxed{P = \frac{T}{t}}$$

En la práctica, es corriente expresar la potencia como *el trabajo ejecutado en un segundo.*

Unidades de potencia.–

En general, una unidad de potencia se obtiene dividiendo una unidad de trabajo por una unidad de tiempo.

Como en el sistema C. G. S. la unidad de trabajo es 1 [erg] y la unidad de tiempo 1 [seg], resulta que la unidad de potencia es:

$$\frac{1\ [\mathrm{erg}]}{1\ [\mathrm{seg}]} = 1 \left[\frac{\mathrm{erg}}{\mathrm{seg}}\right]$$

Un $\left[\frac{\mathrm{erg}}{\mathrm{seg}}\right]$ *es la potencia de una máquina que puede realizar el trabajo de* 1 *[erg] en* 1 *[seg].*

Como en el sistema M. K. S. la unidad de trabajo es 1 [joule] y la unidad de tiempo 1 [seg], resulta que la unidad de potencia es:

$$\frac{1\ [\mathrm{joule}]}{1\ [\mathrm{seg}]} = 1 \left[\frac{\mathrm{joule}}{\mathrm{seg}}\right]$$

Esta unidad se denomina *watt.*

$$\boxed{1\ [\mathrm{watt}] = 1 \left[\frac{\mathrm{joule}}{\mathrm{seg}}\right]}$$

Un watt es la potencia de una máquina que puede realizar el trabajo de 1 *[joule] en* 1 *[seg].*

Además, se emplea el *kilowatt,* que es un múltiplo del watt: $\boxed{1\ [kw] = 1000\ [w]}$

Como en el sistema técnico la unidad de trabajo es 1 [kgm] y la unidad de tiempo 1 [seg], resulta que la unidad de potencia es:

$$\frac{1\ \text{kgm}}{1\ \text{seg}} = 1\left[\frac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]$$

Un $\left[\frac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]$ *es la potencia de una máquina que puede realizar el trabajo de* 1 *[kgm] en* 1 *[seg].*

Por ser esta unidad pequeña, en la práctica se emplea un múltiplo de ella, llamado *caballo de vapor* (1).

$$\boxed{1\ [\text{cv}] = 75 \cdot \left[\frac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]}$$

Una máquina tiene la potencia de 1 *[cv] si desarrolla el trabajo de* 75 *[kgm] en* 1 *[seg]*, es decir, puede por ejemplo levantar 75 [kg] a la altura de 1 [m] en 1 [seg].

---

(1) "Un concepto equivocado supone que las denominaciones watt y kilowatt implican algo de origen eléctrico, lo cual no es cierto. Es verdad que corrientemente la potencia eléctrica se expresa en watts y en kilowatts, pero la potencia consumida por una ampolleta puede ser expresada igualmente en caballos, o la potencia de un automóvil en kilowatts". (Física General, Sears y Zemansky).

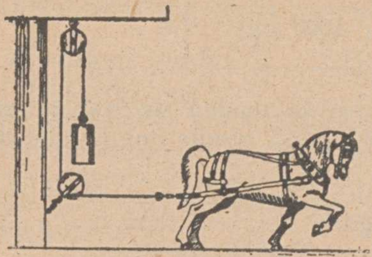


Fig. 113.– Un caballo de fuerza (hp).

También se utiliza la unidad de potencia inglesa denominada *caballo de fuerza* (horse power) y cuyo valor, en $\left[\dfrac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]$, es:

$$\boxed{1\ [\text{hp}] = 76{,}04 \left[\dfrac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]}$$

Las unidades de potencia 1 [cv] y 1 [kw], permiten definir dos nuevas unidades de trabajo: el *caballo de vapor-hora* (cvh) y el *kilowatt-hora* (kwh).

Un caballo de vapor-hora es el trabajo consumido o suministrado, en 1 *hora, por un motor de* 1 *[cv] de potencia.*

Puesto que dicho motor suministra un trabajo de 75 [kgm] en cada seg, el trabajo suministrado en 1 hora es:

$$75 \left[\dfrac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right] .\ 3600\ [\text{seg}] = 270.000\ [\text{kgm}]$$

$$\boxed{1\ [\text{cvh}] = 270.000\ [\text{kgm}]}$$

Un kilowatt-hora es el trabajo consumido o suministrado, en 1 *hora, por un motor de* 1 *[kw] de potencia.*

Puesto que dicho motor suministra un trabajo de 1000 [joule] en cada seg, el trabajo suministrado en 1 hora es:

$$1000 \left[\dfrac{\text{joule}}{\text{seg}}\right] .\ 3600\ [\text{seg}] = 3.600.000\ [\text{joule}]$$

$$\boxed{1\ [\text{kwh}] = 3.600.000\ [\text{joule}]}$$

Resumen de unidades de trabajo y potencia

Concepto	*Sist. C. G. S.*	*Sist. Técnico*	*Sist. M. K. S.*
Trabajo	1 [erg] = 1 [dina] . 1 [cm]	1 [kgm] = 1 $[\vec{kg}]$. 1 [m]	1 [joule] = 1 [newton] . 1 [m]
Potencia	$1 \left[\dfrac{\text{erg}}{\text{seg}}\right]$	$1 \left[\dfrac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]$	$1\ [\text{watt}] = 1 \left[\dfrac{\text{joule}}{\text{seg}}\right]$

Unidades prácticas de trabajo:

$$\begin{cases} 1\ [\text{kwh}] = 3.600.000\ [\text{joule}] \\ 1\ [\text{cvh}] = 270.000\ [\text{kgm}] \end{cases}$$

Unidades prácticas de potencia:

$$\begin{cases} 1\ [\text{kw}] = 1000\ [\text{w}] \\ 1\ [\text{cv}] = 75 \left[\dfrac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right] \\ 1\ [\text{hp}] = 76{,}04 \left[\dfrac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right] \end{cases}$$

Equivalencias entre unidades de trabajo

Unidades	erg	joule	kgm	kwh	cvh
erg	1	10^{-7}	$1{,}02 \cdot 10^{-8}$	$2{,}7 \cdot 10^{-14}$	$3{,}77 \cdot 10^{-14}$
joule	10^{7}	1	0,102	$2{,}7 \cdot 10^{-7}$	$3{,}77 \cdot 10^{-7}$
kgm	$9{,}8 \cdot 10^{7}$	9,8	1	$2{,}7 \cdot 10^{-6}$	$3{,}703 \cdot 10^{-6}$
kwh	$3{,}6 \cdot 10^{13}$	$3{,}6 \cdot 10^{6}$	$3{,}67 \cdot 10^{5}$	1	1,359
cvh	$2{,}6 \cdot 10^{13}$	$2{,}6 \cdot 10^{6}$	270.000	0,735	1

Equivalencias entre unidades de potencia

Unidades	$\frac{\text{erg}}{\text{seg}}$	watt	kw	$\frac{\text{kgm}}{\text{seg}}$	cv
$\frac{erg}{seg}$	1	10^{-7}	10^{-10}	$1{,}019 \cdot 10^{-8}$	$1{,}36 \cdot 10^{-10}$
watt	10^{7}	1	0,001	0,102	0,00136
kw	10^{10}	1000	1	102	1,36
$\frac{kgm}{seg}$	$9{,}8 \cdot 10^{7}$	9,8	0,0098	1	0,013
cv	$7{,}354 \cdot 10^{9}$	735,4	0,735	75	1

Problema 1.–

Un motor eléctrico levanta $\vec{450}$ [kg] a 30 m de altura en 30 seg. Calcule su potencia, en cv.

Solución:

$F = \vec{450}$ kg

$d = 30$ m

$t = 30$ seg

$P = x$

$$T = F \cdot d$$

$$P = \frac{T}{t}$$

$$P = \frac{F \cdot d}{t}$$

$$P = \frac{\vec{450}\,[kg] \cdot 30\,[m]}{30\,[seg]}$$

$$P = 450 \left[\frac{kgm}{seg}\right]$$

$$P = \frac{450}{75}\,[cv]$$

$$P = 6\,[cv]$$

Respuesta: La potencia del motor es de 6 [cv].

Problema 2.–

Un termo eléctrico tiene una potencia de 1,6 [kw]. ¿Cuánto se gasta en darse un baño durante 15 minutos, si el [kwh] vale E° 0,04?

Solución:

$P = 1{,}6$ [kw]

$t = 15$ [min]

$$T = P \cdot t$$

$$P = \frac{T}{t}$$

$$T = 1{,}6\,[kw] \cdot \tfrac{1}{4}\,[h]$$

$T = 0{,}4$ [kwh]

Gasto $= 0{,}4 \cdot 0{,}04$

Gasto = E° 0,016

Respuesta: Se gastan E° 0,016.

84.– POTENCIA Y VELOCIDAD.

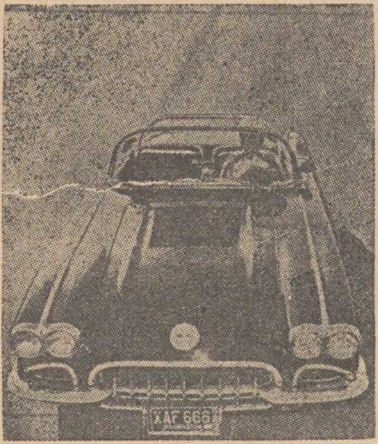


Fig. 114.– La potencia de una máquina en movimiento depende de su velocidad.

Es importante considerar y medir también la potencia desarrollada, en un momento dado, por una máquina en movimiento.

Sea F una fuerza continua y constante que actúa sobre un cuerpo en movimiento. Si consideramos un intervalo de tiempo *t*, suficientemente pequeño como para estimar instantánea la velocidad, y el camino recorrido *d*, en ese intervalo, entonces, el trabajo realizado por la fuerza F es:

$$T = F \cdot d$$

y la potencia instantánea correspondiente será:

$$P = \frac{T}{t}$$

o sea:

$$P = F \cdot \frac{d}{t}$$

Pero el cuociente $\frac{d}{t}$ representa la velocidad instantánea del cuerpo en movimiento. Luego, la relación anterior se reduce a:

$$\boxed{P_{\text{inst.}} = F \cdot v_{\text{inst.}}}$$

Esto es:

Potencia instantánea = fuerza . velocidad instantánea

Problema.—

Una locomotora que lleva una velocidad de 20 $\left[\frac{m}{seg}\right]$ ejerce una tracción de 15.000 $[\vec{kg}]$. ¿Qué potencia desarrolla?

Solución:

$F = 15.000\ [\vec{kg}]$

$v = 20\ \left[\frac{m}{seg}\right]$

$P = x$

$$P = F \cdot v$$

$$P = 15.000\ [\vec{kg}] \cdot 20\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$P = 300.000\ \left[\frac{kgm}{seg}\right]$$

$$P = \frac{300.000}{75}\ [cv]$$

$$P = 4.000\ [cv]$$

Respuesta: La potencia de la locomotora es de 4.000 [cv].

CAPITULO III

ENERGIA

85.– CONCEPTO DE ENERGIA.

Consideremos las situaciones siguientes:

a) Cuerpos que se trasladan con cierta velocidad: un proyectil, un auto, masas de aire en movimiento, etc.
b) Cuerpos situados a cierta altura: una lámpara, un depósito de agua, etc.
c) Cuerpos elásticos deformados: un resorte comprimido o dilatado, una cuerda de reloj, etc.

Todas ellas nos presentan cuerpos que tienen la capacidad de realizar un trabajo: un proyectil es capaz de atravesar un muro, para lo cual requiere ejercer una fuerza durante el recorrido; las masas de aire en movimiento pueden hacer girar las aspas de un molino; una corriente que fluye de un depósito con agua puede poner en movimiento una rueda hidráulica, un resorte comprimido al dilatarse es capaz, por ejemplo, de lanzar un proyectil.

Esta capacidad de los cuerpos para efectuar un trabajo mecánico se llama energía, y, según lo expresado en el párrafo 9, podemos de nuevo afirmar que:

> *La energía es un principio de actividad que posee la materia o, la capacidad de los cuerpos para efectuar trabajo.*

La energía se presenta en la naturaleza en diversas formas: como energía mecánica, calórica, eléctrica, luminosa, nuclear, etc.

La energía mecánica puede ser de dos clases.

En el ejemplo del cuerpo situado a cierta altura, su capacidad para producir trabajo se debe exclusivamente a la *posición* que ocupa; en el ejemplo del resorte comprimido, se debe a la deformación experimentada. En ambos casos, se habla de *energía en potencia, potencial o latente.*

En cambio, un cuerpo en movimiento puede realizar trabajo a expensas de su velocidad. Para detenerlo será necesario aplicarle una fuerza que se desplazará realizando trabajo. En este caso, se habla de *energía cinética o activa.*

La energía de un cuerpo se mide a través del trabajo que éste puede realizar. Por lo tanto, las unidades de energía son las mismas que las unidades de trabajo, a saber: el [erg], el [joule], el [kgm], el [cvh] y el [kwh].

86.– MEDIDA DE LA ENERGIA POTENCIAL.

Para los efectos del cálculo, consideraremos que la energía potencial es la que poseen los cuerpos situados a cierta altura, con respecto a un nivel que arbitrariamente se considera como nivel cero (nivel del suelo, superficie de una mesa, etc.).

Supongamos que un cuerpo de peso $\vec{P}$, cae verticalmente desde una altura h sobre el suelo.

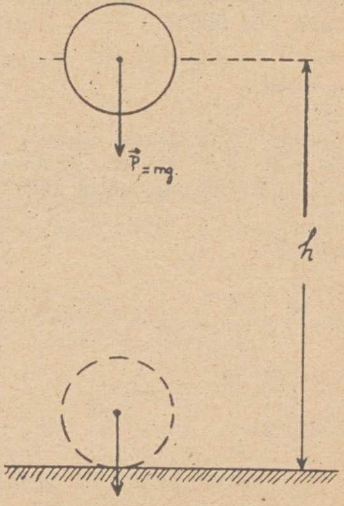


Fig. 115.– Medida de la energía potencial.

Su peso realizará un trabajo: $T = \vec{P} \cdot h$

que mide la energía potencial inicial del cuerpo.

Luego: $$\boxed{E_p = \vec{P} \cdot h}$$

Esta relación nos indica que:

a) Las energías potenciales de dos o más cuerpos, situados a la misma altura, son directamente proporcionales a sus pesos respectivos;
b) Las energías potenciales de dos o más cuerpos, de igual peso, son directamente proporcionales a sus alturas respecto de un mismo nivel.

Observación: Si el peso se mide en $\vec{g}$ y la altura en cm, para que la energía resulte expresada en erg, debe multiplicarse por 980,6.

Problema.–

Usando la energía eléctrica se ha levantado un cuerpo de 5 $\vec{\text{ton}}$ a 15 m de altura. Calcular el dinero gastado sabiendo que 1 [kwh] vale \$ 20. (Bachillerato, enero 1959).

Solución:

$\vec{P} = 5\ \vec{\text{ton}} = 5000$ [kg] $\qquad E_p = \vec{P} \cdot h$

$h = 15$ m $\qquad E_p = 5.000\ [\vec{\text{kg}}] \cdot 15$ [m]

$E = x \qquad E_p = 75.000$ [kgm]

Reducción de [kgm] a [kwh]:

$$1\ [kwh] = 3.600.000\ [joule]$$

pero $$1\ [joule] = 0{,}102\ [kgm]$$

Luego: $$1\ [kwh] = 3.600.000\ .\ 0{,}102\ [kgm]$$

$$1\ [kwh] = 367.200\ [kgm]$$

y, $$1\ [kgm] = \frac{1}{367200}\ [kwh]$$

por lo tanto: $$75.000\ [kgm] = \frac{75.000}{367.200}\ [kwh]$$

En consecuencia, el gasto será:

$$G = \$\ \frac{750}{3672}\ .\ 20$$

$$G = \$\ 4{,}08$$

Respuesta: El gasto es de $ 4.

87.– MEDIDA DE LA ENERGIA CINETICA.

Energía cinética es la que poseen los cuerpos en movimiento.

Consideremos nuevamente el cuerpo de peso $\vec{P}$, cayendo verticalmente desde la altura h (ver fig. 116).

La velocidad de caída aumenta a medida que el cuerpo se aproxima al suelo, con lo cual, se incrementa gradualmente su energía cinética.

Como el trabajo efectuado por el cuerpo es: $T = \vec{P}\ .\ h$ y mide la energía cinética de dicho cuerpo, entonces:

$$E_c = \vec{P}\ .\ h$$

Pero: $$\vec{P} = mg$$

$$y \qquad h = \frac{v^2}{2g} \qquad \left(h_{\text{máx}} = \frac{v_1^2}{2g}\right)$$

Entonces: $$E_c = mg \cdot \frac{v^2}{2g}$$

o sea: $$\boxed{E_c = \frac{m\,v^2}{2}}$$

De esta fórmula se desprende que:

a) a igualdad de velocidad, las energías cinéticas de dos o más cuerpos son directamente proporcionales a sus masas respectivas;

b) a igualdad de masa, las energías cinéticas de dos o más cuerpos son directamente proporcionales a los cuadrados de sus velocidades respectivas.

Otra demostración de la relación $E_c = \dfrac{mv^2}{2}$.

La energía cinética se mide por el trabajo necesario para comunicar a un cuerpo de masa m la velocidad v.

Sobre el cuerpo, inicialmente en reposo, aplicamos la fuerza F, con lo cual éste adquiere la aceleración a, tal que: $F = m \cdot a$

Supongamos que la fuerza actúa sobre el cuerpo a lo largo de un camino d, que será recorrido con movimiento uniformemente acelerado, por lo cual:

$$d = \frac{1}{2} at^2$$

Entonces, el trabajo efectuado es $T = F \cdot d$,

o sea: $$T = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

de donde: $$T = \frac{m \cdot a^2 \cdot t^2}{2}$$

pero el producto at = v (velocidad adquirida por el cuerpo), luego:

$$T = \frac{m\ v^2}{2}$$

y como la energía se mide por el trabajo realizado, se tiene que:

$$\boxed{E_c = \frac{m\ v^2}{2}}$$

Problema 1.–

La masa de una bomba es 245 [kg]. Si llega a la tierra con la velocidad de 50 $\left[\frac{m}{seg}\right]$, ¿cuánto mide su energía cinética?

Solución:

$$m = 245\ [kg] = \frac{245}{9{,}8}\ [u.\ t.]_m = 25\ [u.\ t.]_m$$

$$v = 50\ \left[\frac{m}{seg}\right]$$

$$E_c = x \qquad\qquad E_c = \frac{m\ v^2}{2}$$

Si se emplea *v* en $\left[\frac{m}{seg}\right]$, es necesario medir *m* en $[u.\ t.]_m$, para obtener E en [kgm].

$$E_c = \frac{25\ [\text{u.t.}]_m \ .\ 2500 \left[\dfrac{m^2}{seg^2}\right]}{2}$$

$$E_c = \frac{62500}{2}\ [\text{kgm}]$$

$$E_c = 31250\ [\text{kgm}]$$

Respuesta: La energía cinética es de 31250 [kgm].

88.– EQUIVALENCIA ENTRE MATERIA Y ENERGIA.

En el párrafo 9 se estableció que la masa y la energía son intercambiables.

La ecuación de Einstein que relaciona la masa y la energía es: $E = m\ .\ c^2$, siendo:

E = cantidad de energía.

m = masa

c = velocidad de la luz $= 3\ .\ 10^{10} \left[\dfrac{cm}{seg}\right]$

Si *m* se expresa en gramos y *c* en $\left[\dfrac{cm}{seg}\right]$, resulta *E* expresado en erg.

La comprobación experimental de esta ecuación se ha obtenido por el estudio de procesos nucleares.

Apreciemos la importancia de esta relación en un cálculo sencillo.

Problema.–

Si en una explosión atómica 1 g de materia pudiera ser transformado íntegramente en energía, ¿qué cantidad de energía se liberaría?

Solución:

$m = 1\ [g]$

$c = 3 \cdot 10^{10} \left[\frac{cm}{seg}\right]$

$E = x$

$c^2 = 9 \cdot 10^{20} \left[\frac{cm^2}{seg^2}\right]$

$E = m\ c^2$

$E = 1\ [g] \cdot 9 \cdot 10^{20} \left[\frac{cm^2}{seg^2}\right]$

$E = 9 \cdot 10^{20}\ [erg]$

$E = 9 \cdot 10^{13}\ [joule]$

$E = 25 \cdot 10^{6}\ [kwh]$

Respuesta: Se liberarían 25.000.000 [kwh].

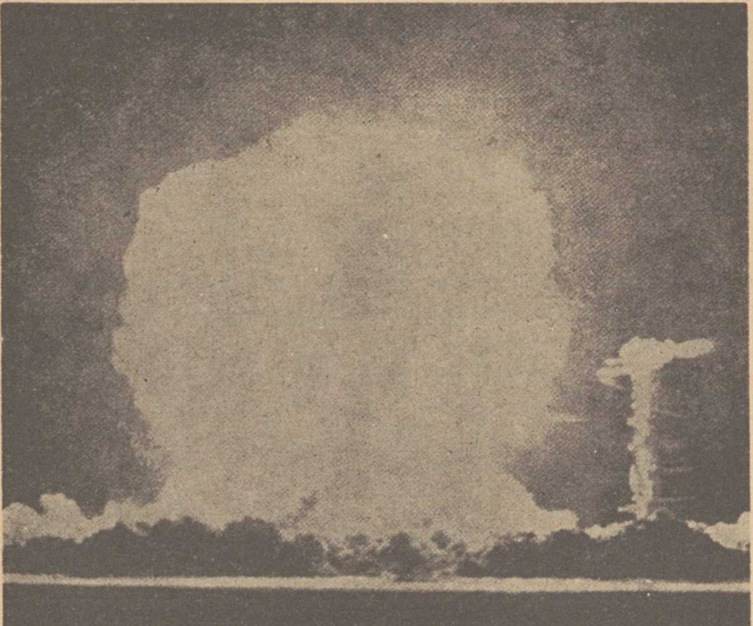


Fig. 116.– Si en una explosión atómica 1 g de material pudiera transformarse íntegramente en energía, la energía liberada sería equivalente a la energía producida por la combustión de 3000 toneladas de carbón.

Esto nos permite concluir que la materia es una forma extraordinariamente condensada de la energía, ya que la masa de 1 g libera la cantidad fabulosa de $25 \cdot 10^6$ [kwh], esto es, la cantidad de energía producida en la combustión completa de 3.000 toneladas de carbón.

89.– LEY DE LA CONSERVACION DE LA ENERGIA.

Cuando un cuerpo asciende verticalmente, su velocidad va disminuyendo, en forma gradual, hasta hacerse cero, cuando el cuerpo alcanza su altura máxima.

Esto implica, evidentemente, una variación en igual sentido de la energía cinética del cuerpo, que es máxima en el punto de partida y nula en el punto de mayor altura.

Pero, a medida que el cuerpo asciende, su energía potencial va aumentando paulatinamente hasta hacerse máxima cuando alcanza su mayor altura.

Esto significa que la energía cinética va transformándose gradualmente en energía potencial, cuando el cuerpo sube, y de igual modo, la energía potencial se transforma en energía cinética, al descender el cuerpo.

Esta transformación es tal que, en cualquier punto de la trayectoria del cuerpo la disminución de E_c equivale al aumento de E_p y viceversa.

En otras palabras, en cualquier punto de la trayectoria se tendrá:

$$E_c + E_p = \text{constante.}$$

Este sencillo ejemplo nos proporciona una clara idea de lo que es la ley de la conservación de la energía:

> *En cualquier proceso que tiene lugar en un sistema aislado, sin roce, la disminución de E_c es igual al aumento de E_p, es decir, la energía mecánica total del sistema es constante.*

Un sistema aislado es aquel en que no se efectúa intercambio de energía con cuerpos ajenos al sistema. A un sistema con esta característica se le llama sistema conservativo.

En un sistema no conservativo $E_c + E_p$ no es constante.

90.– LEY DE LA CONSERVACION DE LA MASA.

Consideremos una reacción química muy exotérmica, por ejemplo, la combinación del H y el O: 16 g de O se combinan con 2,016 g de H para dar 18,016 g de agua, desprendiéndose en la reacción 69.000 calorías que equivalen a una energía de $2{,}8 \cdot 10^{12}$ erg (1 cal $= 4{,}18 \cdot 10^{7}$ erg). Según la ecuación de Einstein esta cantidad de energía originará una variación de masa:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{2{,}8 \cdot 10^{12}\ [\text{erg}]}{9 \cdot 10^{20} \left[\dfrac{\text{cm}^2}{\text{seg}^2}\right]}$$

$$m = 3{,}1 \cdot 10^{-9}\ [\text{g}]$$

$m = 0{,}0000031$ [mg], es decir, 31 diez millonésimas de milígramo. Una variación tan pequeñísima de masa no puede ser acusada ni aún por la balanza más sensible.

Como la masa y la energía pueden transformarse la una en la otra (son intercambiables), dejan de ser independientemente exactas la ley de conservación de la energía y la ley de conservación de la materia. Estas dos leyes de conservación se combinan, en la actualidad, en una sola: la *ley de la conservación de la masa.*

> *En un sistema aislado la suma de la masa y de la energía permanece constante, o bien, la masa de un sistema aislado permanece constante.*

En esta última forma, el término *masa* incluye ambas masas, la de la materia y la de la energía del sistema.

Sin embargo, en las reacciones químicas ordinarias puede emplearse aún la ley de conservación de la materia, pero con una limitación: no puede aplicarse si una de las reacciones que tiene lugar en el sistema considerado implica conversión de energía en materia o de ésta en energía.

91.- VARIACION DE LA MASA CON LA VELOCIDAD.

Hasta ahora hemos considerado que la masa de un cuerpo puede considerarse constante, lo que en verdad no se ajusta a la realidad. Existe una comprobación experimental que expresa la dependencia de la masa respecto de la velocidad, la que aumenta al aumentar la velocidad. Esta en una de las consideraciones básicas de la mecánica relativista.

Para el cálculo de la masa de un cuerpo en movimiento rige la siguiente relación:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

donde:

m = masa del cuerpo, a la velocidad v.

m_o = masa inicial, en reposo.

c = velocidad de la luz ($300.000 \frac{km}{seg}$).

v = velocidad del cuerpo.

El siguiente cuadro muestra cómo la masa de 1 g varía con la velocidad. La velocidad está expresada en tanto % de la velocidad de la luz. Por ejemplo, una velocidad de 50% es la mitad de la velocidad de la luz ($150.000 \frac{km}{seg}$).

Velocidad del cuerpo (en tanto % de la veloc. de la luz)	*masa*
0 %	1,00 g
25 %	1,03 g
50 %	1,15 g
75 %	1,51 g
80 %	1,67 g
85 %	1,88 g
90 %	2,30 g
95 %	3,16 g
99 %	7,07 g
99,9%	22,4 g

El cuadro permite apreciar que la variación de masa al comienzo es leve, acentuándose considerablemente cuando el cuerpo alcanza una velocidad del orden del 75% de la velocidad de la luz.

Según la teoría de la relatividad, es imposible que una porción de materia sea acelerada hasta alcanzar la velocidad de la luz.

SINTESIS

Trabajo mecánico:

- *Concepto:* Una fuerza efectúa trabajo si desplaza al cuerpo sobre el cual actúa, o a su propio punto de aplicación, en un cierto camino.
- *Fórmulas:*
  - 1) $\boxed{T = F \cos\alpha \,.\, d}$ si la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo α.
  - 2) $\boxed{T = F \,.\, d}$ si la fuerza y el desplazamiento tienen igual dirección.
- *Unidades:*
  - Sistema C. G. S.: el [erg]
  - Sistema M. K. S.: el [joule]
  - Sistema Técnico: el [kgm]
  - prácticas: el [kwh]; el [cvh].

Potencia mecánica:

- *Concepto:* cuociente entre el trabajo efectuado y el tiempo empleado en efectuarlo.
- *Fórmulas:*
  - $\boxed{P = \dfrac{T}{t}}$
  - $\boxed{P = F \,.\, v}$ (para las máquinas en movimiento).
- *Unidades:*
  - Sistema C. G. S.: el $\left[\dfrac{erg}{seg}\right]$
  - Sistema M. K. S.: el [watt] $= 1 \left[\dfrac{joule}{seg}\right]$
  - Sistema Técnico: el $\left[\dfrac{kgm}{seg}\right]$
  - prácticas: el [cv]; el [hp].

Energía:

- *Concepto*: Principio de actividad que posee la materia, o bien, capacidad de los cuerpos para efectuar trabajo.
- *Formas*: energía mecánica, calórica, eléctrica, luminosa, nuclear, etc.
- *Energía mecánica*:
  - Potencial: la que poseen los cuerpos situados a cierta altura o los cuerpos elásticos deformados.

    $$\boxed{E_p = \vec{P} \cdot h}$$

  - Cinética: la que poseen los cuerpos en movimiento.

    $$\boxed{E_c = \frac{m\ v^2}{2}}$$

- *Unidades*: las de trabajo.
- *Equivalencia entre materia y energía*: $E = m \cdot c^2$
  (*Ecuación de Einstein*)
- *Ley de la conservación de la energía*: "en cualquier proceso que tiene lugar en un sistema aislado, sin roce, la energía mecánica total permanece constante".

  $$\boxed{E_p + E_c = C^{te.}}$$

CUESTIONARIO

1.– Defina o explique los conceptos siguientes:

a) trabajo.
b) potencia.
c) energía.
d) energía potencial.
e) energía cinética.

2.– ¿Qué miden las siguientes unidades: 1 [kw], 1 [kwh] y 1 [joule]? (Bachillerato, enero 1959).

3.– ¿Qué significa la expresión 15 [joule]? (Bachillerato, enero 1959).
4.– ¿En qué unidades se mide la energía? (Bachillerato, enero 1959).
5.– ¿Qué es 1 [cv]? (Bachillerato, enero 1959).
6.– ¿En qué caso una fuerza que actúa sobre un cuerpo no realiza trabajo? Dé un ejemplo.
7.– ¿En qué caso un cuerpo en movimiento no efectúa trabajo? Dé un ejemplo.
8.– ¿Cómo podemos aprovechar la energía potencial de una cascada de agua para transformarla en trabajo mecánico? (Bachillerato, enero 1959).
9.– Si una locomotora duplica su velocidad, ¿en cuánto aumenta su energía cinética?
10.– ¿Tiene siempre un canal que arrastra un gran caudal de agua, mayor energía que el que arrastra un pequeño caudal?
11.– ¿De qué factores depende la energía total de un avión en vuelo?
12.– ¿Qué representa la ecuación de Einstein? ¿Qué significa cada una de las cantidades que en ella intervienen?
13.– ¿Por qué si Ud. cae de 1 m de altura puede no sufrir ningún daño y puede sufrirlo muy fuerte si cae desde 4 m de altura? (Bachillerato, marzo de 1959).

PROBLEMAS

1.– Exprese 12 [joule] en [erg] y en [kgm].

R: $12 \cdot 10^7$ [erg]
1,224 [kgm]

2.– Exprese 450 $\left[\frac{\text{kgm}}{\text{seg}}\right]$ en [cv] y en [kw].

R: 6 [cv]
4,41 [kw]

3.– Un ascensor de 200 $[\vec{kg}]$ transporta 5 personas, que pesan, término medio, 65 $[\vec{kg}]$ cada una, a una altura de 30 m. ¿Qué trabajo efectúa el motor que mueve el ascensor?

R: 15750 [kgm]

4.– Un motor tiene una potencia de 50 [cv]. ¿Cuál es su potencia en [kw]?

R: 36,77 [kw]

5.– Un elevador hidráulico de un garage levanta un automóvil de $2\ [\overrightarrow{\text{ton}}]$ a la altura de 1,5 [m] en 1 minuto. ¿Qué potencia desarrolla?

R: $\frac{2}{3}$ [cv]

6.– ¿Cuánto gasta en 4 horas una ampolleta de 75 [w], si 1 [kwh] vale E° 0,04

R: E° 0,012

7.– Una grúa levanta una carga de $2\ [\overrightarrow{\text{ton}}]$ con una velocidad de $12 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}}\right]$ a una altura de 10 [m]. a) ¿Qué trabajo se realiza? b) ¿Cuántos [kw] desarrolla el motor?

R: a) 20.000 [kgm]
b) 3,92 [kw]

8.– Una bomba suministra 10 l de gasolina por minuto. ¿Qué potencia, en [kw], desarrolla la bomba al impulsar gasolina a una altura de 5 [m]? ρ de la gasolina $= 0{,}70 \left[\frac{\vec{\text{g}}}{\text{cm}^3}\right]$

R: 0,0057 [kw]

9.– Calcule la energía cinética con que llega al suelo un cuerpo de $100\ [\overrightarrow{\text{g}}]$, que cae en el vacío desde 10 [m] de altura.

R: 98.060.000 [erg] = 1 [kgm]

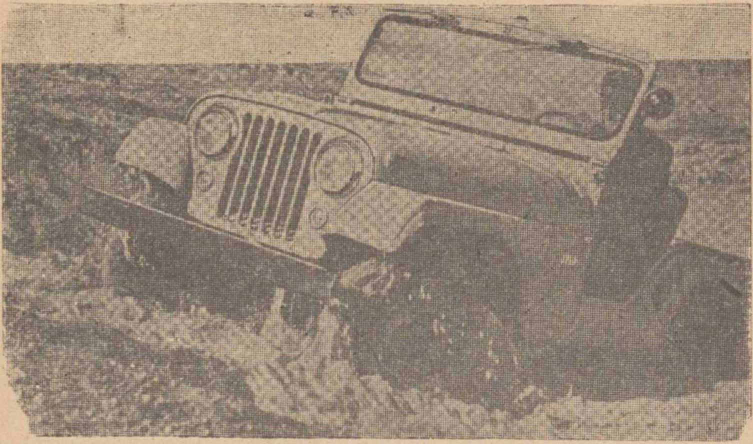
10.– ¿Qué energía cinética posee una bala de 200 [g] si su velocidad es de 300 $\left[\dfrac{m}{seg}\right]$? Exprese el resultado en erg, joule y kgm.

R: $9 \cdot 10^{10}$ [erg] $=$
$9 \cdot 10^{3}$ [joule] $=$ 918 [kgm]

11.– ¿Qué cantidad de materia debe ser convertida en energía para proporcionar 1.000.000 de [joule] de energía?

R: 0,00000001 [g]

7ª UNIDAD Roce y Máquinas Simples



Sumario.— Capítulo I.— ROCE.

Capítulo II.— RENDIMIENTO DE LAS MAQUINAS.

Capítulo III.– EQUILIBRIO EN LAS MAQUINAS SIMPLES.

99.– Condición general de equilibrio. 100.– Palancas. 101.– Poleas y garruchas. 102.– Torno. 103.– Plano inclinado. 104.– Rendimiento de las máquinas simples. Síntesis. Cuestionario. Problemas.

EL HOMBRE Y LA MAQUINA

A medida que el hombre ha ido avanzando en su carrera de civilización y de progreso, ha ido inventando instrumentos y máquinas de las más variadas y complejas estructuras: desde la simple barra que constituye la palanca y que ha sido empleada, tal vez, desde que el hombre existe sobre la tierra, pasando por la gama más inverosímil de la maquinaria doméstica, industrial, agrícola, minera, de transporte, etc., hasta los maravillosos cerebros electrónicos de la era actual.

Basta mirar a nuestro alrededor para darnos cuenta de que todo lo que nos rodea, y que ha sido hecho por el hombre, o es máquina o ha sido hecho mediante ella.

Nada mejor que la máquina para caracterizar el grado de progreso alcanzado por la humanidad. La gran complejidad de la misma no es otra cosa que el signo evidente del mayor alcance de las potencias creadoras del hombre que, cada día, logra aplicarlas con mayor amplitud, tanto para satisfacer sus necesidades como para proseguir su búsqueda infatigable de la verdad.

Pero, por muy compleja que nos parezca cualquiera de las máquinas que a diario nos corresponde enfrentar o manejar, o por muy lejos que vaya nuestra imaginación en la concepción de otras nuevas, siempre, al hacer un análisis, llegaremos a la conclusión de que, en último término, toda esa complicada estructura está constituída por un gran número de barras, ejes, poleas, ruedas dentadas, tornillos, etc., tan sencillos que, por lo mismo, reciben el nombre de máquinas simples.

De ahí que, al iniciar el estudio de las máquinas, sea indispensable hacerlo por las máquinas simples, porque todas las demás no son sino complejas e ingeniosas combinaciones de éstas.

CAPITULO I

ROCE

92.– CONCEPTO DE ROCE.

Hemos establecido, al tratar el trabajo mecánico, que al mover un cuerpo horizontalmente, su peso no efectúa trabajo, pues su punto de aplicación sólo experimenta un desplazamiento perpendicular a su línea de acción.

Esto significa que, para vencer el peso horizontalmente, no se requiere trabajo, pues es anulado por la reacción del plano.

Sin embargo, para mover el cuerpo se requiere un determinado trabajo, es decir, hay aún una fuerza que vencer.

¿Qué fuerza es esta?

Es una fuerza que proviene de la inercia de la materia y que se opone, al movimiento, originándose en la superficie de contacto de los cuerpos.

Esta fuerza se denomina *roce.*

> *Roce es la resistencia que la materia opone al movimiento en las superficies de contacto de los cuerpos.*

El roce no sólo se desarrolla al deslizarse un cuerpo sobre una superficie horizontal, sino también sobre superficies inclinadas.

Según que un cuerpo resbale o ruede sobre otro, el roce originado en las superficies de contacto se denomina resbalante o rodante.

Para precisar esta diferencia, consideremos un cuerpo que rueda y dos contactos sucesivos de un punto A de su periferia sobre la superficie de contacto.

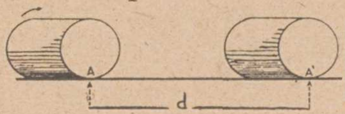


Fig. 117.– Roce rodante.

Entonces, si la longitud del arco descrito por A entre estos dos contactos sucesivos es igual al camino *d* recorrido por el cuerpo, el roce es rodante.

Cualquiera diferencia entre la longitud del arco y el camino *d*, expresa un resbalamiento y si la diferencia es máxima, el roce desarrollado es sólo resbalante.

93.– ROCE RESBALANTE.

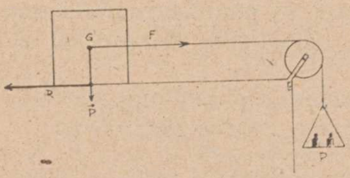


Fig. 118.– Dispositivo para determinar las leyes del roce resbalante

Es el roce desarrollado al resbalar una superficie sobre otra.

El físico francés Coulomb (1781) estudió y determinó las leyes del roce, valiéndose de un dispositivo como el que indica la figura 118 y atendiendo a los siguientes factores:

a) peso del cuerpo, b) naturaleza de las superficies en contacto, c) área de las superficies en contacto y d) velocidad relativa de las superficies en contacto.

Experimentando con cuerpos de diferente peso, naturaleza y tamaño de las superficies en contacto y con la velocidad de un cuerpo respecto del otro, Coulomb llegó a las siguientes conclusiones o leyes, cuya validez práctica es sólo aproximada:

1) El roce desarrollado es directamente proporcional a la fuerza normal con que el peso del cuerpo actúa sobre la superficie de resbalamiento.

Esto significa que en el roce no siempre influye el peso total del cuerpo, sino aquella componente perpendicular a la superficie de deslizamiento, cuyo valor depende de la inclinación de la superficie y que se designa por N.

Si el plano es horizontal, la fuerza N es igual al peso del cuerpo.

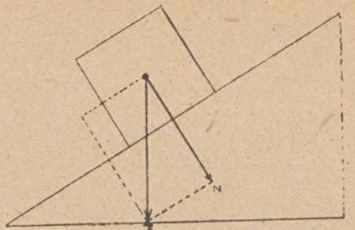


Fig. 119.— El roce resbalante es directamente proporcional a la fuerza normal con que el peso del cuerpo actúa sobre la superficie de resbalamiento.

2) El roce desarrollado depende de la naturaleza de las superficies en contácto, lo que se expresa por un factor constante, característico para cada par de superficies en contacto, llamado *coeficiente de roce resbalante.*

3) El roce desarrollado es independiente del área de las superficies en contacto.

4) El roce desarrollado es independiente, de un modo aproximado, de la velocidad relativa de las superficies en contacto.

Experimentalmente se prueba también que la fuerza roce aumenta o disminuye en la misma proporción que la fuerza normal, lo cual significa que a cada fuerza normal N le corresponde un determinado roce R, de tal modo que el cuociente entre R y N es constante.

Este valor $\frac{R}{N}$ es la medida del coeficiente de roce resbalante y se designa por $\propto$.

Coeficiente de roce resbalante ($\propto$) es el cuociente entre la fuerza de roce y la fuerza normal con que el peso del cuerpo actúa sobre el plano de deslizamiento.

Esto es:

$$\propto = \frac{R}{N}$$

De donde: $\boxed{R = N \cdot \propto}$

Luego, *el roce resbalante es equivalente al producto de la fuerza normal por el coeficiente de roce respectivo.*

El coeficiente de roce resbalante en el instante de iniciarse el movimiento tiene un valor mayor que durante el movimiento. Esto permite establecer un coeficiente estático y un coeficiente dinámico de roce. El coeficiente dinámico es siempre menor que el coeficiente estático de roce.

En estas circunstancias pueden calcularse las fuerzas mínimas necesarias para poner el cuerpo en movimiento y para mantenerlo en movimiento.

Ambas fuerzas equivalen al roce respectivo.

La fuerza mínima necesaria para iniciar el movimiento equivale al producto de la fuerza normal por el coeficiente estático de roce.

Puede medirse directamente por medio de un dinamómetro.

La fuerza mínima necesaria para mantener el movimiento es equivalente al producto de la fuerza normal por el coeficiente dinámico de roce.

Coeficientes de roce resbalante:

Sustancias en contacto	$\propto$ *estático*	$\propto$ *dinámico*
Acero sobre hielo	0,15	0,09 – 0,03
Acero sobre acero	0,6 – 0,5	0,5 – 0,2
Madera sobre madera	0,6	0,5 – 0,25
Madera sobre piedra	0,7	0,4
Fierro sobre fierro	0,16	0,15
Metales sobre metales engrasados	0,1	0,06

¿Qué significa que el coeficiente de roce resbalante para hierro sobre hierro sea 0,16?

Significa que 0,16 dinas es el roce que se opone al movimiento de un cuerpo cuyo peso ejerce la fuerza normal de una dina sobre la superficie de deslizamiento.

Tiene idéntica significación si, en lugar de dinas, tomamos cualquiera de las restantes unidades para medir la fuerza.

Problema.–

Un cuerpo de fierro de 120 $\vec{kg}$ es arrastrado horizontalmente sobre una superficie también de fierro. ¿Qué fuerza se requiere para empezar a moverlo? $\alpha = 0{,}16$.

Solución:

La fuerza mínima para iniciar el movimiento equivale al roce, luego:

$$R = N \cdot \alpha$$

En este caso $N = P$, entonces:

$$R = 120\ [\vec{kg}] \cdot 0{,}16$$

$$R = 19{,}20\ [\vec{kg}]$$

Respuesta: Se requiere una fuerza de 19,20 $[\vec{kg}]$).

94.– ROCE RODANTE.

Roce rodante es el roce desarrollado en las superficies de contacto de un cuerpo que rueda sobre otro.

Se manifiesta, por ejemplo, en una esfera, un cilindro o una rueda, cuando se deslizan rodando sobre una superficie cualquiera.

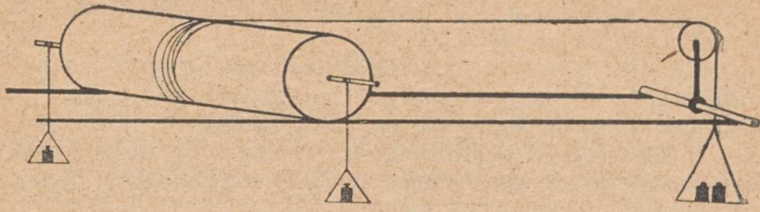


Fig. 120.– Dispositivo para determinar las leyes del roce rodante.

Para establecer los factores de los cuales depende el roce rodante, se coloca un cilindro cualquiera sobre un par de varillas metálicas o de madera y se enrolla en él una cuerda que se hace pasar por una polea fija, provista de un platillo en su extremo libre.

En estas condiciones, para mover el cilindro se requiere colocar un determinado peso en el platillo. Dicho peso mide el roce correspondiente.

Si en ambos extremos del eje del cilindro se colocan pesas iguales, aumenta la fuerza normal sobre las varillas, con lo cual se hace necesario colocar más pesas en el platillo para mover el cilindro.

Esto significa que si aumenta la fuerza normal, aumenta el roce rodante, o sea:

El roce rodante es directamente proporcional a la fuerza normal con que actúa el cuerpo que rueda sobre la superficie correspondiente.

Si cambiamos el cilindro por otros de la misma sustancia y de igual peso, pero de radios doble, triple, etc., que el anterior, observamos que el roce desarrollado se reduce a la mitad, a la tercera parte, etc., del primitivo. En consecuencia:

El roce rodante es inversamente proporcional al radio del cuerpo que rueda.

Y si, finalmente, reemplazamos las varillas de madera por otras de fierro u otro metal, obtenemos, en cada caso, un valor diferente para el roce, no obstante emplear el mismo cilindro. Esto indica que:

El roce rodante depende de la naturaleza de las superficies en contacto.

Esta dependencia se expresa por un factor constante, característico para cada par de superficies en contacto, llamado coeficiente de roce rodante. Se designa por β.

> *Coeficiente de roce rodante es el valor numérico del roce desarrollado entre una superficie y un cuerpo rodante de 1 cm de radio, cuyo peso ejerce sobre ella la fuerza normal de una dina.*

Que el coeficiente de roce rodante de madera sobre madera sea 0,013 significa que 0,013 dinas es el roce que se opone al movimiento de una rueda de madera de 1 cm de radio que actúa sobre una superficie de madera, con la fuerza normal de una dina.

Tiene idéntica significación si, en lugar de dinas, tomamos cualquiera de las restantes unidades para medir las fuerzas.

Por otra parte, si N es la fuerza normal, r el radio del cuerpo que rueda y β el coeficiente de roce rodante, entonces, según lo expuesto, resulta que:

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

Algunos coeficientes de roce rodante:

Rueda	*Superficie*	β
fierro	fierro	0,006
madera	madera	0,013
fierro pulimentado	embaldosada	0,009

Puede apreciarse que los coeficientes de roce rodante son mucho menores que los de roce resbalante. Esta diferencia explica el empleo de las ruedas en los vehículos, de rodillos para transportar cuerpos pesados, etc.

95.– APLICACIONES DEL ROCE.

El roce puede ser útil o perjudicial, según las circunstancias.

Es útil, si se desea detener un cuerpo en movimiento o mantener el contacto de dos cuerpos, para lo cual se procura aumentar el roce. Tal ocurre en los frenos, en las correas de trasmisión y engranajes y en acciones de la vida diaria como caminar, coger un objeto, usar un instrumento, etc.

Es perjudicial cuando se desea mantener un movimiento, como ocurre, en general, en las máquinas, en que la presencia del roce implica una disminución del rendimiento.

En este caso, se procura reducir el roce al mínimo posible mediante el uso de lubricantes, de cojinetes y descansos con rodamientos de bolitas, que permiten transformar el roce resbalante en rodante.

Problema.–

¿Qué fuerza $\vec{}$ se requiere para arrastrar un carro de 12 ton, cuyas ruedas tienen un radio de 0,4 m sobre rieles horizontales, si el coeficiente de roce es 0,06?

Solución:

$\vec{P} = \vec{N} = 12$ ton

$r = 0{,}4$ m $= 40$ cm

$\beta = 0{,}06$

$R = x$

$$R = \frac{N \, . \, \beta}{r}$$

$$R = \frac{12000 \, . \, 0{,}06}{40}$$

$$\vec{R} = 18 \text{ kg}$$

Respuesta: Se requiere una fuerza de 18 $\vec{\text{kg}}$.

CAPITULO II

RENDIMIENTO DE LAS MAQUINAS

96.– CONCEPTO DE MAQUINA.

Las máquinas son aparatos o dispositivos destinados a multiplicar fuerzas. Con ellas se consigue modificar los factores que intervienen en la ejecución de un determinado trabajo, proporcionando al hombre mayor comodidad en la aplicación de la fuerza, ya sea cambiando su dirección y sentido, o bien, reduciendo su intensidad.

Esto último significa que las máquinas permiten transformar el trabajo ejecutado por una fuerza grande que recorre poco espacio, en el trabajo efectuado por una fuerza pequeña que recorre un espacio mayor, siendo ambos trabajos numéricamente iguales.

Según su estructura, las máquinas pueden ser simples y compuestas.

Máquinas simples: son aquellas constituídas por un solo cuerpo y que, por lo tanto, no pueden descomponerse en otras.

Máquinas compuestas: son aquellas que están formadas por una combinación de máquinas simples.

Aquí, estudiaremos las primeras y tomando sólo las siguientes: palancas, poleas, tornos y plano inclinado.

97.– CONSERVACION DE LA ENERGIA EN LAS MAQUINAS.

Toda fuerza aplicada a una máquina, si la hace funcionar, le comunica un determinado trabajo o energía, llamado *trabajo motor*.

La máquina transforma los factores de este trabajo y lo utiliza en el cumplimiento de su objetivo, cual es vencer una determinada fuerza (levantar o mover un cuerpo, modificar su forma, etc.) a través de un camino determinado. Este nuevo trabajo se denomina *resistente.*

La fuerza aplicada la llamaremos *fuerza motriz* y la vencida, *resistencia.* Las designaremos por P y Q, respectivamente.

Ahora bien, de acuerdo con el principio de conservación de la energía, el trabajo comunicado a la máquina debe ser igual al trabajo suministrado por ésta, es decir, *el trabajo de la fuerza motriz debe ser igual al trabajo de la resistencia.*

Representemos por un círculo una máquina cualquiera, mediante la cual se levanta una carga Q aplicando una fuerza motriz P.

Al funcionar la máquina, la fuerza motriz P se ha desplazado de A a B, recorriendo un camino AB = p. La fuerza resistente Q se ha desplazado igualmente en un camino CD = q.

Entonces, prescindiendo del roce desarrollado en la máquina, los trabajos ejecutados por ambas fuerzas son:

$$\text{Trabajo motor} = P \cdot p$$
$$\text{Trabajo resistente} = Q \cdot q$$

y como deben ser iguales, tenemos:

$$P \cdot p = Q \cdot q$$

Esto significa que las máquinas constituyen un sistema conservativo de la energía o del trabajo, o sea:

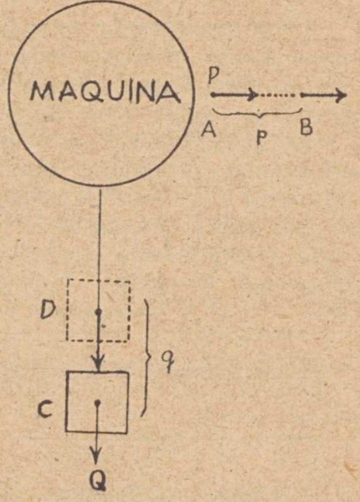


Fig. 121.– El trabajo de la fuerza motriz es igual al trabajo de la resistencia.

Las máquinas no ahorran ni crean energía, pues la energía suministrada a la máquina para que realice un trabajo es equivalente a la energía entregada por ésta.

De ello resulta que la utilidad de las máquinas consiste en la economía de fuerza que reportan, pues ejecutan el mismo trabajo de la resistencia empleando una fuerza motriz menor, pero recorriendo ésta un mayor camino.

Este principio de conservación de la energía o del trabajo en las máquinas sintetiza lo que para algunos es principio de los trabajos virtuales y regla de oro de la mecánica.

98.– RENDIMIENTO DE LAS MAQUINAS.

El principio precedente permite determinar el valor de la fuerza motriz necesaria para *equilibrar* una resistencia dada, pero no para *desplazarla,* pues se ha hecho abstracción del roce, que se opone al movimiento.

En consecuencia, en la práctica, habrá que comunicar a la máquina una fuerza motriz suficiente para equilibrar la resistencia y vencer al mismo tiempo el roce. Esto significa que del trabajo suministrado a la máquina, *una parte se aprovecha para desplazar la resistencia y el resto se pierde en vencer el roce.* Es decir:

Trabajo suministrado = trabajo aprovechado + trabajo perdido

Así pues, una máquina será tanto más útil o tendrá mejor *rendimiento,* cuanto menos trabajo se pierda en hacerla funcionar.

Comparando el trabajo aprovechado con el trabajo suministrado, se obtiene la siguiente definición:

Rendimiento de una máquina es el cuociente entre el trabajo aprovechado y el trabajo suministrado a la máquina.

$$\textit{Rendimiento} = \frac{\textit{trabajo aprovechado}}{\textit{trabajo suministrado}}$$

Si designamos por η (etha) el rendimiento, entonces:

$$\boxed{\eta = \frac{Ta}{Ts}}$$

Como el trabajo aprovechado es siempre menor que el trabajo suministrado a la máquina, el rendimiento se expresa por una fracción que, en forma decimal y con dos cifras, indica el trabajo aprovechado como un porcentaje del trabajo suministrado.

El caso ideal en que el rendimiento es igual a uno es aquel en que el trabajo aprovechado es igual a la totalidad del trabajo suministrado.

En la práctica es imposible construir una máquina cuyo rendimiento sea tal, es decir, de 100%.

Problema.—

Una máquina tiene un rendimiento de 80% y se levanta con ella un cuerpo de 500 kg a 10 m de altura. ¿Qué trabajo debe suministrarse a la máquina?

Solución:

$$\eta = 80\% = 0{,}8$$

$$\vec{P} = 500 \text{ [kg]}$$

$$h = 10 \text{ [m]}$$

$$T_a = \vec{P} \cdot h$$

$$T_s = x$$

$$\eta = \frac{T_a}{T_s}$$

$$0{,}8 = \frac{5000 \text{ [kgm]}}{x}$$

$$x = \frac{5000}{0{,}8} \text{ [kgm]}$$

$$x = 6250 \text{ [kgm]}$$

Respuesta: Debe suministrarse a la máquina un trabajo de 6250 [kgm].

CAPITULO III

EQUILIBRIO EN LAS MAQUINAS SIMPLES

99.– CONDICION GENERAL DE EQUILIBRIO.

Las máquinas simples se caracterizan, en su mayoría, por disponer de un eje de rotación o un punto de apoyo, es decir, son cuerpos sometidos a la condición de girar.

En tal caso, cada una de las fuerzas que actúan, al emplear la máquina, origina un momento estático respecto de dicho punto y la condición de equilibrio será la condición general ya establecida, esto es, la suma algebraica de los momentos estáticos debe ser nula.

Su aplicación es muy útil y sencilla si se hace bajo la forma:

Suma de los momentos positivos = suma de los momentos negativos.

Estudiaremos ahora, en particular, cada máquina simple.

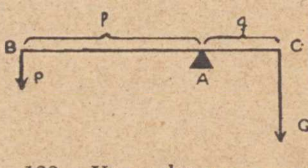


Fig. 122.– Una palanca es una barra rígida que puede girar en torno de un punto de apoyo.

100.– PALANCAS.

Una palanca, en general, es una barra rígida que puede girar en torno de un punto o eje, llamado punto de apoyo.

Sea la palanca BC, apoyada en A, mediante la cual se equilibra una resistencia Q, colocada en C, aplicando en B una fuerza motriz P.

P y Q originan sendos momentos estáticos respecto de A.

El brazo de P es $BA = p$
El brazo de Q es $AC = q$

Entonces:

$$\text{Momento de } P\ (-) = P \cdot p$$
$$\text{Momento de } Q\ (+) = Q \cdot q$$

Aplicamos la condición general de equilibrio y tenemos:

$$\boxed{P \cdot p = Q \cdot q}$$

Es decir, *una palanca está en equilibrio si el producto de la fuerza motriz por su brazo de palanca es igual al producto de la resistencia por el suyo.*

En este caso, se habla de una palanca matemática, pues no se ha considerado el peso de la barra.

En la práctica, sin embargo, no es siempre posible despreciar el peso de la barra, y es por ello que en lo sucesivo, al hablar de palanca, nos referiremos a una *palanca física*, es decir, aquella en que se considera el peso de la barra.

En tales condiciones, los momentos estáticos son tres:

$$M_P\ (-) = P \cdot p$$

$$M_{\vec{P}}\ (-) = \vec{P} \cdot r$$

$$M_Q\ (+) = Q \cdot q$$

Aplicamos la condición de equilibrio y tenemos:

$$P \cdot p + \vec{P} \cdot r = Q \cdot q$$

Fácil es apreciar que el peso de barra favorece a la potencia. Sin embargo, no siempre ocurre así, pues en otros casos, favorece a la resistencia.

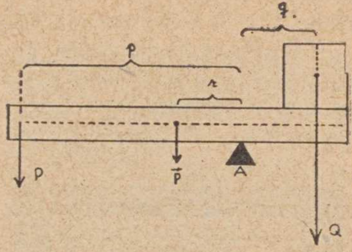


Fig. 123.– Palanca física o palanca propiamente tal.

Clases de Palancas.–

Según la posición que tenga el punto de apoyo con respecto a las fuerzas motriz y resistente, se distinguen palancas de 1.ª, 2.ª y 3.ª clase o género.

Palancas de 1.ª clase.–

Son aquellas en las cuales el punto de apoyo está entre la fuerza motriz y la resistencia (QAP). Véase Fig. 123.

El peso favorece a la fuerza motriz.

Ejemplo: tijeras, balanzas, alzaprima del albañil, etc.

Balanzas.–

Son instrumentos destinados a medir la masa de los cuerpos, por comparación con la masa conocida de otros cuerpos llamados *pesas.*

Las más conocidas son la balanza de precisión y la balanza romana.

Balanza de precisión.–

Está constituída fundamentalmente por una palanca de 1.ª clase, de brazos iguales, llamada cruz, que puede girar alrededor de su punto medio y por dos platillos iguales suspendidos de los extremos de la palanca.

La cruz lleva en su parte media una aguja denominada fiel, que puede oscilar frente a una escala graduada. Si la cruz está completamente horizontal y en equilibrio, el fiel queda frente al cero de la escala.

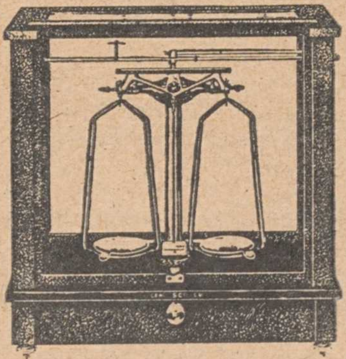


Fig. 124.– Balanza de precisión.

Una buena balanza de precisión debe cumplir las siguientes condiciones: a) exactitud; b) estabilidad y c) sensibilidad.

Una balanza es exacta si los brazos de la cruz son iguales en peso y longitud, y los platillos son también de igual peso.

Una balanza es estable si el centro de gravedad de la cruz está verticalmente por debajo del punto de apoyo.

La estabilidad se reconoce si el fiel retorna al cero de la escala, después de oscilar a uno y otro lado.

Una balanza es sensible si pequeñas masas en los platillos determinan desviaciones apreciables del fiel.

La sensibilidad será tanto mayor cuanto más largos y más livianos sean los brazos de la cruz y cuanto menor sea la distancia del centro de gravedad al punto de apoyo.

Para mantener estas condiciones de la balanza de precisión, se la guarda en una caja de vidrio perfectamente cerrada.

Ejercicios:

1) Pese algunos cuerpos, utilizando la balanza de precisión.
2) Averigüe en qué consiste el método de doble pesada. ¿Hay más de uno?

Balanza romana.–

Es una palanca de 1.ª clase, de brazos desiguales, que lleva un platillo en el brazo más corto y una pesa corrediza, llamada pilón, en el brazo más largo.

Para cuerpos pesados se agregan en el extremo del brazo más largo otras pesas conocidas, mediante un gancho o platillo especialmente dispuesto para ello.

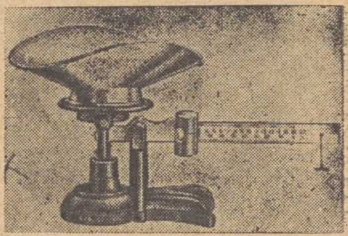


Fig. 125.– Balanza romana.

Palancas de 2.ª clase.–

Son aquellas en las cuales la resistencia está entre el punto de apoyo y la fuerza motriz (AQP).

El peso favorece a la resistencia.

Ejemplo: carretilla, remo, abridor de tarros de conserva y de botellas, cascanueces, martillo para sacar clavos, etc.

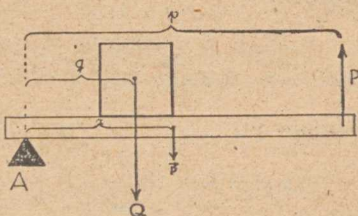


Fig. 126.– Palanca de segunda clase.

Palancas de 3.ª clase.–

Son aquellas en las cuales la potencia está entre el punto de apoyo y la resistencia (APQ).

El peso puede favorecer tanto a la fuerza motriz como a la resistencia.

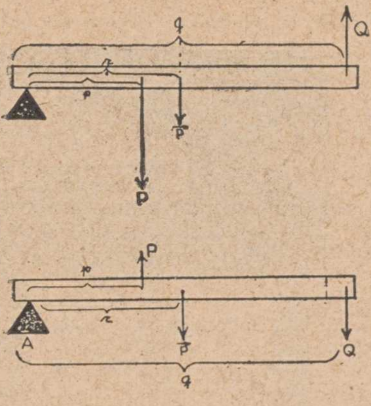


Fig. 127.– Palanca de tercera clase.

En este caso, la fuerza motriz debe ser siempre mayor que la resistencia, es decir no hay economía de fuerza motriz. Por ello, para muchos, este tercer caso no constituye palanca, pues no cumple el principio fundamental de las máquinas simples.

Sin embargo, con ella se consigue ganar velocidad en el desplazamiento de Q, por lo que, para otros, sería una palanca de velocidad.

Ejemplo: pedal estribo del afilador, caña de pescar, pinzas, etc.

Ejercicio.–

Aplique la condición general de equilibrio a cada clase de palanca y obtenga la fórmula correspondiente.

Problema **1.–**

Una viga pesa 15 $\overrightarrow{\text{kg}}$ y se apoya a 60 cm de un extremo en el cual cuelga un peso de 75 $\overrightarrow{\text{kg}}$. ¿Qué largo debe tener la viga para que esté en equilibrio?

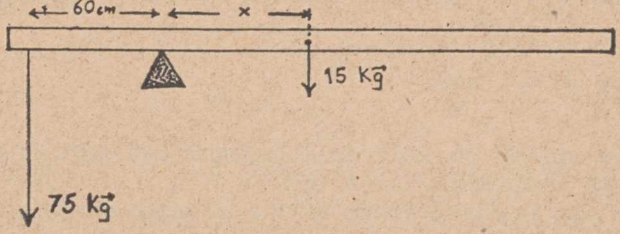


Fig. 128.– Esquema

Solución:

$\vec{P} = 15 \text{ kg}$ Los momentos son:

$\vec{Q} = 75 \text{ kg}$ $M_{\vec{P}} (+) = 15 \cdot x$

$q = 60 \text{ cm}$ $M_{Q} (-) = 75 \cdot 60$

$r = x$

Aplicamos la condición general de equilibrio y tenemos:

$$15 \cdot x = 75 \cdot 60$$

$$x = \frac{75 \cdot 60}{15}$$

$$x = 300 \text{ cm}$$

Respuesta: La viga debe tener 7,2 m de largo.

Problema 2.–

Una barra de 1 m de largo pesa $10 \vec{\text{kg}}$ y soporta en sus extremos dos pesos de 40 y $60 \vec{\text{kg}}$, colocados uno en cada extremo. 1) ¿Qué clase de palanca es? 2) ¿A qué distancia del peso mayor deberá apoyarse para que haya equilibrio?

Solución:

1) Palanca de 1.ª clase, pues A queda entre P y Q.
2) Hagamos un gráfico:

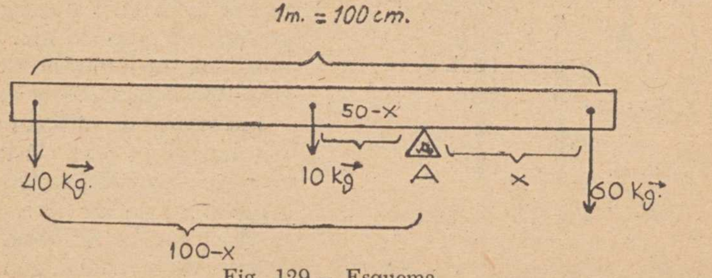


Fig. 129.– Esquema.

Sea x la distancia a que A se encuentra del peso de 60 kg.

Entonces: Los momentos estáticos son:

$$\vec{P} = 40 \text{ kg} \qquad M_{\vec{P}} \ (-) = 40\ (100 - x)$$

$$p = 100 - x$$

$$\vec{Q} = 60 \text{ kg} \qquad M_{\vec{P}} \ (-) = 10\ (50 - x)$$

$$q = x$$

$$\vec{P} = \vec{10} \text{ kg} \qquad M_{\vec{Q}} \ (+) = 60 \cdot x$$

$$r = 50 - x$$

Aplicamos la condición general de equilibrio y tenemos:

$$60x = 40\ (100 - x) + 10\ (50 - x)$$

$$60x = 4000 - 40\,x + 500 - 10\,x$$

$$110x = 4500$$

$$x = 40{,}9 \text{ cm}$$

Respuesta: El punto de apoyo debe estar a 40,9 cm del peso mayor.

101.– POLEAS Y GARRUCHAS.

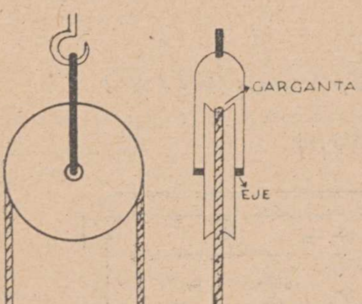


Fig. 130.– Polea.

Una polea es un disco o rueda que puede girar en torno de un eje fijo, que pasa por su centro, y cuya periferia acanalada o *garganta* permite el paso de una soga o cadena mediante la cual se equilibra o traslada la carga.

Las poleas se utilizan para levantar pesos y se clasifican en fijas y móviles, según que presenten sólo un movimiento de rotación en torno de su eje, o bien, un movimiento de rotación y de traslación a la vez.

Poleas fijas.—

Una polea es fija si presenta sólo un movimiento rotatorio en torno de su eje.

Para levantar un cuerpo mediante una polea fija, se lo cuelga de un extremo de la cuerda, que pasa por la garganta, y la fuerza motriz se aplica en el otro extremo, hacia abajo.

Las fuerzas P y Q originan sendos momentos respecto del eje A, en que los brazos son iguales al radio de la polea.

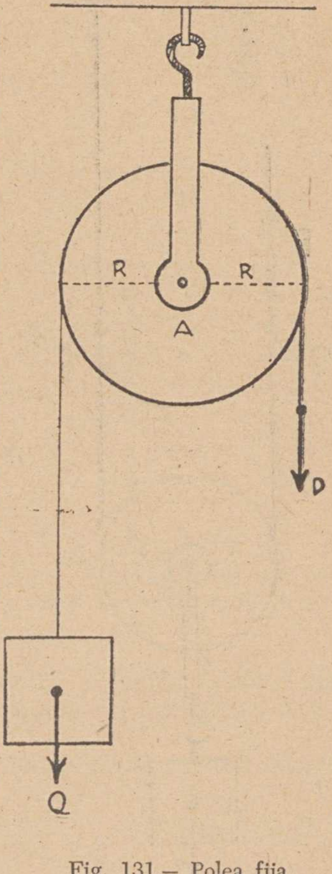


Fig. 131.— Polea fija.

Entonces: $M_P \ (+) = P \,.\, R$

y $\qquad M_Q \ (-) = Q \,.\, R$

Aplicamos la condición general de equilibrio y tenemos:

$$P \,.\, R = Q \,.\, R$$

y dividiendo ambos miembros por R, queda:

$$\boxed{P = Q}$$

Esto significa que:

a) con la polea fija no se economiza fuerza, ya que para levantar una carga Q se requiere una fuerza motriz P igual a Q.

b) su función es cambiar la dirección y sobre todo el sentido de la fuerza motriz y en ello reside su utilidad, permitiendo aprovechar el peso del operador.

Polea móvil.–

Una polea es móvil cuando posee simultáneamente un movimiento de rotación en torno de su eje y de traslación junto con la carga.

Para montar una polea móvil se fija la cuerda por un extremo, se hace pasar por la garganta y en el otro extremo se aplica la fuerza motriz, hacia arriba.

La polea gira en torno de A, que es un punto de tangencia de la cuerda.

Los momentos de P, Q y $\vec{P}$ con respecto a A son:

$$M_{P}\,(+) = P \,.\, 2R$$

$$M_{Q}\,(-) = Q \,.\, R$$

$$M_{\vec{P}}\,(-) = P \,.\, R$$

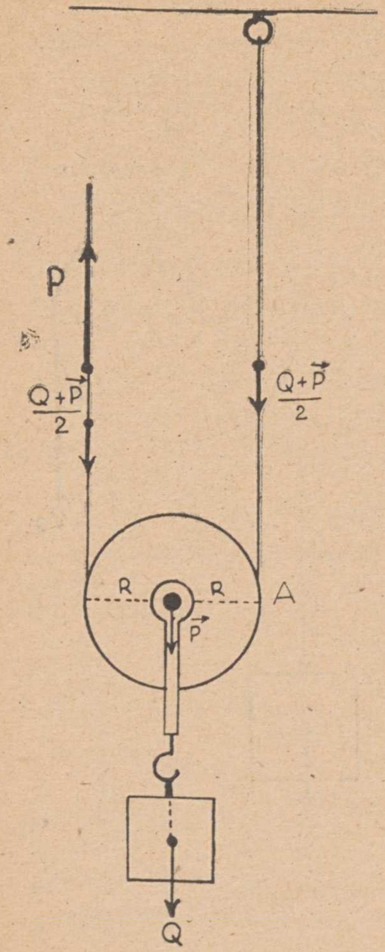


Fig. 132.– Polea móvil

Aplicamos la condición general de equilibrio y se tiene:

$$2\ PR = QR + \vec{P}R$$

Dividiendo ambos miembros por R y despejando P, queda:

$$\boxed{P = \frac{Q + \vec{P}}{2}}$$

Luego, en una polea móvil hay equilibrio si la fuerza motriz es igual a la mitad de la resistencia incluído el peso de la polea y su armadura.

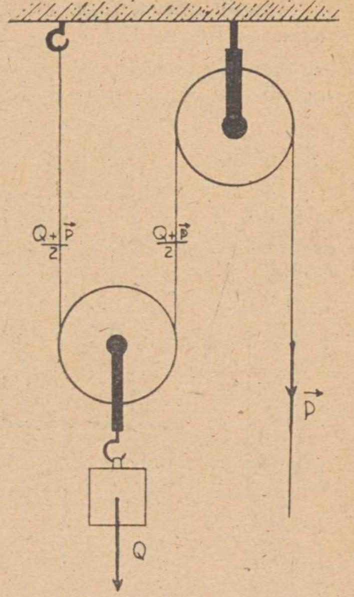


Fig. 133.— Corrientemente una polea móvil se emplea unida a una polea fija.

Corrientemente la p o l e a móvil se emplea unida a una polea fija para modificar el sentido de la fuerza motriz y aplicarla hacia abajo, aprovechando el peso del operador y la mayor comodidad que ello significa.

Una combinación de poleas fijas y móviles recibe el nombre de *garrucha o aparejo.*

Analizaremos dos de estos aparejos: el ordinario y el diferencial.

Garrucha ordinaria.—

Consiste en una combinación de poleas fijas y móviles, en igual número, reunidas en dos armaduras. (Una para las fijas y otra para las móviles).

Puede construirse en cualquiera de las dos formas que indica la figura 134.

En la primera, las poleas son de distinto radio y se ordenan de mayor a menor, hacia el centro. En la segunda, las poleas son todas de igual radio y cada grupo gira en torno de un solo eje.

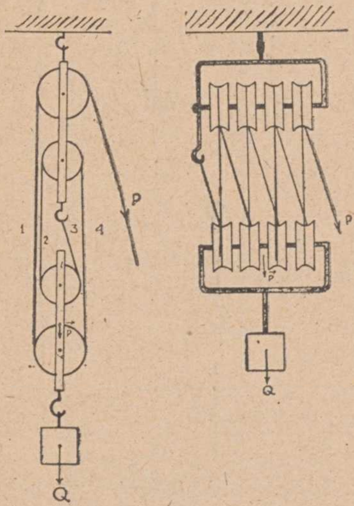


Fig. 134.– Garruchas ordinarias

La resistencia Q y el peso $\vec{P}$ del conjunto móvil, en la primera están sostenidos por cuatro ramas de la cuerda, de modo que cada una soporta sólo la cuarta parte del total.

El sistema permanecerá en equilibrio si la fuerza motriz P equilibra la carga correspondiente a la rama uno, puesto que la dos y la cuatro se equilibran entre sí, en tanto que la tres es equilibrada por la resistencia del conjunto fijo.

Entonces:
$$P = \frac{Q + \vec{P}}{4}$$

Puede observarse que el número de ramas equivale al número total de poleas, de lo cual resulta que si el aparejo tiene n poleas su condición de equilibrio será:

$$\boxed{P = \frac{Q + \vec{P}}{n}}$$

La relación indica que la fuerza motriz será tanto menor cuanto mayor sea el número de poleas.

Por lo tanto, en la garrucha ordinaria hay equilibrio si la fuerza motriz es igual a la carga total dividida por el número total de poleas.

Garrucha diferencial.–

Se llama también *tecle*. Consiste en la combinación de una polea fija de doble garganta y una móvil, de la cual pende la carga.

La polea fija de doble garganta es, en verdad, la unión rígida de dos poleas de distinto radio.

En este aparejo se emplea generalmente como cuerda una cadena sin fin, cuyos eslabones engranan en los dientes de que están provistas las gargantas de las poleas.

La fuerza motriz se aplica en la cadena libre, por la parte que sale de la garganta de mayor radio de la polea fija.

Sobre la polea fija actúan las fuerzas P, $\frac{Q + \vec{P}}{2}$ y $\frac{Q + \vec{P}}{2}$, que originan sendos momentos estáticos respecto del eje de rotación A. Esos momentos son:

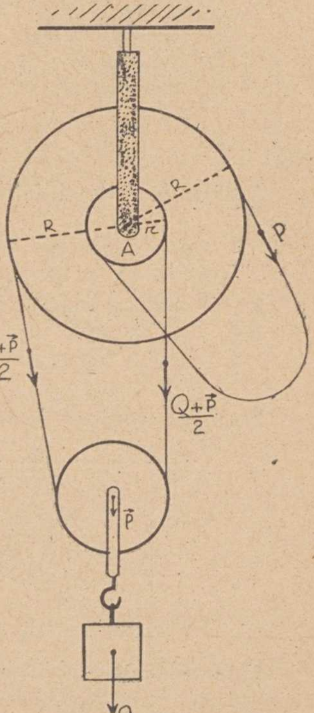


Fig. 135.– Garrucha diferencial o tecle.

$$M_{P}(+) = P \cdot R$$

$$M_{\frac{Q+\vec{P}}{2}}(+) = \frac{Q+\vec{P}}{2} \cdot r$$

$$M_{\frac{Q+\vec{P}}{2}}(-) = \frac{Q+\vec{P}}{2} \cdot R$$

Aplicando la condición general de equilibrio, se tiene:

$$P \cdot R + \frac{Q+\vec{P}}{2} \cdot r = \frac{Q+\vec{P}}{2} \cdot R$$

Fórmula que puede transformarse en:

$$\boxed{P = \frac{Q+\vec{P}}{2R}(R-r)}$$

Esta relación nos indica:

a) que la fuerza motriz será tanto menor cuanto mayor sea el diámetro de la polea fija.

b) que la fuerza motriz será tanto menor cuanto menor sea la diferencia de los radios, y

c) que si los radios son iguales, o sea, su diferencia es nula, la fuerza motriz es cero. Esto significa que el sistema se equilibraría solo, pero también que, por más que se tirara de la cadena, la carga no subiría.

102.– TORNO.

Consiste en un cilindro provisto de un eje horizontal, que se hace girar por medio de una manivela.

Se utiliza especialmente en pozos y minas para sacar agua o levantar cargas.

La potencia se aplica en la manivela, haciendo girar el cilindro, en el cual se enrolla una cuerda de la que pende la carga.

Sean l el largo de la manivela y r el radio del cilindro, entonces los momentos originados por las fuerzas que actúan respecto del eje A son:

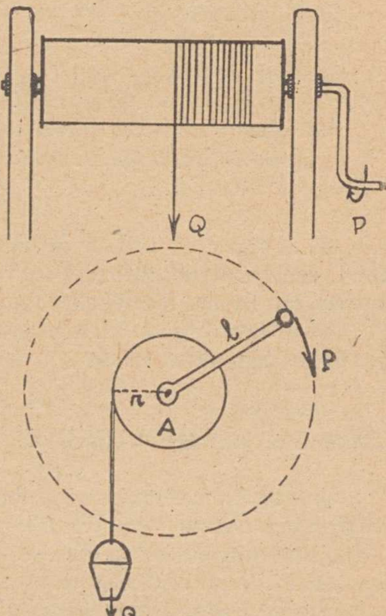


Fig. 136.– Torno.

$$M_P\ (+) = P \cdot l$$

$$M_Q\ (-) = Q \cdot r$$

$$M_{\vec{P}}\ (-) = \vec{P} \cdot r$$

Aplicamos, la condición general de equilibrio y se tiene:

$$P \cdot l = Q \cdot r + \vec{P} \cdot r$$

o sea: $P \cdot l = r\,(Q + \vec{P})$

de donde: $$\boxed{P = (Q + \vec{P})\,\frac{r}{l}}$$

Esta relación indica:

a) que la fuerza motriz, será tanto menor cuanto menor sea el radio del cilindro.
b) que la fuerza motriz será tanto menor cuanto mayor sea el largo de la manivela.

Si el torno se utiliza de modo que gira sobre un eje vertical, recibe el nombre de *cabrestante*. Se emplea preferentemente en faenas marítimas, para arrastrar cargas.

Si el torno lleva además una rueda fija al cilindro, el conjunto se denomina *rueda con árbol*.

103.– PLANO INCLINADO.

¿Cómo se suben los tambores de aceite a un camión o vagón ferroviario?

¿Por qué en las aceras se practica una pendiente oblicua en las salidas o entradas de automóviles?

Se denomina plano inclinado a cualquier plano que forma un ángulo oblicuo con el plano horizontal.

Se lo emplea para levantar grandes cargas arrastrándolas sobre una superficie oblicua en lugar de hacerlo verticalmente.

Reportan gran economía de fuerza motriz, aunque no de trabajo, como ya se estableció respecto de todas las máquinas.

Un plano inclinado se representa por la hipotenusa de un triángulo rectángulo.

Sea el plano H K, cuya inclinación respecto de la horizontal H H' es el $\measuredangle$ KHH' $= \alpha$. En él:

H K = l = largo del plano
H N = b = base del plano
K N = h = altura del plano

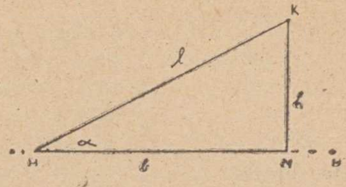


Fig. 137.– Un plano inclinado se representa por la hipotenusa de triángulo rectángulo.

La razón o cuociente entre la altura y la base del plano se denomina pendiente. Esto es:

$$\text{pendiente} = \frac{h}{b}$$

Condición de equilibrio.–

Fig. 138.– Condición de equilibrio en un plano inclinado.

Puede establecerse aplicando la condición de equilibrio de las máquinas en función del trabajo desarrollado.

Al trasladar el cuerpo desde A hasta B, las fuerzas Q y P han recorrido, en sus respectivas direcciones, los caminos h y l, de modo que los trabajos son:

$$T_p = P \cdot l$$
$$T_q = Q \cdot h$$

y como para que haya equilibrio el trabajo motor debe ser igual al trabajo resistente, entonces:

$$\boxed{P \cdot l = Q \cdot h}$$

de donde: $$\boxed{P = Q \cdot \frac{h}{l}}$$

Ecuación que nos indica:

a) la fuerza motriz es tanto menor cuanto mayor sea el largo del plano.
b) la fuerza motriz es tanto menor cuando menor sea la altura del plano.

Por otra parte, al subir el cuerpo su peso se descompone en dos fuerzas, una paralela al plano y otra perpendicular a él.

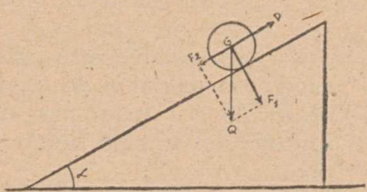


Fig. 139. — Otra forma de la condición de equilibrio en un plano inclinado.

La componente perpendicular, F_1, mantiene adherido el cuerpo al plano, de modo que, para que haya equilibrio, basta que P anule a la componente paralela F_2.

¿Qué parte de Q es F_2?

En el $\triangle\ GF_2Q$, $\measuredangle\ F_2QG = \alpha$, pues tienen sus lados respectivamente perpendiculares.

Entonces: $F_2 = Q. \text{ sen } \alpha$, en que sen α (léase: seno de ángulo alfa) es un factor menor que uno, cuyo valor depende del ángulo α.

Luego, $P = Q \text{ sen } \alpha$, representa ahora la condición de equilibrio del plano inclinado y, comparando con la relación anterior, resulta que sen $\alpha = \dfrac{h}{l}$.

104.– RENDIMIENTO DE LAS MAQUINAS SIMPLES.

La condición de equilibrio deducida para cada máquina simple permite determinar la fuerza motriz necesaria para equilibrar el sistema, que se denomina, por ello, *potencia teórica.*

Sin embargo, para poner el sistema en movimiento, venciendo el roce, se requiere en la mayoría de los casos una fuerza motriz considerablemente superior, llamada *potencia práctica.*

$$\boxed{\textit{Potencia práctica} = \textit{potencia teórica} + \textit{roce}}$$

En consecuencia, el rendimiento de una máquina puede expresarse, ahora, en la forma siguiente:

$$\boxed{\textit{Rendimiento} = \frac{\textit{potencia teórica}}{\textit{potencia práctica}}}$$

o sea:

$$\boxed{\eta = \frac{P_t}{P_p}}$$

Problema 1.–

Para cargar un camión con barriles de vino que pesan 300 $\vec{kg}$ c/u, se emplea un par de tablones de 3,6 m de largo. ¿Qué fuerza debe aplicarse, si los barriles deben subirse a 1,2 m de altura?

Solución:

$Q = 500 \vec{kg}$

$h = 1{,}2$ m

$l = 3{,}6$ m

$P = x$

$$P = \frac{Q \cdot h}{l}$$

$$x = \frac{300\ [\vec{kg}] \cdot 1{,}2\ [m]}{3{,}6\ [m]}$$

$$x = 100\ [\vec{kg}]$$

Respuesta: Debe aplicarse una fuerza motriz de **100** $\vec{\mathbf{kg}}$**, para** subir cada barril.

Problema 2.–

¿Qué fuerza debe aplicarse para subir por un riel de 2,4 m de largo un bulto de ¼ de tonelada de peso a un camión de 1,2 m de altura, si el rendimiento del plano inclinado así formado es de 75%? (Bachillerato, enero 1959).

Solución:

Se calcula primero la potencia teórica:

$Q = 250\ [\vec{kg}]$

$l = 2{,}4\ [m]$

$h = 1{,}2\ [m]$

$\eta = 75\% = 0{,}75$

$P'_p = x$

$$P_t = \frac{Q \cdot h}{l}$$

$$P_t = \frac{250\ [\vec{kg}] \cdot 1{,}2\ [m]}{2{,}4\ [m]}$$

$$P_t = 125\ [\vec{kg}]$$

Luego: $\eta = \dfrac{P_t}{P_p}$

$$0{,}75 = \frac{125\ [\vec{kg}]}{x}$$

$$x = \frac{125}{0{,}75}\ [\vec{kg}]$$

$$x = 166\ 2/3\ [\vec{kg}]$$

Respuesta: Debe aplicarse una fuerza de 166 2/3 $[\vec{kg}]$.

SINTESIS

Roce:

- *Concepto:* es la resistencia que la materia opone al movimiento en las superficies de contacto de los cuerpos.
- *Tipos de Roce:*
  - *Resbalante:*
    - *Concepto:* es el roce desarrollado al resbalar una superficie sobre otra.
    - *Fórmula:* $$\boxed{R = N \cdot \alpha}$$
  - *Rodante:*
    - *Concepto:* es el roce desarrollado en las superficies de contacto de un cuerpo que rueda sobre otro.
    - *Fórmula:* $$\boxed{R = \frac{N \beta}{r}}$$
- ***Puede ser:***
  - *Util:* al frenar o transmitir un movimiento, al coger un objeto, etc.
  - *Perjudicial:* cuando se desea mantener un movimiento. (Limita el rendimiento de las máquinas).

- ***Rendimiento de las máquinas:***
  - *Concepto de máquina:* Son aparatos destinados a multiplicar fuerzas, proporcionando al hombre mayor comodidad en la aplicación de las fuerzas, ya sea cambiando su dirección y sentido o bien reduciendo su intensidad.
  - *Conservación de la energía en las máquinas:* Las máquinas no ahorran ni crean energía, pues la energía suministrada a la máquina para que realice un trabajo es equivalente a la energía entregada por ésta.
  - *Concepto de Rendimiento:*
    - Es el cuociente entre el trabajo aprovechado y el trabajo suministrado a la máquina.

      $$\boxed{\eta = \frac{T_a}{T_s}}$$

    - Es el cuociente entre la potencia teórica y la potencia práctica.

      $$\boxed{\eta = \frac{P_t}{P_p}}$$

      (es menor que uno y se expresa en tanto %).

- ***Máquinas simples:***
  - *Concepto:* son las máquinas constituídas por un solo cuerpo y se caracterizan en su mayoría, por estar sometida a la condición de girar.
  - *Condición general de equilibrio:*
    - Suma de los momentos estáticos positivos igual suma de los momentos estáticos negativos.
    - Excepción: *plano inclinado*: se aplica la ley de conservación de la energía en las máquinas, o sea: trabajo suministrado igual trabajo entregado por la máquina.

Máquinas simples: *Tipos.*

- *Palancas:*
  - 1.ª clase: Q A P: Balanzas, tijeras.
  - 2.ª clase: A Q P: carretilla, remo.
  - 3.ª clase: A P Q: pinzas, caña de pescar.
- *Poleas:*
  - Fija: $\boxed{P = Q}$
  - Móvil: $$\boxed{P = \frac{Q + \vec{P}}{2}}$$
- *Garruchas:*
  - Ordinaria: $$\boxed{P = \frac{Q + \vec{P}}{n}}$$
  - Diferencial: $$\boxed{P = \frac{Q + \vec{P}}{2R} (R - r)}$$
- *Torno:* $$\boxed{P = (Q + \vec{P}) \frac{r}{l}}$$
- *Plano inclinado:* $$\boxed{P = \frac{Q\,h}{l}}$$

CUESTIONARIO

1.– Defina o explique los conceptos siguientes:

a) roce
b) roce resbalante
c) roce rodante
d) coeficiente de roce resbalante
e) coeficiente de roce rodante
f) máquina
g) máquina simple
h) palanca
i) polea
j) plano inclinado.

2.– ¿Qué significa que el coeficiente de roce resbalante para acero sobre acero sea 0,6?
3.– ¿Qué es el roce y de qué factores depende? (Bachillerato, enero 1959).
4.– ¿Qué aplicaciones prácticas tiene el roce?
5.– ¿Cómo se transforma el roce resbalante en rodante?
6.– ¿Qué se entiende por rendimiento de una máquina?
7.– ¿Qué significa que una máquina tenga un rendimiento del 80%? (Bachillerato, enero 1959).
8.– ¿Por qué es importante determinar la condición de equilibrio en las máquinas simples?
9.– ¿Qué condiciones de equilibrio se aplican a las máquinas simples?
10.– ¿Qué condiciones debe cumplir una buena balanza de precisión?
11.– Indique en el cuerpo humano los tres tipos de palancas.

PROBLEMAS

1.– Un trineo que pesa 120 $\vec{kg}$ se utiliza para transportar una carga de 300 $\vec{kg}$. ¿Qué fuerza se requiere para ponerlo en movimiento? $\alpha = 0,15$.

R: 63 [$\vec{kg}$]

2.– Un cubo de acero de 10 cm de arista se arrastra sobre un plano horizontal de acero empleando una fuerza de 4,5 $\vec{kg}$. ¿Cuál es el coeficiente de roce correspondiente?

R: 0,6

3.– ¿Con qué fuerza normal actúa sobre un piso de madera una rueda de madera de 42 cm de radio, si para moverla se requiere una fuerza de 0,13 $\overrightarrow{kg}$? $\beta = 0{,}013$.

R: 420 $[\overrightarrow{kg}]$

4.– ¿Qué fuerza se requiere para levantar un peso de 450 $\overrightarrow{kg}$ por medio de: a) una polea fija, b) una polea móvil que pesa 2,5 $\overrightarrow{kg}$, c) una garrucha ordinaria de 6 poleas, con un aparejo móvil que pesa 7,2 $\overrightarrow{kg}$?

R: a) 450 $[\overrightarrow{kg}]$

b) 226,25 $[\overrightarrow{kg}]$

c) 76,2 $[\overrightarrow{kg}]$

5.– Un cuerpo de 358 $\overrightarrow{kg}$ se levanta con un tecle cuyos radios tienen una diferencia de 2 cm empleando una fuerza de 40 $\overrightarrow{kg}$. ¿Cuánto valen los radios, si la polea móvil pesa 2 $\overrightarrow{kg}$?

R: 9 y 7 cm

6.– ¿Cuántas poleas debe tener una garrucha ordinaria para levantar un peso de 304 $\overrightarrow{kg}$ con una fuerza motriz de 40 $\overrightarrow{kg}$, si la armadura inferior pesa 12 $\overrightarrow{kg}$ y cada polea móvil, 2 kg?

R: 8 poleas

7.– Se desea levantar un cuerpo que pesa 750 $\overrightarrow{kg}$ con una barra que se apoya a 40 cm del cuerpo, mediante una fuerza aplicada a 2,5 m de dicho punto de apoyo. ¿Qué fuerza motriz se aplica? ¿Cuánto debe pesar la barra para que la fuerza motriz se reduzca en $\dfrac{1}{20}$?

: a) 120 $[\overrightarrow{\text{kg}}]$

b) 14,28 $[\overrightarrow{\text{kg}}]$

8.– Con un tablón de 15 $\overrightarrow{\text{kg}}$ y 2,4 m de largo, apoyado en un extremo, se sostiene un cuerpo de 130 $\overrightarrow{\text{kg}}$, colocado a 60 cm del extremo en que se apoya. ¿Qué fuerza se aplica para equilibrarlo, en el otro extremo?

R: 40 $[\overrightarrow{\text{kg}}]$

9.– Con una garrucha diferencial se levantan 540 $\overrightarrow{\text{kg}}$ a 6 m de altura. Los radios de la polea fija miden 12 y 8 cm. ¿Cuál es el rendimiento del tecle si se han suministrado 700 [kgm] de trabajo?

R: 77%

10.– Un motor eléctrico de 6 [kw] de potencia levanta un peso de 4500 $\overrightarrow{\text{kg}}$ a 10 m de altura en 1,5 min. ¿Cuál es el rendimiento del motor?

R: $81\frac{2}{3}$ %.

APENDICE: BACHILLERATO

1.– TEMARIO DE FISICA

Nuevo Temario de Física aprobado por el Honorable Consejo Universitario y que está en vigencia desde la temporada de bachillerato correspondiente a enero de 1961. Los números que se agregan entre paréntesis después de cada materia, señalan la página de este libro en que se trata el mismo tema.

1.– Conceptos fundamentales de la Física: unidades y sus sistemas. Principios de conservación. Gravitación universal (227).
2.– Movimientos rectilíneos (177) y curvilíneos; movimientos oscilatorios.
3.– Principios de Newton (209). Fuerza (33) y torque (257). Equilibrios (264). Máquinas simples (331) (palanca, polea, plano inclinado). Roce resbalante (317).
4.– Trabajo (283); energía cinética (301) y potencial (299). Potencia (289); rendimiento (328).
5.– Presión (38). Estática de los flúidos (63).
6.– Temperatura. Dilatación; termómetros.
7.– Cantidad de calor; conservación y transformación de la energía (mecánica (306), calórica, eléctrica). Propagación del calor.
8.– Primer y segundo principios de la Termodinámica. Aplicación a motores.
9.– Estados de agregación molecular y sus cambios. Calorimetría.
10.– Ondas (en general) y su propagación; reflexión, refracción e interferencia.

11.— Sonidos. Cuerdas vibrantes.
12.— Luz y sombra. Espejos, prismas y lentes. Imágenes en: proyectora, micróscopio y prismáticos. Espectro luminoso.
13.— Electricidad estática. (Carga eléctrica, capacidad, potencial).
14.— Corriente eléctrica: tensión e intensidad. Circuitos; resistencia.
15.— Efectos de la corriente: calórico, químico y magnético. Trabajo y potencia.
16.— Leyes del electromagnetismo e inducción. Aplicaciones a motor, dínamo y transformador.
17.— Fuentes de la corriente eléctrica.
18.— Ondas electromagnéticas. Rectificación y amplificación.
19.— Descargas en gases. Radioactividad.

—o—

Con respecto al primer tema, el candidato deberá poseer los siguientes conocimientos: a) El principio de la conservación de la energía (306) y su transformación; los principios de Newton (209) y el de Arquímedes (88); la Ley de la Gravitación Universal (227) y su ampliación para los campos magnéticos y eléctricos. (Leyes de Coulomb); b) Los conceptos de velocidad (166), aceleración (171), fuerza (33), trabajo (283), potencia (289), momento de fuerza (257), rendimiento (328), presión (38), densidad (49), cantidad de calor, temperatura, frecuencia y período; c) Las unidades correspondientes a los conceptos antes mencionados y en los diferentes sistemas exigidos en el programa.

2.– CUESTIONARIOS PROPUESTOS

Enero 1959

Las preguntas y problemas marcados con un asterisco corresponden a materias desarrolladas en este texto.

Cuestionario Nº 1.

Primera pregunta:

a) La aceleración de un móvil es $a = 0{,}5 \dfrac{\text{m}}{\text{seg. min}}$

¿Cómo puede interpretarse de dos maneras diferentes este resultado?

b) El índice de refracción para los medios aire-agua vale 1,33. Explique en palabras lo que esto significa.

c) ¿Qué clase de imágenes produce un microscopio simple? Haga un gráfico y justifique su respuesta.

Segunda pregunta:

Explique por qué y dónde puede producirse el espectro luminoso.

Tercera pregunta: *

¿Qué influencia tendrá el tamaño de los neumáticos en el movimiento de un automóvil? Justifique su respuesta. ¿Qué instrumento del vehículo deberá calibrarse de acuerdo con el tamaño de las ruedas?

Cuarta pregunta: *

La arista de un cubo de mármol mide 0,80 m. Calcular su estabilidad en newton y en kg-p si la densidad del mármol es 5 unidades.

(Resuelto, pág. 272)

Quinta pregunta:

A.— (Sólo para menciones Biología y Química).

a) Explique lo que se entiende por movimiento oscilatorio de una partícula.

b) ¿Qué diferencia hay entre una onda sonora y otra luminosa en lo que se refiere a los medios de propagación?

B.— (Sólo para mención Matemáticas).

Una lámpara de incandescencia tiene una resistencia de 880 ohm y está construída para funcionar en una red de 220 volt. ¿Qué cantidad de calor desarrollará por segundo en su filamento?

Cuestionario Nº 2

Primera pregunta:

a) ¿Qué significa que el calor específico del plomo sea 0,032?
b) ¿Qué miden las siguientes unidades: 1 kw; 1 kwh; 1 joule; 1 newton? *
c) ¿Qué significa que una máquina tenga un rendimiento del 80%? *

Segunda pregunta:

Explique en forma breve, pero en lo más fundamental, el funcionamiento de la máquina de vapor.

Tercera pregunta:

a) ¿Por qué la caldera de una calefacción central se encuentra siempre en el subterráneo de un edificio?
b) ¿Qué efectos de la corriente eléctrica sirven para medir su intensidad?

Cuarta pregunta:

La temperatura de un enfermo es 102,2° F. ¿A cuántos grados C corresponde? ¿Cuántos grados marcaría en la escala Kelvin?

Quinta pregunta:

A.— (Sólo para menciones Biología y Química).

a) Indique dos funciones que cumple un galvanómetro.

b) Indique las unidades absolutas de fuerza, trabajo y presión. *

B.– (Sólo para mención Matemáticas).
Un generador produce 5 kw y entrega un potencial de 1250 V. Si el conductor ofrece una resistencia de 3,125 ohm. ¿Qué % de energía se pierde?

Cuestionario Nº 3

Primera pregunta:

a) Indique las unidades absolutas de: dilatación cúbica; energía; empuje; aceleración.
b) Exprese en tres unidades distintas la presión atmosférica normal.
c) ¿Qué es un momento estático?

Segunda pregunta:

Enuncie la ley de Joule, diga lo que entiende por coeficiente calórico de Joule y mencione aplicaciones de la ley indicada.

Tercera pregunta:

a) Explique el funcionamiento de la olla a presión.
b) ¿Por qué cuando se evapora un líquido se produce un descenso de temperatura?

Cuarta pregunta:

Una esfera de cobre tiene un volumen de 2000 cm^3 a –20° C. ¿Qué volumen tendrá a 60° C? (Para el cobre el coeficiente de dilatación lineal vale 0,000017).

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
a) ¿Qué significa que la temperatura crítica de un gas sea –140° C?
b) ¿Qué miden los siguientes aparatos: termómetros, barómetro, densímetro, higrómetro?

B.– (Sólo para mención Matemáticas).
La resistencia específica de un conductor es 0,2, su largo es 50 km y su sección 0,02 mm^2. Si por el circula una corriente de intensidad 4 A durante 10 minutos, ¿qué cantidad de calor se produce?

Cuestionario Nº 4

Primera pregunta:

a) Enuncie una de las leyes de Biot-Savart e indique una aplicación de ella.
b) ¿En qué unidades se mide la energía? *
c) Enuncie la ley de Coulomb en electrostática y escriba la fórmula correspondiente.

Segunda pregunta:

Explique en qué consiste el eco, factores y diferentes clases de eco.

Tercera pregunta:

Aplique las leyes de las cuerdas a una guitarra.

Cuarta pregunta:

¿Cuál es la longitud de onda que produce el sonido correspondiente a la nota sol_5 si el intervalo entre sol y la tónica es $\frac{3}{2}$? La propagación del sonido se efectuó en el aire.

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
a) Propiedades de los rayos catódicos.
b) Propiedades y aplicaciones de los rayos X.

B.– (Sólo para mención Matemáticas).
Un condensador tiene placas cuadradas de lado 10 cm, las que están separadas por una hoja de mica ($K=8$) de espesor 0,2 mm. Se la carga con una masa eléctrica de 2,5 Coulomb. ¿Cuál es la capacidad del condensador y qué potencial adquiere?

Cuestionario Nº 5

Primera pregunta:

a) ¿A qué se llama longitud de onda?
b) ¿Entre qué longitudes de onda se extiende el espectro luminoso visible?

c) ¿Qué significa la expresión: $5 \frac{\text{radianes}}{\text{seg}}$?

Segunda pregunta:

Explique las diferentes formas de acoplamiento de pilas.

Tercera pregunta:

a) ¿Qué diferencia hay entre una imagen real y una imagen virtual?
b) ¿Pueden reflejarse las ondas sonoras?
Demuestre con aplicaciones prácticas su opinión.

Cuarta pregunta:

Calcular la intensidad de la corriente que circula en un conductor eléctrico de cobre de 50 m de largo y 1 mm^2 de sección si entre sus extremos se aplica una tensión de 2 volt sin tomar en cuenta la influencia de la temperatura. Resistencia específica del cobre = 0,16.

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
¿En qué consisten la miopía y la hipermetropía? ¿Cómo se corrigen?
B.– (Sólo para mención Matemáticas).
Un avión necesita para despegar de un aeródromo 500 m. Si parte del reposo con movimiento uniformemente acelerado y demora 25 seg. en despegar. ¿Cuál es su velocidad en el momento de despegar?
(Resuelto, pág. 184)

Cuestionario Nº 6

Primera pregunta:

a) ¿Qué se entiende por rendimiento de una máquina?
b) ¿Qué es el roce y de qué factores depende?
c) ¿Qué significa la expresión 15 joule?

Segunda pregunta:

Describa el termómetro de máxima y mínima y explique su funcionamiento.

a) ¿Por qué el motor a explosión necesita sistema especial de encendido y el de combustión interna no?
b) Cite tres propiedades de los cuerpos que dependan de su temperatura y que se empleen en la fabricación de termómetros.

Cuarta pregunta: *

Usando la energía eléctrica se ha levantado un cuerpo de 5 toneladas de peso a 15 m de altura. Calcular el dinero gastado sabiendo que 1 kwh vale $ 20.

(Resuelto, pág. 300)

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
¿Cómo podemos aprovechar la energía potencial de una cascada de agua para transformarla en trabajo mecánico y también para transformarla en energía eléctrica?

B.– (Sólo para mención Matemáticas).
¿Qué fuerza debe aplicarse para subir por un riel de 2,40 m de largo un bulto de un cuarto tonelada de peso a un camión de 1,20 m de altura si el rendimiento del plano inclinado así formado es de un 75%? *

(Resuelto, pág. 350).

Cuestionario Nº 7

Primera pregunta: *

a) ¿Qué significa que la presión atmosférica sea de 70 cm de Hg?
b) ¿Qué se entiende por resultante de un sistema de fuerzas?
c) ¿Qué es un cv?

Segunda pregunta:

Cite tres procedimientos para producir frío artificialmente e indique una aplicación en cada caso.

Tercera pregunta: *

a) ¿Qué defecto tiene el barómetro de Torricelli?
b) ¿Por qué no se fabrican barómetros a base de agua?

Cuarta pregunta: *

Un terrón de azúcar pesa en el aire 5,6 gramos y sumergido en petróleo de densidad 0,8 pesa 2,8 g. Calcular la densidad del azúcar. (Resuelto, pág. 96)

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
¿Qué diferencias y semejanzas hay entre un vapor y un gas? ¿Puede encontrarse el agua en estado de gas?

B.– (Sólo para mención Matemáticas).
Un motor de corriente continua desarrolla una potencia de $\frac{1}{4}$ cv.
Determinar la intensidad de la corriente que consume si funciona en una línea de 220 volt.

Cuestionario Nº 8

Primera pregunta:

a) ¿Qué es un Farad? ¿A qué sistema de unidades pertenece?
b) ¿Qué es un sonido armónico?
c) ¿Qué significa la expresión: $3 \dfrac{\text{líneas de fuerza magnética}}{\text{cm cuadrado}}$

Segunda pregunta:

¿Para qué sirve un transformador de corriente alterna? Explique su funcionamiento y dibuje un gráfico.

Tercera pregunta:

¿Para qué sirve el inclinómetro y en qué se basa?

Cuarta pregunta:

Calcular la longitud de una cuerda para que dé la nota La_4, sabiendo que si mide 1 m da la nota Do_2.

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
¿En qué consiste la fluorescencia de una sustancia y qué diferencias tiene con la fosforescencia?

B.– (Sólo para mención Matemáticas).
¿Qué carga eléctrica hay que aplicar a un condensador de discos para que adquiera un potencial de 150 volt si las placas conductoras miden respectivamente 100 π cm^2 de área y están separadas 1 mm por un dieléctrico de constante $K = 8$?

Cuestionario Nº 9

Primera pregunta:

a) ¿Qué significa $1{,}5 \dfrac{g}{cm^3}$?

b) ¿Qué relación matemática hay entre frecuencia y período? ¿En qué unidades se mide cada cantidad?

c) Dése un rayo incidente y una superficie de refracción. Dibuje el rayo refractado, si $n = \dfrac{5}{2}$

Segunda pregunta:

Explique el fenómeno denominado: aberración cromática.

Tercera pregunta:

a) ¿Por qué nuestros abuelos usan lentes convergentes para leer?

b) ¿Por qué al elemento de la Tabla Periódica, se le denominó Helio?

Cuarta pregunta:

Una hombre para afeitarse o una dama para depilarse, necesita ver la imagen de su rostro, en un espejo cóncavo, de doble tamaño. Si el espejo tiene un radio de curvatura de 1 m, ¿a qué distancia del espejo deberá colocarse para conseguir el objetivo?

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
Señale tres características de las ondas electromagnéticas.

B.– (Sólo para mención Matemáticas).

Se lanza verticalmente hacia arriba, con una velocidad de 200 $\frac{m}{seg}$, un proyectil en el cual, antes de volver a caer al suelo, tiene lugar una detonación cuyo estrépito se percibe 8 seg. después de su lanzamiento. Calcular el instante en que se produjo la explosión, a contar desde su lanzamiento. Calcular además la altura a la cual se produjo dicha explosión. Tómese la velocidad del sonido como 340 $\frac{m}{seg}$.

Cuestionario Nº 10

Primera pregunta:

a) ¿En base a qué principio o fenómeno físico, operan o funcionan los termómetros?

b) ¿A qué ley corresponde la fórmula: •

$$X = \frac{K \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Enúnciela y exprese el significado de K.

Segunda pregunta:

Explique cómo podría Ud. comprobar si su medidor eléctrico está en buenas condiciones y con ello comprobar que las cuentas de consumo son correctas.

Tercera pregunta:

a) ¿Por qué la f.e.m. de una fuente de corriente, es mayor que la caída de tensión que provoca el circuito exterior?

b) ¿Por qué son necesarios los puntos fijos de las escalas termométricas?

Cuarta pregunta: •

Una bala de 20 gramos, choca con un trozo de madera y penetra en él 8 cm. Si la velocidad de él fue de 400 $\frac{m}{seg}$, ¿qué fuerza opuso a la penetración, el trozo de madera?

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
¿Cómo se originó la escala Kelvin?

B – (Sólo para mención Matemáticas).
Se empuja un cuerpo sobre un plano horizontal de modo que adquiera una velocidad de $40 \frac{m}{seg}$. Si el coeficiente de roce es 0,2; calcular el desplazamiento total de dicho cuerpo.

Cuestionario Nº 11

Primera pregunta: *

a) ¿Es para Ud. lo mismo densidad que peso específico? Explique.
b) ¿Cómo varía la energía cinética si un cuerpo triplica su velocidad?

Segunda pregunta:

Explique por qué un barómetro aneroide, al llevarlo de un lugar de la Tierra, a otro distante es preciso adaptarlo al segundo lugar? ¿En qué consiste esta adaptación?

Tercera pregunta:

a) ¿Bajo qué condición un sistema de n fuerzas cualesquiera, coplanarias, está en equilibrio? Dé la respuesta de dos maneras diferentes. *
b) ¿Por qué a las ampolletas debe quitárseles el aire interior?
c) ¿Qué papel desempeña el inducido móvil de un generador, al funcionar como motor?

Cuarta pregunta: *

Mediante una prensa hidráulica sencilla, se quiere elevar un automóvil, para su limpieza, cuyo peso es de 2700 kg. Si los diámetros de los émbolos son de 4 y 60 cm respectivamente, ¿qué fuerza es necesario aplicar, para obtener dicho objetivo?

(Resuelto, pág. 68)

Quinta pregunta:

A.– (Sólo para menciones Biología y Química).
Explique por qué es posible la vida en el fondo de los mares, lagos o ríos, cuya superficie está solidificada.

B.— (Sólo para mención Matemáticas).

¿A qué temperatura llegaría 1 gramo de una sustancia que estaba a 20° C, si se le aplican 12 calorías y su calor específico es 0,03?

Cuestionario Nº 12

Primera pregunta:

a) Explique qué es un Gauss.

b) Explique qué clase de sonidos armónicos se producen en las cuerdas. Dé un ejemplo.

Segunda pregunta:

Explique la formación de iones, tanto positivos como negativos desde el punto de vista de la estructura atómica, universalmente aceptada.

Tercera pregunta:

a) ¿Qué efecto se produce en el tono de la nota, dada por la cuerda de un violín, cuando: (1) la cuerda se acorta; (2) cuando la cuerda se somete a mayor tensión; (3) cuando se pulsa con mayor energía, y (4) cuando su masa por unidad de longitud, aumenta?

b) ¿Qué significa que el intervalo entre dos notas musicales sea de 7 : 5?

Cuarta pregunta:

Una bobina de 1000 vueltas, encierra un flujo magnético de 10 000 líneas de fuerza. Si éste baja a 200 Maxwell en 0,2 seg, ¿cuál será la f.e.m. inducida en la bobina?

Quinta pregunta:

A.— (Sólo para menciones Biología y Química).

Explique lo que es un relais, cómo funciona y enumere tres aplicaciones o usos.

B.— (Sólo para mención Matemáticas).

Un electrómetro marca 800 volt; tocándolo con una esfera de 18 cm de diámetro, baja el potencial a 300 volt. ¿Cuál es la capacidad del electrómetro?

I N D I C E

Capítulo II.— PRINCIPIOS DE LA NEUMOSTÁTICA.

Capítulo III.— LA CONQUISTA DEL ESPACIO.

IV Unidad: FUERZA Y MOVIMIENTO

Capítulo I.— MOVIMIENTOS.

Capítulo II.— PRINCIPIOS DE NEWTON Y LA LEY DE LA GRAVITACION UNIVERSAL.

V Unidad: FUERZA Y EQUILIBRIO

Capítulo I.— COMPOSICION Y DESCOMPOSICION DE FUERZAS.

Capítulo II.— EQUILIBRIO Y ESTABILIDAD.

VI Unidad: TRABAJO, POTENCIA Y ENERGIA

Capítulo I.— TRABAJO MECANICO.

Capítulo II.— POTENCIA MECANICA.

Capítulo III.— ENERGIA.

VII Unidad: ROCE Y MAQUINAS SIMPLES

Capítulo I.— ROCE.

Capítulo II.— RENDIMIENTO DE LAS MAQUINAS.

Capítulo III.— EQUILIBRIO EN LAS MAQUINAS SIMPLES.

APENDICE: BACHILLERATO

El 10 de marzo de 1961, los Talleres de la Editorial Universidad Católica, dieron término a la impresión de la 3.a edición del TEXTO DE FISICA, para el Cuarto Año de Humanidades de que son autores los profesores Roberto Herrera F. y Teodoro Jarufe A. La preparación técnica y diagramación de la obra estuvo a cargo de Alfonso Naranjo U. La Portada e ilustraciones son de Jorge Barros T.

FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA

CASILLA 3942 TELEF. 381711 — SANTIAGO DE CHILE

1961

decirlo con orgullo, ha tenido plena aceptación y comprensión de parte de los maestros y de los alumnos.

Aparecida la primera edición del TEXTO DE FISICA, para IV año de Humanidades, en septiembre de 1959, ya, apenas transcurrido año y medio, ha sido necesario lanzar la tercera edición del libro.

Y no podía ser menos el premio logrado para este esfuerzo ya que no se han omitido desvelos para lograr una obra que tratando toda la materia exigida por el Programa Oficial del curso, se completa además, con los requerimientos de las pruebas de Bachillerato y avanza aún más allá, anticipándose a una reforma ineludible en los planes y exigencias oficiales para el IV año de Humanidades.

Los profesores Herrera y Jarufe, por su parte, han tenido tanta acuciosidad en su labor que, por ejemplo, al tratar lo relativo a la Física Espacial, han incluido capítulos que traten gráficamente la historia de la aviación, la tabla de los satélites que los científicos norteamericanos y rusos han colocado en órbita, con sus principales características. Incluso han incluido fotografías recientes que muestran las expresiones que los sabios rusos habrían logrado de la "cara desconocida" de la luna.

Desde otro ángulo el TEXTO DE FISICA, para IV año, de Herrera y Jarufe, dedica especial atención a la demostración de problemas, a la ilustración de cada materia con ejemplos tomados de la vida real y termina, cada capítulo, con un completo cuadro resumen que permite al alumno refrescar y sintetizar sus aprendizajes.

Finalmente el FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA tiene el agrado de anunciar que ya tiene en venta el tomo de TEXTO DE FISICA, de los profesores Herrera y Jarufe, para el Quinto Año de Humanidades y espera muy pronto entregar al público el tomo correspondiente al VI año Hdes, completando todo el segundo ciclo de humanidades con la edición completa de los textos de Física.

TEXTO
DE
FISICA

Tomo I para

IV Año Humanidades

Prof. **R. Herrera F.**

Prof. **T. Jarufe A.**

FONDO EDITORIAL
EDUCACION MODERNA

FONDO EDITORIAL EDUCACION MODERNA

AGUSTINAS 814 - LOCAL 28 - TEL. 381711

CASILLA 3942 - SANTIAGO DE CHILE