

**UDS**

**UDS**

**LIBRO**

Física II

Bachillerato

Cuatrimestre V

---

## Marco Estratégico de Referencia

---

### Antecedentes históricos

Nuestra Universidad tiene sus antecedentes de formación en el año de 1978 con el inicio de actividades de la normal de educadoras “Edgar Robledo Santiago”, que en su momento marcó un nuevo rumbo para la educación de Comitán y del estado de Chiapas. Nuestra escuela fue fundada por el Profesor Manuel Albores Salazar con la idea de traer educación a Comitán, ya que esto representaba una forma de apoyar a muchas familias de la región para que siguieran estudiando.

En el año 1984 inicia actividades el CBTiS Moctezuma Ilhuicamina, que fue el primer bachillerato tecnológico particular del estado de Chiapas, manteniendo con esto la visión en grande de traer educación a nuestro municipio, esta institución fue creada para que la gente que trabajaba por la mañana tuviera la opción de estudiar por las tardes.

La Maestra Martha Ruth Alcázar Mellanes es la madre de los tres integrantes de la familia Albores Alcázar que se fueron integrando poco a poco a la escuela formada por su padre, el Profesor Manuel Albores Salazar; Víctor Manuel Albores Alcázar en julio de 1996 como chofer de transporte escolar, Karla Fabiola Albores Alcázar se integró en la docencia en 1998, Martha Patricia Albores Alcázar en el departamento de cobranza en 1999.

En el año 2002, Víctor Manuel Albores Alcázar formó el Grupo Educativo Albores Alcázar S.C. para darle un nuevo rumbo y sentido empresarial al negocio familiar y en el año 2004 funda la Universidad Del Sureste.

La formación de nuestra Universidad se da principalmente porque en Comitán y en toda la región no existía una verdadera oferta educativa, por lo que se veía urgente la creación de una institución de educación superior, pero que estuviera a la altura de las exigencias de los jóvenes que tenían intención de seguir estudiando o de los profesionistas para seguir preparándose a través de estudios de posgrado.

Nuestra universidad inició sus actividades el 19 de agosto del 2004 en las instalaciones de la 4ª avenida oriente sur no. 24, con la licenciatura en puericultura, contando con dos grupos de cuarenta alumnos cada uno. En el año 2005 nos trasladamos a las instalaciones de carretera Comitán – Tzitol km. 57 donde actualmente se encuentra el campus Comitán y el corporativo UDS, este último, es el encargado de estandarizar y controlar todos los procesos operativos y educativos de los diferentes campus, así como de crear los diferentes planes estratégicos de expansión de la marca.

### Misión

Satisfacer la necesidad de educación que promueva el espíritu emprendedor, basados en Altos Estándares de calidad Académica, que propicie el desarrollo de estudiantes, profesores, colaboradores y la sociedad.

### Visión

Ser la mejor Universidad en cada región de influencia, generando crecimiento sostenible y ofertas académicas innovadoras con pertinencia para la sociedad.

## Valores

- Disciplina
- Honestidad
- Equidad
- Libertad

## Escudo



El escudo del Grupo Educativo Albores Alcázar S.C. está constituido por tres líneas curvas que nacen de izquierda a derecha formando los escalones al éxito. En la parte superior está situado un cuadro motivo de la abstracción de la forma de un libro abierto.

## Eslogan

“Mi universidad”

**UDS**

## **Balam**



Es nuestra mascota, un Jaguar. Su piel es negra y se distingue por ser líder, trabaja en equipo y obtiene lo que desea. El ímpetu, extremo valor y fortaleza son los rasgos que distinguen.

---

## Física II

---

### **OBJETIVO GENERAL.**

El alumno comprenderá y aprenderá a aplicar los conceptos básicos de la física.

---

<b>Criterios de evaluación</b>	
<b>Trabajos Escritos</b>	10%
<b>Actividades áulicas</b>	20%
<b>Actividades en Plataforma</b>	20%
<b>Examen</b>	50%
<b>Total</b>	100%
<b>Escala de calificación</b>	7- 10
<b>Mínima aprobatoria</b>	7

---

## CONTENIDO

UNIDAD 1. ENERGÍA MECÁNICA .....	10
1.1 ENERGÍA .....	10
1.1.1. TRABAJO MECÁNICO .....	11
1.1.2. POTENCIA.....	14
1.2 LEYES DE CONSERVACIÓN.....	21
1.2.1 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA .....	22
1.2.2. CANTIDAD DE MOVIMIENTO .....	23
1.2.3 LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO.....	28
1.2.4 COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN .....	29
UNIDAD 2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MATERIA .....	32
2.1 MATERIA.....	33
2.1.1. PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS .....	34
2.1.2. LEY DE HOOKE.....	36
2.1.3 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN .....	37
2.1.4. MÓDULOS ELÁSTICOS .....	41
2.2 FLUIDOS EN REPOSO: HIDROSTÁTICA: .....	43
2.2.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS .....	44
2.2.2. P R E S I Ó N.....	51
2.2.3. PRINCIPIO DE PASCAL.....	58
2.2.4 Principio de ARQUÍMEDES y flotación de los cuerpos.....	61
2.3 FLUIDOS EN MOVIMIENTO: HIDRODINÁMICA .....	68
2.3.1. GASES EN MOVIMIENTO.....	69
2.3.2. LÍQUIDOS EN MOVIMIENTO .....	71
2.3.3. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD.....	76
2.3.4 PRINCIPIO DE BERNOULLI .....	78
2.3.5. PRESIÓN Y VELOCIDAD.....	82
2.3.6. PRINCIPIO DE TORRICELLI.....	87
UNIDAD 3. CALOR Y TEMPERATURA .....	90
3.1 CALOR .....	91
3.1.1 TERMOMETRÍA .....	91
3.1.2. ESCALAS DE TEMPERATURA .....	93
3.1.3 DILATACIÓN TÉRMICA .....	95
3.2. CALORIMETRÍA.....	99
3.2.2 CAMBIOS PROVOCADOS POR EL CALOR .....	107
3.3 PROPIEDADES DE LOS GASES .....	109
3.3.1 LEY DE BOYLE .....	111
3.3.2 LEY DE CHARLES .....	113
3.3.3 LEY DE GAY - LUSSAC .....	114
3.3.4 LEY DE AVOGADRO.....	115
3.3.5 ECUACION DEL ESTADO DEL GAS IDEAL.....	116
3.3.6 LEY GENERAL DEL ESTADO GASEOSO .....	117
3.3.7 GAS IDEAL.....	118

3.3.8 LA CONSTANTE UNIVERSAL DE LOS GASES .....	118
UNIDAD 4. PROCESOS TERMODINÁMICOS .....	120
4.1 TERMODINÁMICA .....	120
4.4.1 SISTEMA TERMODINÁMICO .....	120
4.4.2. PROCESOS TERMODINÁMICOS .....	122
4.4.3. CALOR Y TRABAJO .....	124
4.4.4 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA .....	126
4.4.5 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.....	131
4.4.6 CICLOS TERMODINÁMICOS.....	132
4.4.7 MÁQUINAS TÉRMICAS .....	138
BIBLIOGRAFÍA.....	144

## UNIDAD I. ENERGÍA MECÁNICA

Después de haber estudiado las causas que dan origen al movimiento de los cuerpos conocerás, en esta unidad, los efectos que producen tales movimientos. Un objeto, al moverse, puede producir cambios en sí mismo o en sus alrededores. Estos cambios o efectos los conocerás a través del análisis de tres conceptos fundamentales en el desarrollo de la Dinámica: trabajo mecánico, potencia y energía.

### I.1 ENERGÍA

Iniciaremos analizando el más primitivo de estos conceptos, energía. ¿Qué es energía? Cuando tienes energía puedes realizar muchas actividades: correr más rápido, saltar más alto, nadar una mayor distancia, correr en bicicleta o simplemente estudiar.



Fig. 1.1 Si tienes energía puedes realizar un sin número de actividades

Al realizar cualquiera de estas acciones, terminas cansado y con hambre, necesitarás comer y dormir para recuperar la energía perdida. De alguna forma, la energía recuperada al dormir y al comer será transferida a la energía necesaria para poder realizar, de nuevo, cualquier actividad.

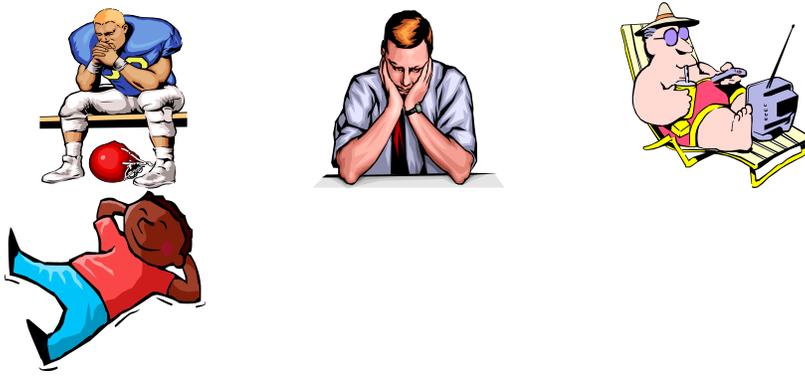


Fig. 1.2 Después de sufrir un desgaste de energía debes recuperarla: descansando y alimentándose

**Los objetos**, al igual que las personas, pueden tener energía. Por ejemplo, un bloque al caer desde cierta altura tiene suficiente energía para dañar todo lo que encuentre a su paso.

**Un objeto tiene energía si puede producir un cambio en sí mismo o en sus alrededores.**

A esta manifestación de energía le conocemos como energía de movimiento o energía mecánica. Las formas específicas de estos tipos de energía los analizaremos más adelante.

El hombre ha diseñado y construido una gran variedad de máquinas y herramientas que hacen más fácil la producción de tales cambios; desde las más comunes hasta las grandes máquinas que mueven enormes cantidades de materiales en poco tiempo.



Fig 1.4 *El hombre, a través del conocimiento de la Física, ha sido capaz de crear*

## I.I.I. TRABAJO MECÁNICO

La palabra trabajo puede interpretarse de varias formas. Por ejemplo, si por realizar alguna actividad recibes una cantidad de dinero, dirás que realizaste un trabajo; la anterior es una forma común de definirla.

Si consideramos que al comer y dormir se obtiene energía, la cual, de alguna forma, será transferida a la energía necesaria para realizar alguna actividad como nadar, entonces, la palabra trabajo, indicará la cantidad de energía que fue transferida de la comida a la persona y luego al agua de la alberca. Esta última definición es más científica, sin embargo, ¿cómo se debe interpretar el trabajo mecánico, es decir, el trabajo en Física?

## TRABAJO

Es el producto de la fuerza ejercida sobre un objeto por la distancia que éste se desplaza en la dirección de la fuerza

La representación matemática de la definición anterior es:

$$T = F d$$

Donde:

T = trabajo desarrollado

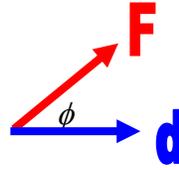
F = magnitud de la fuerza aplicada

d = magnitud del desplazamiento del objeto

Observa que el trabajo es una magnitud escalar, es decir, no tiene dirección ni sentido.

Después de tener una idea más clara de trabajo, como concepto físico, es importante comprender que no siempre la fuerza aplicada y el desplazamiento tendrán la misma dirección y sentido, por lo que deben hacerse las siguientes consideraciones:

Si al aplicar una fuerza  $F$  sobre un objeto se hace formando un ángulo con la dirección  $d$  del desplazamiento, el trabajo será el producto de la componente de dicha fuerza en la dirección del desplazamiento por la magnitud del desplazamiento logrado.

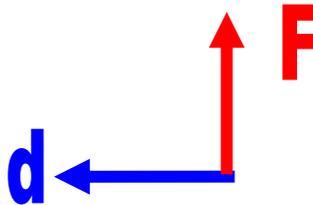


$$T = (F \cos \phi) d$$

Quando la fuerza  $F$  es perpendicular al desplazamiento  $d$ , la fuerza aplicada no realiza trabajo alguno, es decir,  $T = 0$

Al ser perpendiculares la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de  $90^\circ$  y, como  $\cos 90^\circ = 0$ , entonces,  $T = 0$ .

Por ejemplo, cuando una persona transporta un objeto, para sostenerlo, le aplica una fuerza hacia arriba, sin embargo, el desplazamiento del objeto es en forma horizontal.



$$T = 0$$

Si la fuerza  $F$  y el desplazamiento  $d$  tienen la misma dirección pero sentido contrario, el trabajo  $T$  es negativo.

Al tener la fuerza y el desplazamiento la misma dirección pero sentido contrario, forman un ángulo de  $180^\circ$  y, como  $\cos 180^\circ = -1$ , entonces, el trabajo  $T$  sí existe pero tiene un valor negativo.

Por ejemplo, si se coloca suavemente sobre el suelo un objeto cualquiera, se está ejerciendo una fuerza hacia arriba, sin embargo, el desplazamiento es hacia abajo.



$$T = - F d$$

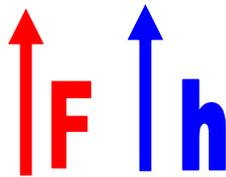
Si se aplica una fuerza  $F$  sobre un objeto y éste no se mueve, no existe trabajo alguno.

Si al objeto al que se le aplica una fuerza no se desplaza, entonces,  $d = 0$ ; y, por lo tanto,  $T = 0$ .

$$T = 0$$



Para medir el trabajo  $T$  realizado para levantar una masa  $m$  a una cierta altura  $h$  aplicamos la segunda ley del movimiento de Newton. Considerando que la fuerza  $F$  que se requiere para levantarlo es su propio peso y que el desplazamiento  $d$  es la altura, entonces,  $T = F d$ , quedará indicado como:



$$T = w h$$

$$T = m g h$$

### 1.1.2. POTENCIA

En ninguna de las consideraciones hechas hasta ahora, sobre trabajo mecánico, se ha mencionado el tiempo empleado para mover un objeto. Sin embargo, el hombre realiza y programa todas sus actividades en función del tiempo, por lo que es importante considerarlo.

Por ejemplo, el trabajo realizado para levantar una caja que contiene algunas latas de alimento es el mismo si la caja se levanta completa, en cinco segundos, o si cada lata se levanta separadamente así se empleen veinte minutos para colocarlas todas sobre el anaquel; el trabajo realizado es el mismo, pero la potencia es diferente.

POTENCIA

Es la medida del intervalo de tiempo en el cual se realiza un trabajo. Es decir, potencia es el trabajo realizado en la unidad de tiempo empleado para ello.

En términos matemáticos diremos que el valor de la potencia es directamente proporcional al trabajo realizado e inversamente proporcional al tiempo empleado para ello:

$$P = \frac{T}{t}$$

Donde:

P = potencia desarrollada

T = trabajo realizado

t = tiempo empleado

Debe quedarte claro, por la definición dada, que cuanto menor sea el tiempo empleado por una máquina en efectuar cierto trabajo, tanto mayor será su potencia.

La potencia también se mide en función de la velocidad, esto es:

$$P = \frac{T}{t} \dots\dots\dots (1)$$

Como  $T = F d \dots\dots\dots (2)$

Sustituyendo (2) en (1), resulta:

$$P = \frac{Fd}{t} \dots\dots\dots (3)$$

Si  $v = \frac{d}{t} \dots\dots\dots (4)$

Sustituyendo (4) en (3), tenemos:

$$P = F v$$

Donde:

P = potencia

F = fuerza aplicada

v = velocidad adquirida

## UNIDADES DE POTENCIA:

La unidad de potencia en el Sistema Internacional es J/s, esta unidad se denomina Watt o Vatio (W), en honor a James Watt (1736-1819), perfeccionador de la máquina de vapor.

Un múltiplo muy utilizado de la unidad anterior, es el kilowatt (kW), que es equivalente a  $1 \times 10^3$  W.

En el Sistema Inglés la unidad de potencia es ft·lb/s

Existen otras unidades para medir potencia las cuales son independientes a los dos sistemas de medidas anteriores, pero muy utilizadas en la industria: caballo fuerza (HP) y caballo de vapor (CV).

Las equivalencias o factores de conversión entre las unidades de potencia son:

$$1 \text{ kW} = 1 \times 10^3 \text{ W} = 1.36 \text{ CV} = 1.34 \text{ HP}$$

$$1 \text{ HP} = 1.01 \text{ CV} = 550 \text{ ft·lb/s} = 746 \text{ W}$$

$$1 \text{ CV} = 736 \text{ W}$$

## ENERGÍA CINÉTICA

Cualquier objeto en movimiento, desde un auto a gran velocidad hasta una hoja que cae, es capaz de causar algún tipo de cambio en un objeto que toque. Es decir, los cuerpos en movimiento tienen una forma de energía llamada energía cinética (  $E_c$  ). La palabra cinética proviene del Griego kineticos, que significa movimiento, entonces:

### ENERGÍA CINÉTICA

Es la capacidad que un cuerpo posee para realizar un trabajo debido a su movimiento

La energía cinética se mide en función de la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Donde:

$E_c$  = Energía Cinética  
 $m$  = masa del cuerpo  
 $v$  = velocidad del cuerpo

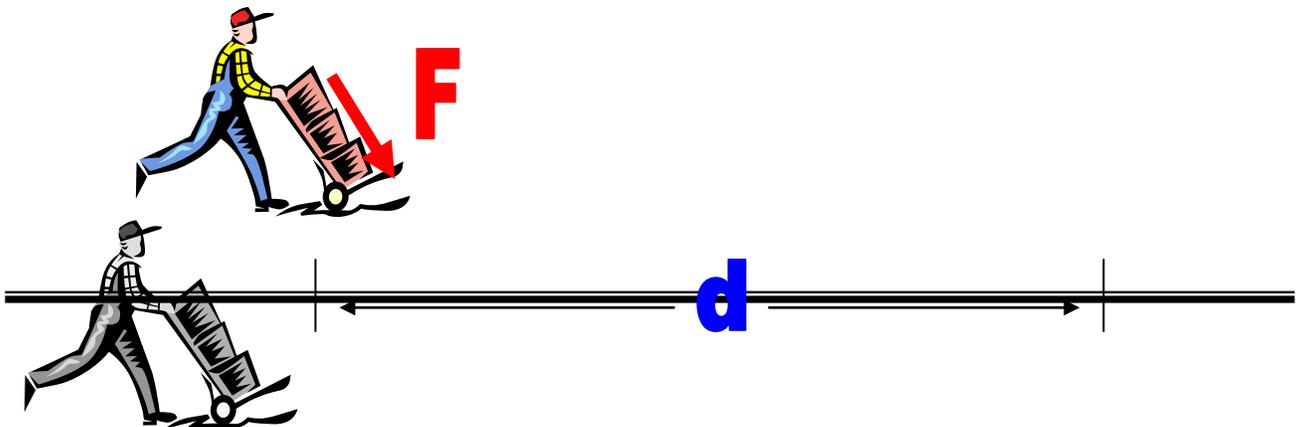
La representación matemática anterior se deduce del siguiente:

## TEOREMA

El trabajo efectuado por una fuerza resultante que actúa sobre un cuerpo es igual al cambio de energía cinética del mismo

Analiza con cuidado el siguiente desarrollo:

Si a un cuerpo en reposo se le aplica una fuerza resultante constante, tal que, le comunique una aceleración constante, ¿qué trabajo  $T$  hace esta fuerza sobre el cuerpo al producirle un desplazamiento  $d$ ?



La aceleración constante es:

$$a = \frac{v_f - v_0}{t} \dots\dots\dots (1)$$

El desplazamiento producido es:

$$d = \frac{v_f + v_0}{2} t \dots\dots\dots (2)$$

Por otra parte sabemos que:

$$T = F d \quad \text{y} \quad F = m a, \text{ es decir,}$$

$$T = m a d \dots\dots\dots (3)$$

sustituyendo (1) y (2) en (3)

$$T = m \left[ \frac{v_f - v_0}{t} \right] \left[ \frac{v_f + v_0}{2} \right] (t)$$

simplificando  $t$  y multiplicando los binomios conjugados

$$T = m \left[ \frac{v_f^2 - v_0^2}{2} \right]$$

multiplicando el binomio por  $m$ , tenemos:

$$T = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \dots\dots\dots (4)$$

Según el enunciado del teorema anterior:

$$T = E_c(v_f) - E_c(v_0) \dots\dots\dots (5)$$

Comparando las ecuaciones (4) y (5), concluimos que:

$E_c = \frac{1}{2} m v^2$
---------------------------

## ENERGÍA POTENCIAL

Un objeto pesado colocado a cierta altura tiene un potencial para cambiar casi cualquier cosa al caer sobre ella. En este caso el movimiento se produce por la fuerza gravitacional: todo cuerpo sostenido a una determinada altura sobre el piso, tiene una energía potencial gravitacional debido a que puede realizar un trabajo al caer sobre otro cuerpo.



Fig. 1.14 Todo cuerpo a determinada altura posee Energía Potencial.

### ENERGÍA POTENCIAL

Es la capacidad que un cuerpo posee para hacer un trabajo debido a su posición

o altura a que se encuentra

El trabajo realizado para colocar un objeto a cierta altura es el mismo que realizará el objeto al caer sobre otro. Es decir, el objeto tiene una energía potencial igual en magnitud al trabajo requerido para levantarlo, esto es:

$$E_p = T \dots \dots \dots (1)$$

$$T = m g h \dots \dots (2)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$E_p = m g h$$

Donde:

$E_p$  = Energía Potencial

$m$  = masa del objeto

$g$  = aceleración gravitacional

$h$  = altura del objeto

## INTERCONVERSIÓN ENTRE ENERGÍAS CINÉTICA Y POTENCIAL

Cuando un malabarista lanza una bola hacia arriba está realizando un trabajo sobre ella. Cuando la bola abandona su mano adquiere energía cinética y, a medida que sube, su velocidad se reduce debido a la fuerza de atracción de la Tierra: la bola asciende pero la fuerza es hacia abajo de tal forma que el trabajo realizado sobre la bola es negativo y la energía cinética de la bola es cada vez menor. Cuando alcanza su máxima altura su velocidad, en ese instante, se termina y su energía cinética se ha transformado en energía potencial y la bola inicia su regreso.

En el momento que retorna a su mano, la gravedad ha realizado una cantidad igual de trabajo positivo, y la bola recupera su velocidad original, por lo que, la energía potencial se empieza a transformar en energía cinética adquiriendo el mismo valor que tenía cuando abandonó su mano: la energía cinética que se le dio a la bola se transformó en energía potencial, y de nuevo, en energía cinética.



Fig. 1.15 Mientras dure el movimiento la suma de las energías cinética y potencial es constante

Lo anterior implica que:

$$E_T = E_C + E_P$$

Durante el movimiento de la bola, la suma de las energías cinética y potencial es **constante**.

Al iniciar y finalizar el movimiento, la energía es totalmente cinética mientras que la energía potencial es cero.

Cuando alcanza su máxima altura, la energía es completamente potencial y la energía cinética es cero.

En los puntos intermedios la energía es parcialmente cinética y parcialmente potencial.

Lo anteriormente expuesto se enuncia como:

### LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

En ausencia de fricción, resistencia del aire o de cualquier fuerza disipadora, la suma de las energías cinética y potencial, es siempre constante.

Bajo estas condiciones la energía cinética final de una masa  $m$  que se deja caer desde una altura  $h$  es:

EP (arriba) = EC (abajo)

$$m g h = \frac{1}{2} m v^2$$

despejando  $v$ , se tiene

$$v = \sqrt{2gh}$$

Si observas la fórmula anterior recordarás que es la misma que se utiliza para determinar la velocidad de impacto o final de un objeto en caída libre.

## I.2 LEYES DE CONSERVACIÓN

Las leyes de conservación son algunas de las más poderosas leyes de la Física. Por ejemplo, la energía potencial gravitacional almacenada en un bloque de piedra colocado en la cima de una pirámide hace 2 500 años, sigue siendo la misma. Sin considerar el fenómeno de erosión, si hoy se deja caer el bloque, podría realizar el mismo trabajo que se hizo cuando se colocó en su sitio.



Fig. 1 . 16 La energía potencial se conserva igual con el paso del tiempo

### I.2.1 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

La conservación de la energía no la predicen ninguna de las leyes físicas. Es un hecho de la naturaleza.

La cantidad total existente de ese algo que llamamos energía, no cambia.

El hecho anteriormente expuesto queda enunciado en uno de los principios fundamentales de la Física:

#### *LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA*

Dentro de un sistema, la energía puede cambiar de forma, pero su cantidad total se conserva en forma constante: *La energía no puede ser creada ni destruida, únicamente puede ser transformada de una clase a otra*

La ley de conservación de la energía se extiende para todo el Universo. De hecho, la cantidad total de energía en el Universo es constante.

## I.2.2. CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Algunos autos modernos tienen instaladas bolsas de aire, y en caso de colisión o choque, los conductores pueden salir ilesos. La forma en que ayuda la bolsa de aire para reducir las lesiones sobre una persona, en caso de choque, es reduciendo el espacio entre la persona y el volante, obligándolo a detenerse en forma rápida. Es decir, al conductor del auto se le aplica una fuerza para desacelerarlo.

En este capítulo, más que hacer un análisis de las fuerzas de aceleración y desaceleración resultante, estudiaremos aquellas propiedades de un conjunto de objetos claramente definidos que permanecen constantes antes y después de una interacción, colisión o choque.

Iniciaremos el estudio de esas propiedades definiendo dos importantes conceptos:

### A: IMPULSO

¿Recuerdas la primera ley del movimiento de Newton? "Para modificar la velocidad de un cuerpo es necesario la aplicación de una fuerza. También, si un cuerpo está en reposo, para sacarlo del mismo, se necesita aplicar una fuerza " ¡Muy bien!

En ambos casos, si se considera un intervalo de tiempo corto en la aplicación de una fuerza, se dice que el cuerpo recibe un impulso. Como ejemplos; al golpear una pelota de golf, de fútbol o cuando un tenista, con su raqueta, regresa una bola.

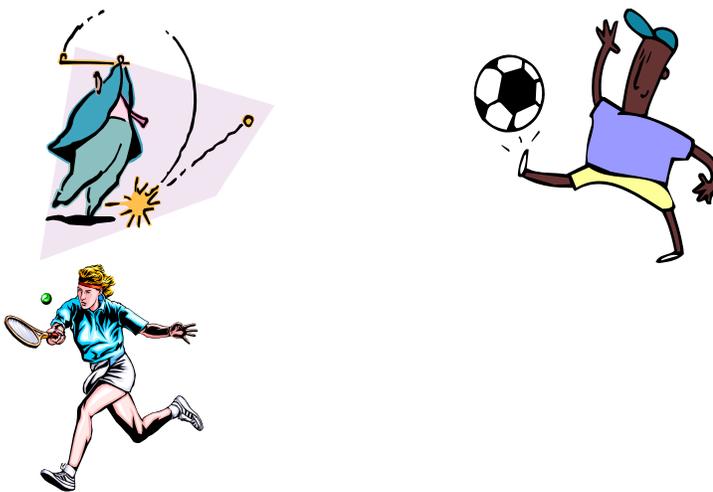


Fig. 1. 17 El tiempo de contacto al impactar la pelota es muy corto, entonces, recibe un impulso

Tenemos, en estos casos, que el tiempo de contacto entre los cuerpos es relativamente corto, lo que hace que las dos pelotas sean impulsadas. En forma general:

## IMPULSO

Es la aplicación de una fuerza  $F$  sobre un cuerpo, durante un intervalo de tiempo corto,  $\Delta t$ .

La definición anterior se representa a través de la ecuación siguiente:

$$I = F \Delta t$$

Donde:

$I$  = impulso recibido

$F$  = fuerza aplicada

$\Delta t$  = tiempo corto de aplicación de la fuerza.

Impulso es una cantidad vectorial con la misma dirección que la fuerza.

## UNIDADES DE IMPULSO

Las unidades para representar el impulso en Sistema Internacional es  $N \cdot s$ .

La unidad de impulso en el Sistema Inglés es  $lb \cdot s$

## B: MOMENTUM O CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La palabra momentum (momento) se utiliza con frecuencia en el lenguaje común; de un campeón mundial de cualquier deporte, se dice que está en su mejor momento. Lo mismo se dice de un político cuando los votos lo favorecen. Sin embargo, en Física el momentum tiene un significado muy especial.

Analicemos el ejemplo siguiente.

Imagina una bola de boliche y un balón de fútbol moviéndose sobre la pista con la misma velocidad; si se quiere que los dos cuerpos se detengan en el

mismo intervalo de tiempo, a la bola de boliche se le aplicará una mayor fuerza.

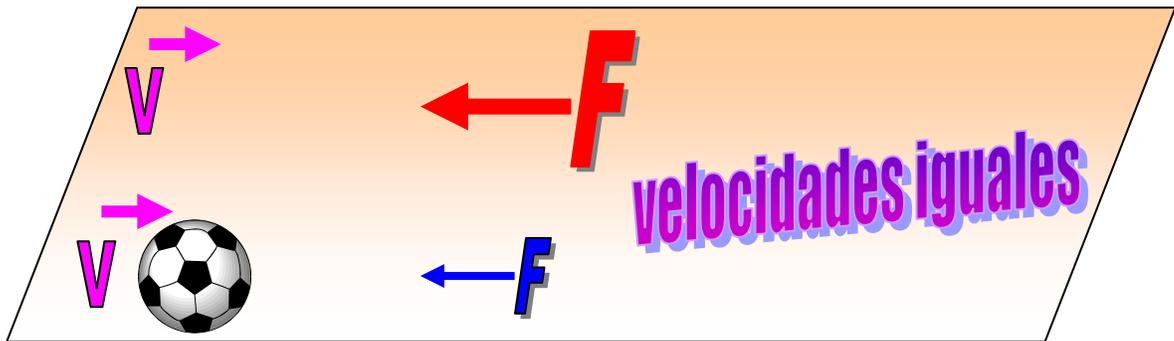


Fig. 1. 18 Los cuerpos viajan a la misma velocidad, para detenerlos al mismo tiempo, se la aplicará mayor fuerza al que tiene mayor masa.

Ahora considera dos bolas de boliche; si una de ellas se desplaza con una velocidad mayor que la otra, a ésta se le aplicará una mayor fuerza para detenerla.

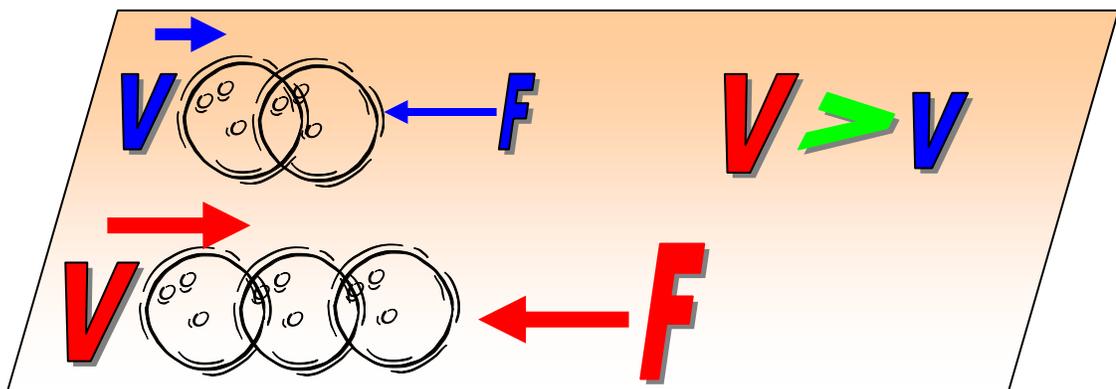


Fig. 1. 19 Si los cuerpos tienen igual masa, para detenerlos al mismo tiempo, se aplicará mayor fuerza al que desarrolle una mayor velocidad

Es obvio que, tanto la masa como la velocidad de un objeto son determinantes para saber qué se necesita para cambiar su movimiento, entonces:

MOMENTUM

Es el producto de la masa  $m$  de un cuerpo por la velocidad  $v$  que éste desarrolla en su movimiento.

La forma matemática que representa al concepto anterior es:

$$p = m v$$

Donde:

$p$  = momentum  
 $m$  = masa del cuerpo  
 $v$  = velocidad desarrollada

El momentum es una cantidad vectorial que tiene la misma dirección que la velocidad.

A la ecuación  $p = m v$  se le denomina universalmente momentum; en algunos casos como ímpetu.

En español se emplean los términos cantidad de movimiento lineal o simplemente momento.

### UNIDADES DE MOMENTUM

Las unidades de momentum en el Sistema Internacional son  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$

En el Sistema Inglés las unidades son  $\text{slug} \cdot \text{ft/s}$

### C: RELACIÓN ENTRE IMPULSO Y MOMENTUM

Si se tiene un cuerpo de masa  $m$  que se mueve con una velocidad  $v_1$  y suponiendo que  $F$  es la resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , se observará que el cuerpo sufre una variación en su velocidad  $v_1$ , pasando a ser  $v_2$ , al final del intervalo.

La segunda ley de Newton describe como cambia la velocidad de un cuerpo cuando sobre él actúa una fuerza.

$$F = m a \dots\dots\dots(1)$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \dots\dots\dots(2)$$

sustituyendo (2) en (1)

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Multiplicando ambos miembros de la igualdad por  $\Delta t$ , se obtiene:

$$F \Delta t = m \Delta v$$

Si la masa del cuerpo es constante, entonces al cambiar su velocidad implica que cambiará su momentum. Es decir, que  $\Delta p = m\Delta v$ . De esta forma, se puede observar que el impulso proporcionado a un cuerpo es igual al cambio en su momentum.

$$F \Delta t = \Delta p$$

o bien,

$$I = \Delta p$$

Esta ecuación se denomina:

*teorema del impulso y el momentum*

Si una fuerza  $F$  actúa sobre una masa  $m$  durante un tiempo  $t$  lo hace cambiar su velocidad desde  $v_1$  hasta  $v_2$ . Es decir: *El impulso recibido por un cuerpo*

Lo cual se puede representar como:

$$Ft = m v_2 - m v_1$$

$$Ft = m (v_2 - v_1)$$

o bien,

Donde:

$F_t$  = impulso recibido

$m$  = la masa del cuerpo

$v_1$  = velocidad inicial del cuerpo

$v_2$  = velocidad final del cuerpo

### 1.2.3 LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La conservación de la cantidad de movimiento encuentra su mayor aplicación en el estudio de las interacciones, colisiones o choques, en los cuales dos o más cuerpos ejercen mutuamente fuerzas muy grandes que duran, sin embargo, un intervalo de tiempo relativamente pequeño. Dichas fuerzas se denominan fuerzas impulsivas.

Las colisiones o choques entre dos cuerpos se clasifican de la siguiente manera: cuando dos cuerpos chocan y sus direcciones no se alteran, es decir que sigan moviéndose sobre una misma recta antes y después del choque, entonces se produce un choque directo o unidimensional. Si los cuerpos tienen distintas direcciones antes y después del choque, entonces el choque es oblicuo o bidimensional. Por otra parte, si al chocar dos cuerpos no sufren alteraciones o deformaciones permanentes durante el impacto, es decir, si la energía cinética del sistema se conserva antes y después del impacto, el choque es elástico. Por el contrario, si al chocar dos cuerpos sufren alteraciones o deformaciones durante el impacto, entonces el choque es inelástico. Sin embargo, la energía total, se conserva siempre. Finalmente, si después de la colisión los cuerpos se mueven con la misma velocidad (continúan juntos), se tiene un choque totalmente inelástico.

Independientemente del tipo de colisión, debido a que las fuerzas impulsivas son muy grandes y actúan en un intervalo de tiempo muy corto sólo alteran, considerablemente, las cantidades de movimiento de las partículas del sistema, pero no alteran el momentum total. Lo anterior se conoce como:

#### LA LEY DE CONSERVACIÓN DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO

La cantidad de movimiento total de un sistema de cuerpos que chocan, inmediatamente antes de la colisión, es igual a la cantidad de movimiento del sistema, inmediatamente después del choque.

La representación matemática de esta ley es:

$$m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$$

la cantidad de movimiento antes del choque = la cantidad de movimiento después del choque

### 1.2.4 COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN

Durante un choque, todos los cuerpos sufren una deformación y se liberan pequeñas cantidades de calor. A la forma con que un cuerpo se recupera de esa deformación, que es una medida de su elasticidad, se le llama *restitución*.

En una colisión perfectamente elástica (caso ideal) entre dos masas,  $m_1$  y  $m_2$ , la energía y el momentum permanecen inalteradas, es decir:

$$\frac{1}{2} m_1u_1^2 + \frac{1}{2} m_2u_2^2 = \frac{1}{2} m_1v_1^2 + \frac{1}{2} m_2v_2^2$$

simplificando  $\frac{1}{2}$

$$m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$$

términos semejantes uniendo

$$m_1u_1^2 - m_1v_1^2 = m_2v_2^2 - m_2u_2^2$$

factorizando

$$m_1(u_1^2 - v_1^2) = m_2(v_2^2 - u_2^2)$$

ecuación 1

$$m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$$

términos semejantes uniendo

$$m_1u_1^2 - m_1v_1^2 = m_2v_2^2 - m_2u_2^2$$

factorizando

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(v_2 - u_2)$$

ecuación 2

$$\frac{m_1(u_1^2 - v_1^2)}{m_1(u_1 - v_1)} = \frac{m_2(v_2^2 - u_2^2)}{m_2(v_2 - u_2)}$$

ecuación 1 en 2 dividiendo

$$\frac{u_1^2 - v_1^2 = v_2^2 - u_2^2}{u_1 - v_1 = v_2 - u_2}$$

simplificando

factorizando y

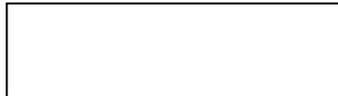
$u_1 + v_1 = v_2 + u_2$   
puede escribir

que se

$$v_1 - v_2 = u_2 - u_1$$

o bien

$$v_1 - v_2 = -(u_1 - u_2)$$



La fórmula anterior implica que, en el caso ideal de un choque perfectamente elástico, la velocidad relativa después del choque,  $v_1 - v_2$ , es igual al negativo de la velocidad relativa antes del choque,  $u_1 - u_2$ . Una forma de medir la elasticidad o restitución, de un cuerpo que choca, se obtiene por la razón negativa de la velocidad relativa después del choque entre la velocidad relativa antes del mismo: a esta razón se le conoce como:

### COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN ( e )

Es la razón negativa de la velocidad relativa después de un choque entre la velocidad relativa antes del mismo

La representación matemática de la definición anterior es:

$$e = -\frac{v_1 - v_2}{u_1 - u_2}$$

Generalmente el coeficiente de restitución ( e ) de un cuerpo se conoce como el número que expresa la relación entre la velocidad relativa con que se separan después del choque y la correspondiente de aproximación antes de él. Lo que se representa como:

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2}$$

Donde:

$e$  = coeficiente de restitución

$u_1 - u_2$  = velocidad relativa de los cuerpos antes del choque

$v_2 - v_1$  = velocidad relativa de los cuerpos después del choque

Es muy importante tener presente las siguientes consideraciones.

Si el choque es totalmente elástico,  $e = 1$

Si el choque es totalmente inelástico (los cuerpos continúan juntos),  $e = 0$

En todos los demás choques,  $e$  es un número en el intervalo  $(0, 1)$ . Es decir, es un valor comprendido entre cero y uno, pero no el cero ni el uno.

Una forma práctica para medir el coeficiente de restitución se representa en la gráfica siguiente.

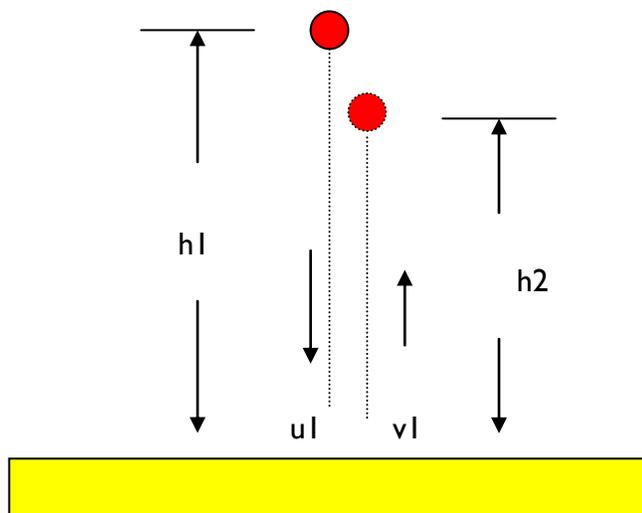


Fig. 1. 20 Esquema que indica la forma práctica para medir el coeficiente de restitución

Una esfera del material que se desea medir se deja caer libremente sobre una placa fija desde una altura  $h_1$ . Posteriormente, y con mucho cuidado, se mide la altura de rebote  $h_2$ .

En este experimento, la masa de la placa es tan grande que  $v_2$  tiende a ser igual a cero. Esto implica que:

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2}; \quad \text{por lo tanto,} \quad e = -\frac{v_1}{u_1}$$

La velocidad  $u_1$  es simplemente la velocidad final que adquiere la esfera en caída libre desde la altura  $h_1$ , es decir,

$$u_1 = \sqrt{2gh_1}$$

En este caso se considera como positiva la dirección hacia abajo. Si la pelota rebota hasta una altura  $h_2$ , su velocidad  $v_1$  es igual pero con signo contrario, esto es:

$$v_1 = -\sqrt{2gh_2}$$

El signo negativo indica el cambio de dirección. De tal forma que el coeficiente de restitución se mide con:

$$e = -\frac{-\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_1}}$$

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

El coeficiente resultante es una propiedad en común para los cuerpos que intervienen, en este caso la esfera y la placa.

Recuerda que para una superficie muy elástica  $e$  adquiere un valor que tiende a uno, mientras que para una superficie menos elástica el valor de  $e$  se aproxima a cero. Es importante también considerar que la altura del rebote está en función del vigor de restitución, es decir, de la capacidad con que se restablece la deformación causada por el impacto.

## UNIDAD 2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MATERIA

Si observemos nuestro entorno; al estar en un parque veremos árboles, pasto, agua, animales, bancas, juegos infantiles, etc.; y si estamos en una calle veremos edificios, autos, cables, anuncios, personas, entre muchas cosas.

Todo lo que nos rodea está formado por materia, pero ¿qué es la materia?. Querer dar una respuesta satisfactoria a esta pregunta aún no es posible, pues de la materia únicamente se conoce su estructura.

Por tanto, decir que la materia es todo lo que ocupa un lugar en el espacio, que es la forma clásica de definirla, impresiona nuestros sentidos, pero también es una forma imprecisa de hacerlo, por que no todo lo que existe en el espacio es registrado por nuestros sentidos.

Pero entonces, ¿cómo podemos definirla?, podemos decir que:

## 2.1 MATERIA

Es todo cuanto existe en el Universo y se halla constituido por partículas elementales, mismas que generalmente se encuentran agrupadas en moléculas y en átomos.

El concepto de materia ha evolucionado enormemente a partir de las teorías modernas y de los progresos de la Física Experimental. La materia es indestructible y puede ser transformada en energía. De la misma manera se puede crear materia a partir de energía radiante.

### ESTADOS DE LA MATERIA

C

otidianamente convives siempre con los tres estados comunes de la materia: respiras el aire, bebes agua, y elaboras o construyes cosas con sólidos. En forma general estás familiarizado con la mayor parte de sus propiedades. Sin embargo no siempre se presentan en forma clara o bien definidas.



Por ejemplo, al destapar una botella que contiene una sustancia gaseosa, bióxido de carbono, la repentina disminución de la presión genera una caída de temperatura que condensa el vapor de agua,

Fig. 2. 21 Los tres estados de la a de gas, dando como materia estados de la materia.

Se puede considerar, sin embargo, que en la naturaleza existe un cuarto estado de la materia: el plasmático o plasma.

Si calientas un sólido, se puede derretir y formar un líquido. Un calentamiento adicional lo convierte en un gas. Si se aumenta aún más la temperatura, las colisiones entre sus moléculas se vuelven tan violentas que son capaces de variar la estructura de las partículas.

A temperaturas del orden de  $1 \times 10^5$  oC a  $2 \times 10^8$  oC, todos los átomos se hallan disociados en núcleos y electrones mezclados sin orden y agitados violentamente en una especie de gas, que es el plasma.

A temperaturas mucho más elevadas, del orden de varios millones de grados, los choques entre las partículas son tan violentos que dos núcleos pueden vencer sus respectivas fuerzas de repulsión, fundiéndose en uno sólo de otro elemento más pesado con desprendimiento de energía, fenómeno conocido como fusión..

La energía radiada por el Sol y las estrellas resulta de la fusión de este tipo, que se producen por la transformación constante de hidrógeno en helio. La mayor parte de la materia del Sol y de otras estrellas, como también gran parte de la materia interestelar, se encuentra en forma de plasma. Un rayo en una tormenta está en estado plasmático.



Fig. 2. 22 Los rayos del Sol, ejemplo del fenómeno de fusión

La diferencia principal entre gas y plasma es que el gas no puede conducir la electricidad mientras que plasma es un buen conductor de la misma.

Industrialmente se da el nombre de plasma a gases ionizados, como los contenidos en los tubos de descarga de los rótulos luminosos con señales de neón y el alumbrado público de vapor de mercurio y sodio.

Sin embargo, en esta unidad analizaremos las propiedades fundamentales de la materia en sus más comunes formas o presentaciones que son: sólidos, líquidos y gases.

### 2.1.1. PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS

Cuando se baja la temperatura de un líquido, la energía cinética media de las partículas disminuye. Cuando las partículas se mueven más lentamente, las fuerzas de

cohesión son más efectivas y las partículas ya no están en capacidad de superponerse unas a otras. Las partículas terminan por congelarse en un modelo fijo llamado red cristalina.

A pesar de las fuerzas que mantienen a las partículas en su lugar, éstas no dejan de moverse completamente, sino que vibran alrededor de sus posiciones fijas en la red cristalina.

Para su estudio los sólidos se clasifican en:

### SÓLIDOS CRISTALINOS

Son aquellos en los cuales los átomos tienen una estructura periódica y ordenada

Por ejemplo, en el cristal del cloruro de sodio los átomos de cloro y sodio ocupan alternadamente los vértices de un cubo; otra estructura cristalina típica es el cloruro de cesio.

En algunos materiales sólidos, las partículas no forman un modelo fijo. Sus posiciones son fijas, pero el modelo es variable. Estas sustancias no tienen una estructura regular pero sí tienen forma y volumen definidos, por lo que se denominan:

### SÓLIDOS AMORFOS

Son aquellos en los cuales los átomos están dispuestos en forma desordenada.

La mantequilla, la parafina y el vidrio son ejemplos de sólidos amorfos. Con frecuencia se clasifican como líquidos muy viscosos.

## A: ELASTICIDAD

Los cuerpos sólidos en ocasiones no son tan rígidos como los imaginamos, puesto que pueden tener variaciones en su forma. Al aplicarle fuerzas externas, pueden torcerlo o doblarlo: cuando un átomo se desplaza respecto a su posición de equilibrio, las fuerzas atómicas internas actúan de tal modo que tienden a regresarlo a su posición original, como si los átomos de un sólido estuvieran ligados entre sí mediante resortes. Lo que da lugar a una propiedad que se llama:

### ELASTICIDAD

Es la propiedad por la cual, un sólido se deforma debido a la aplicación de fuerzas externas, y tiende a regresar a su forma y dimensiones originales al suprimir dichas fuerzas.

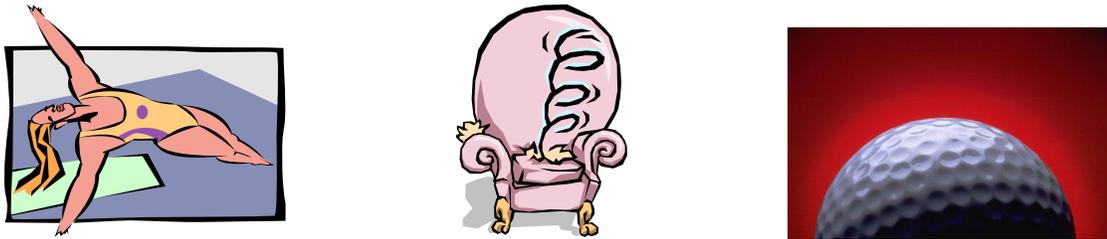


Fig. 2. 23 Los trampolines, resortes, pelotas de golf, etc. Son ejemplos de sólidos elásticos.

La elasticidad depende de las fuerzas electromagnéticas, que son las responsables de mantener unidas las partículas de una sustancia. Si las fuerzas aplicadas son mayores a un determinado valor, el cuerpo queda deformado permanentemente. El máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de quedar permanentemente deformado se designa con el nombre de límite de elasticidad.

De lo anterior se deduce que todos los sólidos se deforman; es decir, se puede cambiar tanto su forma como su tamaño con la aplicación de fuerza externas a él.

La deformación de un cuerpo elástico es directamente proporcional a la fuerza que recibe. En otras palabras, si la fuerza aumenta al doble, la deformación también aumenta al doble; si la fuerza aumenta al triple, la deformación se triplica, y si la fuerza disminuye a la mitad, la deformación se reduce a la mitad; por ello se dice que entre estas dos variables existe una relación directamente proporcional.

### 2.1.2. LEY DE HOOKE

Las deformaciones elásticas (alargamientos, compresiones, torsiones y flexiones) fueron estudiados, en forma experimental, por Robert Hooke; físico Inglés (1635 – 1703) que formuló la siguiente:

#### LEY DE HOOKE

La deformación elástica de un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza deformadora.

En forma matemática se puede escribir como:

$$F = k x$$

Donde:

F = fuerza aplicada

k = constante de proporcionalidad

x = deformación

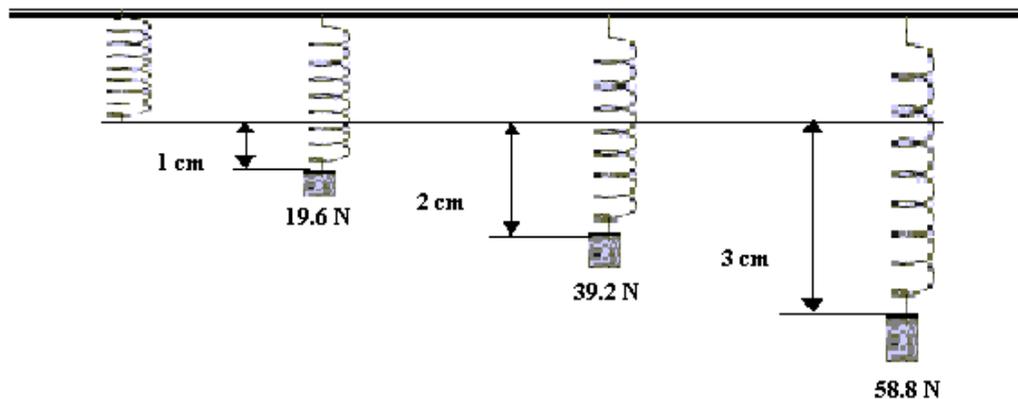


Fig. 2. 24 Esquema que representa la Ley de Hooke

### 2.1.3 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

La ley de Hooke no es aplicable únicamente a resortes se aplica, por igual, a todos los cuerpos elásticos. Para la aplicación de esta ley se utilizan los conceptos esfuerzo y deformación. El esfuerzo se refiere a la causa de una deformación, mientras que la deformación es el efecto, es decir, la deformación misma. De una forma más general:

#### ESFUERZO

Es la razón de una fuerza aplicada respecto al área donde se aplica que produce o tiende a producir una deformación en el cuerpo.

Esta relación implica que el esfuerzo es directamente proporcional a la fuerza normal aplicada, e inversamente proporcional al área o superficie donde se aplique. Lo anterior se representa como:

$$E = \frac{F}{A}$$

Donde

E = Esfuerzo

F = Fuerza aplicada.

A = Área de aplicación de la fuerza.

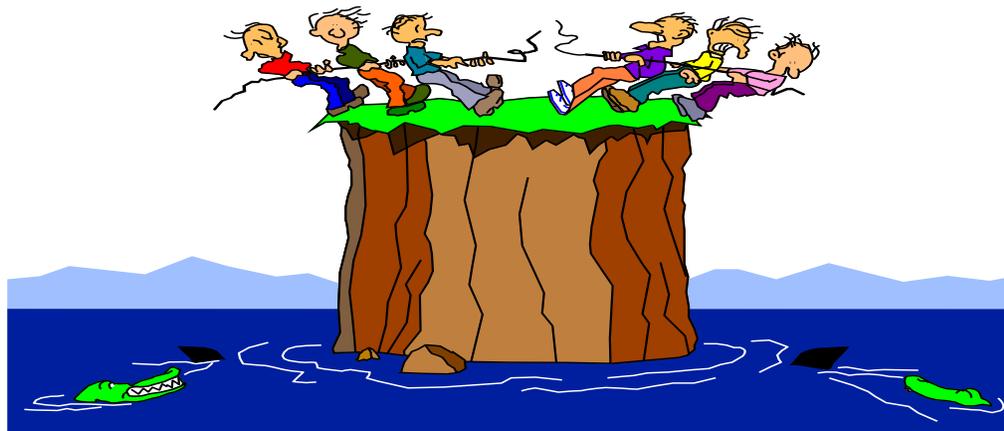
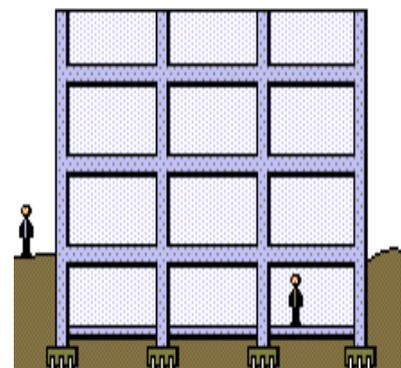
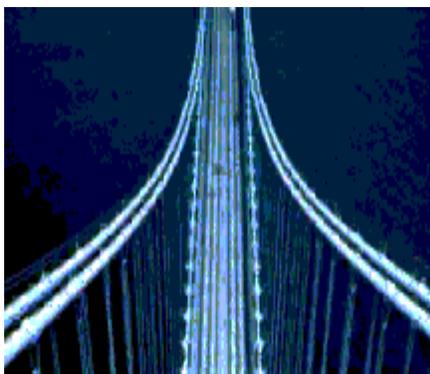
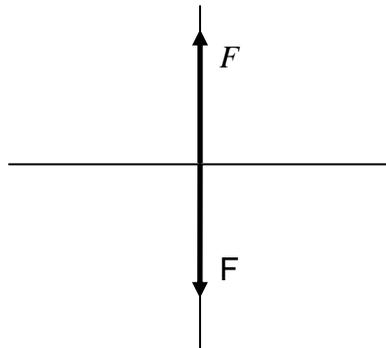


Fig. 2. 25 Un esfuerzo puede producir una deformación

## TIPOS DE ESFUERZO:

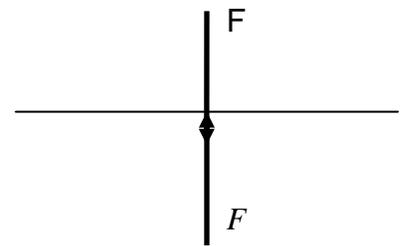
**Esfuerzos Normales:** Se considera un esfuerzo normal cuando fuerzas aplicadas son perpendiculares a la superficie donde se aplican. El esfuerzo normal es producido cuando se aplican fuerzas de tensión y de compresión. Las fuerzas de tensión son iguales y opuestas y tienden a alejarse entre sí. Por ejemplo, los cables que sostienen a un puente colgante. Las fuerzas de compresión son iguales y opuestas y se dirigen una hacia la otra. Por ejemplo, las columnas o pilares de un edificio.





## ESFUERZO DE TENSIÓN

Al aplicar una fuerza sobre un cuerpo, este produce otra igual y en sentido contrario cuya tendencia es alejarse una de la otra.



## ESFUERZO DE COMPRESIÓN

Al aplicar una fuerza sobre un cuerpo, este produce otra igual y en sentido contrario cuya tendencia es acercarse entre si.

Fig. 2. 26 Esquemas representativos de los diferentes tipos de esfuerzos

## ESFUERZO DE CORTE

Se presenta cuando sobre un cuerpo actúan fuerzas colineales de igual o diferente magnitud que se mueven en sentidos contrarios

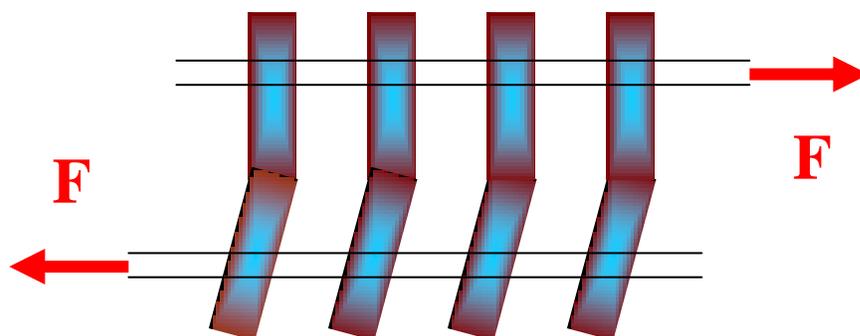


Fig. 2. 27 Esfuerzo de corte

**DEFORMACIÓN**

Al aplicar un esfuerzo sobre un cuerpo éste sufre deformaciones o alteraciones en sus dimensiones, por lo que:

**DEFORMACIÓN**  
Es el cambio relativo de las dimensiones o formas de un cuerpo como resultado de la aplicación de un esfuerzo

Las deformaciones se presentan bajo distintas situaciones, en consecuencia reciben nombres diferentes de acuerdo a las modificaciones que el cuerpo experimenta.

a: Deformación Longitudinal:

También se le conoce como deformación unitaria; representa un alargamiento o acortamiento en las dimensiones de un cuerpo. Se determina mediante la razón de la variación en la longitud de un cuerpo y su longitud original. Matemáticamente se expresa como:

$$D.U. = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

D. U.= Deformación unitaria

$\Delta L$  = Variación de longitud

$L_0$  = Longitud inicial

**UNIDADES DE MÓDULO ELÁSTICO, ESFUERZO Y DEFORMACIÓN**

Las unidades de módulo elástico y de esfuerzo en el Sistema Internacional son N/m<sup>2</sup> o Pascales, (Pa).

En el Sistema Inglés las unidades son: lb/in<sup>2</sup>

La deformación unitaria es representada por un número adimensional, es decir, sin unidades, dado que, al dividir dos unidades de longitud, éstas se eliminan.

## 2.1.4. MÓDULOS ELÁSTICOS

Módulo de elasticidad es el cociente entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida en un cuerpo; su valor es constante, siempre que no exceda el límite elástico del cuerpo. También se le conoce como constante del resorte o coeficiente de rigidez.

$$k = \frac{E}{D}$$

Donde:

k = Módulo de elasticidad

E = Esfuerzo Aplicado

D = Deformación el cuerpo

### A: MÓDULO DE YOUNG:

El módulo de Young es una propiedad característica de las sustancias sólidas (barras, varillas o alambres). Conocer su valor nos permite calcular la deformación que presenta un cuerpo al someterse a un esfuerzo.

#### MÓDULO DE YOUNG ( Y )

Es la razón del esfuerzo tensor o compresor, a la correspondiente deformación unitaria por tensión o compresión respectivamente.

El módulo de Young indica o mide la resistencia de un sólido (alambre, varilla o barra) al alargamiento o compresión.

Cuando en el módulo de elasticidad se sustituyen las ecuaciones del esfuerzo y la deformación, se obtiene la ecuación del Módulo de Young.

$$Y = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación longitudinal}}$$

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_1}}$$

$$Y = \frac{F L_1}{A \Delta L}$$

Donde:

Y = Módulo de Young del material

F = Fuerza aplicada.

L<sub>1</sub> = Longitud inicial.

A = Área de la sección transversal.

ΔL = Variación de la longitud.

El límite elástico es el esfuerzo máximo que un cuerpo sólido puede soportar sin perder sus propiedades elásticas.

$$L_e = \frac{F_m}{A}$$

Donde:

L<sub>e</sub> = Límite elástico.

F<sub>m</sub> = Fuerza máxima

A = Área



Fig. 2. 28 La construcción de los puentes, grúas, escaleras, etc., se construyen considerando las tensiones o esfuerzos máximos a los que pueden estar sometidos.

## 2.2 FLUIDOS EN REPOSO: HIDROSTÁTICA:

La hidráulica es la parte de la Física que estudia la mecánica de los fluidos; analiza las leyes que rigen el movimiento de los líquidos y las técnicas para el mejor aprovechamiento de las aguas.

La hidráulica se divide en dos partes: la hidrostática, encargada de lo relacionado con los líquidos en reposo; y la hidrodinámica que estudia el comportamiento de los fluidos en movimiento.



Fig. 2. 29 La hidráulica estudia a los fluidos en reposo y en movimiento

La hidráulica se fundamenta en las siguientes consideraciones: los líquidos manifiestan las mismas propiedades físicas en todas las direcciones; son incompresibles y totalmente fluidos; circulan en régimen permanente cuando sus moléculas atraviesan una sección de tubería a la misma velocidad y de manera continua, porque las moléculas transmiten íntegramente de una a otra las presiones que reciben.

Mediante el cálculo matemático, el diseño de modelos a pequeña escala y la experimentación con ellos, es posible determinar las características de

construcción que deben tener las presas, puertos, canales, tuberías y las máquinas hidráulicas, como el gato y la prensa. En esta unidad nos dedicaremos al estudio de la hidrostática.

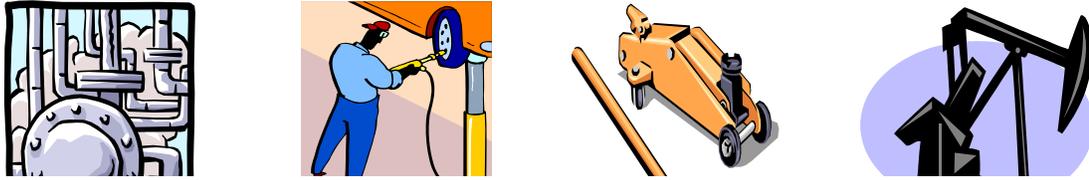


Fig. 2. 30 En forma específica la hidrostática estudia el comportamiento de los fluidos en reposo

## La hidrostática

Tiene por objeto estudiar a los líquidos en reposo.

La hidrostática se fundamenta en leyes y principios como el de Arquímedes y el de Pascal; mismos que contribuyen a cuantificar las presiones ejercidas por los fluidos, y al estudio de sus características generales.

El término fluido se aplica tanto a líquidos como a los gases ya que ambos poseen propiedades comunes. Sin embargo, debes recordar que un gas es muy ligero y, por lo tanto, puede comprimirse con facilidad, mientras que un líquido es prácticamente incompresible; ambas carecen de forma propia y adoptan la forma del recipiente que los contiene y están constituidas por pequeñas partículas de materia, que se deslizan unas sobre otras.

## 2.2.1 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

En los fluidos a diferencia de los sólidos, la fuerza de cohesión entre las moléculas es menor, por lo que éstas se pueden deslizar unas sobre otras, es decir, fluyen y provocan interacciones que caracterizan a las propiedades de este estado de la materia; tales propiedades son :

### A: VISCOSIDAD

En los fluidos en movimiento se presentan efectos de rozamiento de unas partículas con otras, en una misma sustancia. Este efecto se describe como:

#### VISCOSIDAD

Es una medida de la resistencia que presenta un líquido a fluir

Las sustancias que no fluyen fácilmente, como la miel, el aceite, el alquitrán o el almíbar, tienen una viscosidad grande. Sustancias como el agua y el alcohol que fluyen fácilmente, tienen una viscosidad pequeña.

En la industria la viscosidad se mide en forma práctica, utilizando recipientes con una determinada capacidad que tienen, en el fondo, un orificio de diámetro establecido en forma convencional. Al medir el tiempo que el líquido tarda en fluir se conoce su viscosidad.



Fig. 2. 31 Representación de diferentes fluidos con diferente viscosidad

La unidad de esta propiedad en el Sistema Internacional es:

## POISEVILLE

Es la viscosidad que tiene un fluido cuando su movimiento rectilíneo uniforme sobre una superficie plana es retardado por una fuerza de un newton por metro cuadrado de superficie de contacto con el fluido, cuya velocidad respecto a la superficie de contacto es de un metro por segundo

## B: TENSION SUPERFICIAL

Esta propiedad hace que la superficie de un líquido se comporte como una finísima membrana elástica.

Este fenómeno se debe a la atracción entre las moléculas de un líquido. Cuando se coloca un líquido en un recipiente, las moléculas interiores se atraen entre sí en todas direcciones por fuerzas iguales que se contrarrestan unas con otras; pero las moléculas de la superficie libre del líquido sólo son atraídas por las inferiores y laterales más cercanas, por lo tanto, la resultante de las fuerzas de atracción ejercidas por las moléculas próximas a una de la superficie, se dirige hacia el interior del líquido, lo cual da origen a la tensión superficial.

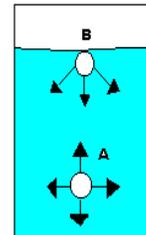


Fig. 2. 32 En la figura anterior la molécula A ejerce fuerza de cohesión en todas las moléculas de su alrededor, la molécula B sólo ejerce fuerza hacia los lados y hacia abajo.

Debido a esta propiedad una pequeña masa de líquido tiende a ser redonda en el aire; por ejemplo, las gotas; los insectos pueden caminar sobre el agua, o una aguja puesta con cuidado en forma horizontal sobre un líquido no se hunde.

La tensión superficial del agua se reduce considerablemente si se le agrega detergente; esto contribuye a que el agua penetre con más facilidad por los tejidos de la ropa durante el lavado.





Fig. 2. 33 Representación de ejemplos de la tensión superficial

## C: COHESIÓN

Es la fuerza que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia. Debido a esta propiedad, si dos gotas de agua hacen contacto forman una sola; lo mismo sucede con dos gotas de mercurio; como un ejemplo más, para romper un cuerpo se debe aplicar una fuerza mayor que la de cohesión de sus moléculas.

## D: ADHESIÓN

Es la fuerza de atracción que se manifiesta entre las moléculas de dos sustancias diferentes cuando están en contacto. Comúnmente las sustancias líquidas se adhieren a los cuerpos sólidos. En forma general, cuando el fenómeno de adhesión se presenta significa que la fuerza de cohesión entre las moléculas de una misma sustancia es menor a la fuerza de adhesión que experimenta al contacto con la otra. Como ejemplos podemos señalar que: al ingerir agua, leche, refresco, café o cualquier otra bebida, siempre quedan residuos adheridos al vaso; por la misma razón la pintura se queda en el muro; al mojar dos placas de vidrio y unir las, no se separan fácilmente. Si la fuerza de cohesión entre las moléculas de una sustancia es mayor que la fuerza de adhesión que experimenta al contacto con otra, no se presenta adhesión y se dice que el líquido no moja al sólido. Tal es el caso del mercurio en los tubos de vidrio del termómetro.



Fig. 2. 34 Ejemplos representativos de adhesión

## E: CAPILARIDAD

Esta propiedad se presenta cuando existe contacto entre un líquido y una pared sólida, especialmente si son tubos muy delgados, casi del diámetro de un cabello, llamados capilares. Al introducir un tubo de estas características en un recipiente con agua se observa que el líquido asciende por el tubo alcanzando una altura mayor que la de la superficie libre del líquido. La superficie del líquido contenido en el tubo no es plana, sino que forma un menisco cóncavo; por otra parte, si se

introduce un tubo capilar en un recipiente con mercurio, se observa que el líquido desciende debido a una depresión. En este caso se forma un menisco convexo.

Debido a esta propiedad, en las lámparas el alcohol y el petróleo ascienden por las mechas; y la savia de las plantas circula a través de sus tallos.



Fig. 2. 35 Ejemplos representativos de capilaridad

## F: DENSIDAD ABSOLUTA

En ocasiones se dice que el hierro es más pesado que la madera. En realidad esto no es cierto; como bien sabes, un tronco de árbol es más pesado que un clavo de hierro.

Lo que deberíamos decir es que el hierro es más denso que la madera.

La densidad es una propiedad característica de cualquier sustancia pura. Los objetos fabricados de una sustancia determinada, por ejemplo, de acero, pueden tener diferentes tamaños o masas, sin embargo la densidad será igual para todos.

Si consideramos una sustancia de masa  $m$  y cuyo volumen sea  $V$  la densidad absoluta,  $\rho$ ,

de dicha sustancia (se simboliza con la letra griega rho minúscula), se define como:

### DENSIDAD ABSOLUTA

Es la razón de la masa de una sustancia a su volumen, es decir, expresa la cantidad de masa contenida en la unidad de volumen de dicha sustancia

La representación matemática de la definición anterior es:

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

Donde:

$\rho$  = densidad del cuerpo

$m$  = masa del cuerpo

$V$  = volumen del cuerpo

### UNIDADES DE DENSIDAD ABSOLUTA:

La unidad que representa la densidad absoluta en el SI es  $\text{kg/m}^3$ .  
 Hace algún tiempo se utilizó con mucha frecuencia la unidad  $\text{gr/cm}^3$  de densidad, del sistema (cgs); todavía se usa al manejar pequeñas cantidades de sustancia, como en medicina.  
 La unidad que representa esta propiedad en el Sistema Inglés se le conoce como  $\text{slug/ft}^3$ .

La equivalencia o factor de conversión entre estas unidades es:

$$1 \text{ gr/cm}^3 = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 1.94 \text{ slug/ft}^3$$

DENSIDADES DE ALGUNOS MATERIALES				
SUSTANCIAS		Densidad,	SUSTANCIAS	
kg/m <sup>3</sup>		$\rho$	Densidad,	
			kg/m <sup>3</sup>	
			$\rho$	
Sólidos			Líquidos	
Aluminio	2.70	x	Agua ( 4 0C )	1.00 x 10 <sup>3</sup>
Hierro	103		Agua de mar	1.025 x 10 <sup>3</sup>
Acero	7.80	x	Alcohol etílico	0.79 x 10 <sup>3</sup>
Cobre	103		Aguarrás	0.87 x 10 <sup>3</sup>
Plomo	7.90	x	Aceite de oliva	0.92 x 10 <sup>3</sup>
Oro	103		Plasma sanguíneo	1.03 x 10 <sup>3</sup>
Níquel	8.90	x	Sangre entera	1.05 x 10 <sup>3</sup>
Plata	103		Mercurio	13.6 x 10 <sup>3</sup>
Platino	11.30	x	Gasolina	0.68 x 10 <sup>3</sup>
Madera de pino	103		Acetona	0.79 x 10 <sup>3</sup>
Corcho		x 10 <sup>3</sup>		
Hielo	8.80	x		
Concreto	103			
Ladrillo		x 10 <sup>3</sup>	Gases *	
Azúcar		x 10 <sup>3</sup>	Aire Seco	1.16
Hueso	(0.4 – 0.6)	x	Hidrógeno	0.09
Mármol	103		Oxígeno	1.43
Diamante	(0.2 – 0.3)	x	Helio	0.178
Luna	103		Bióxido de Carbono	1.98
Planeta Tierra	0.92	x	Vapor de agua (1000 C )	0.598
	103			
	2.30	x		

103		* Los gases están a 0 0C y a 1 atm de presión
(1.4 – 2.2) x		
103		
1.60	x	
103		
(1.5 – 2.0) x		
103		
2.70	x	
103		
(3.0 – 3.5) x		
103		
3.34	x	
103		
5.25	x	
103		

**G: DENSIDAD RELATIVA**

Otra propiedad importante de los fluidos es la densidad relativa,  $\delta$ , (se simboliza con la letra griega delta minúscula) y que puede definirse como:

**DENSIDAD RELATIVA**

Es la razón entre la densidad absoluta de la sustancia que se trate y la densidad absoluta de una sustancia que se toma como patrón

En términos matemáticos esta propiedad puede quedar representada así:

$$\delta = \frac{\rho \text{ de la sustancia}}{\rho \text{ de la sustancia patrón}}$$

Cuando utilices esta fórmula para obtener el valor de la densidad relativa de una sustancia debes tener presente las siguientes consideraciones:

- En los líquidos la sustancia que se toma como patrón es el agua.
- En los gases la sustancia patrón es el aire.
- La densidad relativa del agua es 1 en cualquier sistema de unidades.
- La densidad relativa de una sustancia viene expresada con el mismo valor numérico, en cualquier sistema de unidades.
- El valor de la densidad relativa de una sustancia es un número adimensional.
- La densidad absoluta y la densidad relativa de una sustancia tienen el mismo valor numérico cuando se miden en gr/cm<sup>3</sup>, ya que, en estas condiciones la densidad absoluta del agua es 1 gr/cm<sup>3</sup>

**H: PESO ESPECÍFICO**

Otra de las propiedades, no menos importante que las anteriores es el peso específico,  $\gamma$ , (se simboliza con la letra griega gamma minúscula) y que se define como:

**PESO ESPECÍFICO**  
Es la razón del peso de una sustancia a su volumen

La definición anterior se representa en forma matemática de la forma:

$$\gamma = \frac{w}{V}$$

Donde:

$\gamma$  = peso específico de la sustancia

$w$  = peso de la sustancia

$V$  = volumen de la sustancia

Otra forma de conocer o calcular el peso específico de una sustancia es cuando se conoce su densidad absoluta; para determinar su fórmula hacemos las deducciones siguientes:

Sabemos que:

$$\gamma = \frac{w}{V} \dots\dots\dots(1)$$

como el peso es:

$$w = mg \dots\dots\dots(2)$$

sustituyendo (2) en (1),

tenemos  $\gamma = \frac{mg}{V} \dots\dots\dots(3)$

la ecuación (3) se puede escribir así:

$$\gamma = \frac{m}{V} g \dots\dots\dots(4)$$

Dado que:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(5)$$

sustituyendo (5) en (4), se

$$\gamma = \rho g$$

Donde:

$\gamma$  = peso específico de la sustancia  
 $\rho$  = densidad absoluta de la sustancia  
 $g$  = aceleración de la gravedad

### UNIDADES DE PESO ESPECÍFICO

La unidad que representa al peso específico de una sustancia en el SI es  $N/m^3$ .  
 Al utilizar pequeñas cantidades de sustancia, como en medicina, se utiliza la unidad del sistema (cgs):  $d/cm^3$ .  
 La unidad que representa esta propiedad en el Sistema Inglés se le conoce como  $lb/ft^3$ .

La equivalencia o factor de conversión entre estas unidades es:

$$1 \text{ N/m}^3 = 1 \times 10^{-1} \text{ d/cm}^3 = 6.3 \times 10^{-3} \text{ lb/ft}^3$$

Una información importante es que el peso específico del agua es:

$$9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3 = 9.8 \times 10^2 \text{ d/cm}^3 = 62 \text{ lb/ft}^3$$

## 2.2.2. PRESIÓN

La presión indica la relación entre una fuerza aplicada y la superficie o área sobre la cual se aplica. En cualquier caso en que exista presión, una fuerza actuará en forma perpendicular sobre una superficie. La presión se obtiene dividiendo la fuerza total aplicada entre la superficie a la que se aplica, por lo que:

### PRESIÓN

Es la relación de la fuerza aplicada, en forma perpendicular, sobre la unidad de superficie en la que se aplique.

La representación matemática de la definición anterior, esta dada por:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

P = presión ejercida

F = fuerza aplicada

A = área donde se aplica la fuerza

La fórmula que se emplea para determinar el valor de la presión nos indica que: cuanto mayor sea la fuerza aplicada, mayor será la presión para una superficie igual; por lo que, cuando la fuerza aumenta al doble, la presión también se incrementa en la misma proporción, es decir, al doble; si la fuerza aumenta al triple, la presión se incrementa al triple, siempre que el área sobre la que actúa la fuerza no cambie.

Cuando se aplica una misma fuerza pero el área aumenta, la presión disminuye en forma inversamente proporcional al incremento de dicha superficie. Por lo tanto, si el área aumenta al doble, la presión decrece a la mitad; si el área sube al triple, la presión baja a la tercera parte de su valor. Pero si el área en que actúa una fuerza disminuye a la mitad, la presión aumenta al doble, y si el área se reduce a la tercera parte de su valor, la presión se incrementa al triple. Podemos concluir:

La presión es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la superficie en donde se aplica.

Lo anterior nos indica la razón de que se ejerce una mayor presión sobre el suelo cuando una mujer usa tacones y el intenso dolor que le puede provocar a cualquier persona que reciba un pisotón. Pero si dicha dama usa zapatos tenis, a pesar de tener el mismo peso, y por tanto, aplicar la misma fuerza sobre el suelo, como hay una mayor área ejercerá menor presión y producirá menos hundimiento en el suelo blando. Por lo anterior podemos afirmar: el hundimiento registrado en el suelo no indica la exacta dimensión de la fuerza, sino de la presión que ejercen unos cuerpos sobre otros.



Fig. 2. 36 Si el peso se distribuye en una mayor área, la presión disminuye

Con el siguiente ejemplo se puede diferenciar aún más entre los conceptos de fuerza y presión. Un elefante a pesar de su enorme peso, deja huellas que apenas se aprecian cuando el terreno está seco, debido a que sus patas tienen una especie de almohadillas que distribuyen su peso en forma regular, es decir,

toda la gran fuerza aplicada debido a su peso ocupa un área grande sobre el suelo por lo que la presión casi no llega a deformarlo.

## UNIDADES DE PRESIÓN

La unidad de presión en el Sistema Internacional es N/m<sup>2</sup>, esta unidad se conoce oficialmente como Pascal (Pa), en honor a Blaise Pascal; 1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>.

La unidad de presión en el Sistema Inglés es lb/in<sup>2</sup>.

La equivalencia o factor de conversión entre estas unidades es:

$$1 \frac{N}{m^2} = 1.449 \times 10^{-4} \frac{lb}{in^2} \quad \text{o bien,} \quad 1 \frac{lb}{in^2} = 6.9 \times 10^3 \frac{N}{m^2}$$

### A: PRESIÓN HIDROSTÁTICA.

Cuando un líquido está contenido en un recipiente, el peso de sus moléculas origina una presión perpendicular sobre el fondo y las paredes del mismo. Dicha presión actúa en todas direcciones y sólo es nula en la superficie libre del líquido. A esta presión se le conoce como:

#### PRESION HIDROSTÁTICA

Es aquella que origina todo líquido sobre el fondo y las paredes del recipiente que lo contiene y es directamente proporcional al peso específico del líquido y a la profundidad.

La definición anterior nos indica que la presión hidrostática en cualquier punto puede calcularse multiplicando el peso específico del líquido por la altura que hay desde la superficie libre del mismo hasta el punto considerado.

Dado que el peso del líquido contenido en un recipiente produce una presión, por lo que:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

como la fuerza ejercida es el peso del

líquido, entonces:

$$P = \frac{w}{A} \dots\dots\dots(2)$$

sabemos que:

$$w = m g \dots\dots\dots(3)$$

sustituyendo (3) en (2)

$$P = \frac{mg}{A} \dots\dots\dots(4)$$

por otra parte, sabemos que:

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

$$m = \rho V \dots\dots\dots(5)$$

despejando m, tenemos:  
sustituyendo (5) en (4)

$$P = \frac{\rho V g}{A} \dots\dots\dots(6)$$

dado que:

$$V = A h \dots\dots\dots(7)$$

sustituyendo (7) en (6)

$$P = \frac{\rho A h g}{A} \dots\dots\dots(8)$$

simplificando, tenemos:

$$P_h = \rho h g$$

Donde:

- Ph = presión hidrostática
- $\rho$  = densidad del líquido
- h = profundidad
- g = aceleración de la gravedad

Finalmente y, dado que:

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots(9)$$

tenemos que:

sustituyendo en la fórmula anterior,

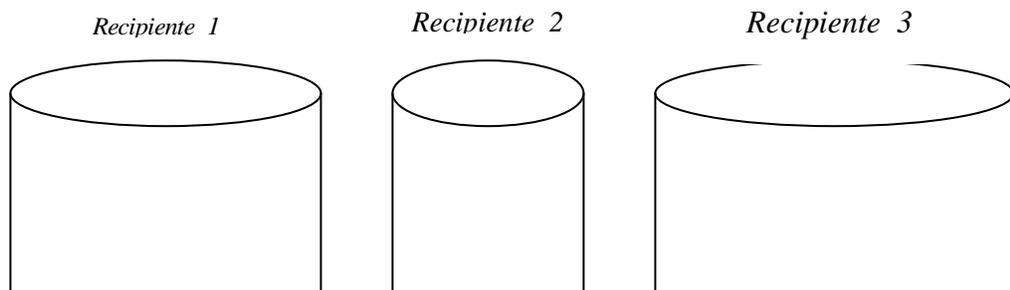
$$P_h = \gamma h$$

Donde:

- Ph = presión hidrostática
- $\gamma$  = peso específico del líquido
- h = profundidad

### B: PARADOJA HIDROSTÁTICA

La llamada paradoja hidrostática de Stevin trata lo siguiente: la presión ejercida por un líquido en cualquier punto de un recipiente, no depende de la forma de éste ni de la cantidad del líquido contenido, sino únicamente del peso específico y de la altura que hay del punto considerado a la superficie libre del líquido.



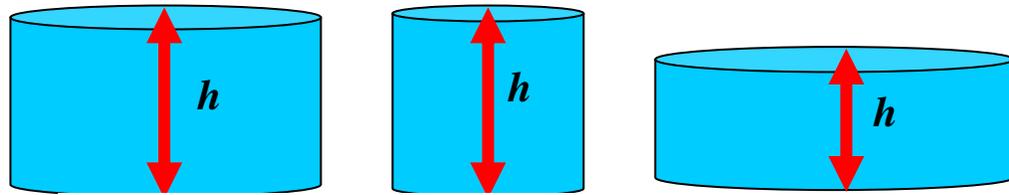


Fig. 2. 37 La presión hidrostática en el fondo de los recipientes 1 y 2 es igual, pero es diferente en el recipiente 3

Si calculamos la presión hidrostática en el fondo de cada recipiente, tenemos:

Para los recipientes 1 y 2, la altura  $h$  o profundidad es 0.5 m

$$P_h = \rho g h$$

$$P_h = (1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(0.5 \text{ m})$$

$$P_h = 4\,900 \text{ N/m}^2$$

Para el recipiente 3, la altura  $h$  o profundidad es 0.3 m

$$P_h = \rho g h$$

$$P_h = (1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(0.3 \text{ m})$$

$$P_h = 2\,940 \text{ N/m}^2$$

Fácilmente puedes observar que la presión hidrostática en el fondo de los recipientes 1 y 2 es la misma porque la altura también lo es; mientras que en el recipiente 3 disminuye, en forma considerable, porque la altura es menor. Por lo anterior podemos concluir que si una alberca tiene una profundidad de un metro, la presión hidrostática que existirá en el fondo de la misma, será menor a la que se producirá en el fondo de un depósito pequeño con agua cuya profundidad sea mayor a un metro.

### **C: PRESION ATMOSFERICA**

La Tierra está rodeada por una capa de aire llamada atmósfera. El aire, que es una mezcla de 20% de oxígeno, 79% de nitrógeno y 1% de gases raros, como toda sustancia cercana a la tierra, es atraído por ella, es decir, el aire tiene peso.

Debido a esto, la atmósfera, ejerce una presión sobre todos los cuerpos sumergidos en ella.

Esta presión recibe el nombre de:

#### **PRESIÓN ATMOSFÉRICA**

Es la fuerza que ejerce el peso de una columna de aire atmosférico sobre una unidad de área en la superficie terrestre.

En todos los planetas con atmósfera existe una presión atmosférica con cierto valor. En la Luna, como no hay atmósfera, no hay presión atmosférica.

La presión atmosférica varía con la altura, por lo que al nivel del mar tiene su máximo valor o presión normal.

El valor de la presión atmosférica al nivel del mar es de 1 atmósfera, (1 atm), y es equivalente a:

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cm de Hg} = 760 \text{ mm de Hg}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 14.7 \text{ lb/in}^2$$

La equivalencia de la presión atmosférica en unidades del Sistema Internacional se obtiene con la expresión:

$$P(\text{atm}) = \rho g h$$

Como:

$$\rho_{\text{Hg}} = 13\,600 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 0.76 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores en la fórmula se tiene:

$$P(\text{atm}) = (13\,600 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/s}^2)(0.76 \text{ m})$$

$$P(\text{atm}) = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

A medida que es mayor la altura sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye. Esto es una situación lógica, pues cuanto mayor sea la altitud de un lugar, más enrarecido estará el aire y menor será el espesor de la capa atmosférica que actúa sobre los cuerpos que están en la superficie de la Tierra. Por ejemplo, en la ciudad de México su valor es de 586 mm de Hg, que es equivalente a  $0.78 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ . Un ejemplo más, en lo alto del Monte Everest, la presión atmosférica es, aproximadamente de 260 mm de Hg.

## D: BARÓMETRO DE MERCURIO, EXPERIMENTO DE TORRICELLI

Hasta la época de Galileo Galilei ( siglo XVII ) la existencia de la presión atmosférica era desconocida. Fue el físico Italiano Evangelista Torricelli ( 1608 – 1647 ), contemporáneo y amigo de Galileo, quien demostró que la presión atmosférica existe y, además, permitió la determinación de su valor.

Torricelli fue el primero en idear un *barómetro* ( instrumento que sirve para medir experimentalmente la presión atmosférica). Para ello llenó un tubo delgado de vidrio de casi un metro de longitud cerrado por uno de los extremos, tapando con su dedo el extremo abierto, invirtió el tubo y lo introdujo en un depósito que también contenía mercurio. Al retirar su dedo observó que el líquido



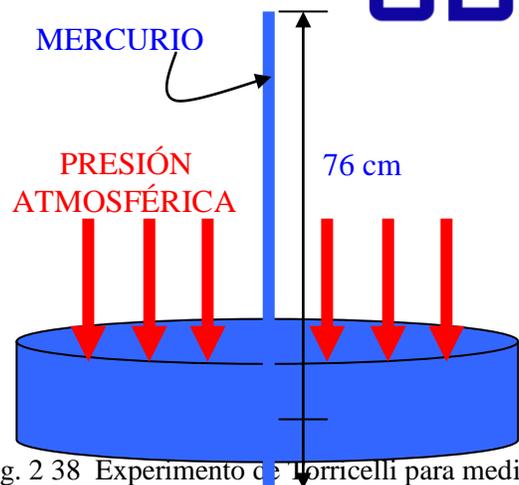


Fig. 2 38 Experimento de Torricelli para medir la presión atmosférica: barómetro de mercurio

El experimento de Torricelli podría realizarse usando otros líquidos en vez del mercurio; Pascal llegó a realizar el experimento con vino. Pero el mercurio es el que se utiliza con mayor frecuencia por su gran densidad, por lo que produce una columna no muy grande. Si el experimento se desarrolla con agua, por ejemplo, como su densidad es 13.6 veces menor que la del mercurio, la altura que se forme con el agua será de 13.6 veces mayor, es decir, de 10.3 m de altura.

**E: PRESIÓN MANOMÉTRICA Y PRESIÓN ABSOLUTA**

Un líquido contenido en un recipiente abierto, además de la presión originada por su peso, soporta la presión atmosférica, la cual se transmite uniformemente por todo el volumen del líquido. En el caso de un líquido confinado en un depósito, además de la presión atmosférica puede recibir otra presión causada por calentamiento, tal como sucede con las autoclaves que contiene un fluido bajo presión y se emplean como esterilizadores en clínicas y hospitales; también es común detectar la presión en las calderas de vapor, o la presión en las llantas de los autos como resultado del aire comprimido.

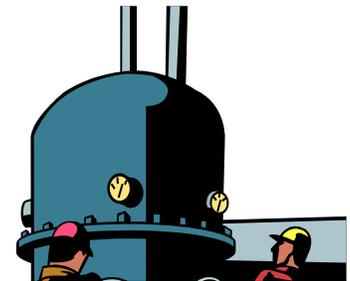


Fig. 2. 39 Caldera en la que se mide la presión

La presión diferente a la

atmosférica recibe el nombre de presión manométrica. De donde la presión absoluta que soporta el fluido encerrado es igual a la suma de las presiones manométrica y atmosférica.

Los dispositivos para medir la presione manométrica se llaman manómetros. La presión manométrica es igual a la diferencia entre la presión absoluta del interior del recipiente y la presión atmosférica.

$$\text{Presión absoluta} = \text{presión manométrica} + \text{presión atmosférica}$$

$$\text{Presión manométrica} = \text{presión absoluta} - \text{presión atmosférica}$$

Un tipo de manómetro de uso común es el de tubo abierto o manómetro de líquido el cual tiene forma de U; generalmente contiene mercurio pero si se requiere alta sensibilidad puede contener agua o alcohol. Se utiliza para medir la presión en calderas, autoclaves, tanques de gas o cualquier recipiente a presión. Para ello, un extremo de tubo se conecta al recipiente de referencia para medir la presión; el gas o vapor ejerce una presión que hace subir el mercurio por el extremo abierto, hasta igualar las presiones. La diferencia entre los dos niveles determina la presión manométrica, a la cual debe agregarse la atmosférica si se desea conocer la presión absoluta del interior del recipiente.

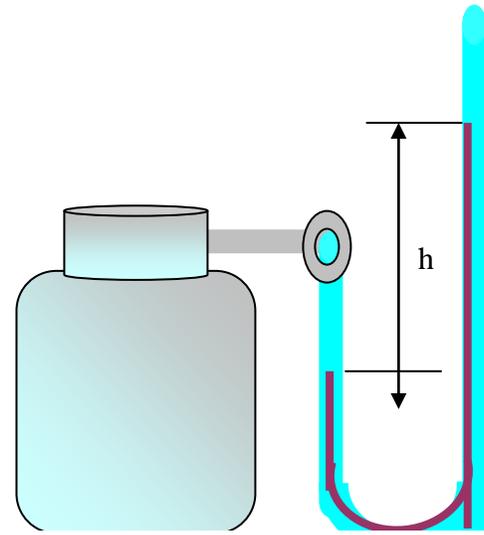


Fig. 2. 40 La diferencia de alturas  $h$  determina la presión manométrica dentro del



Fig. 2. 41 Ejemplo de un manómetro de Bourdón

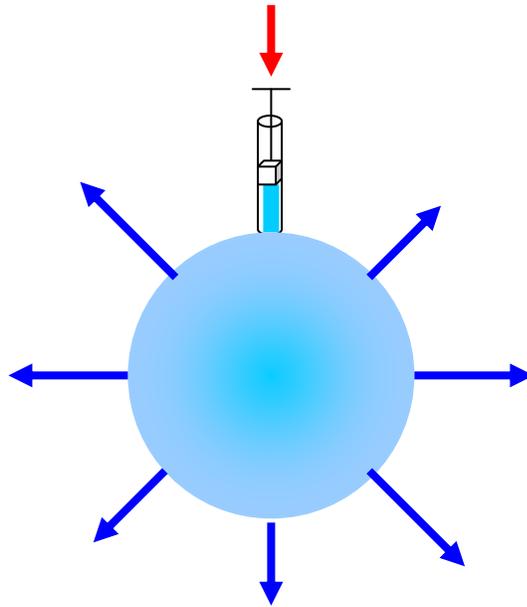
Otro tipo de manómetro metálico, de tubo o de líquidos; está constituido por un tubo elástico, en forma de espiral, en un extremo y por el otro extremo se desea medir, ésta sufre una deformación elástica que gira sobre una circunferencia.

### 2.2.3. PRINCIPIO DE PASCAL

Ya sabes que un líquido produce una presión hidrostática debido a su peso, pero si el líquido se encierra herméticamente dentro de un recipiente puede aplicársele otra presión utilizando un émbolo; dicha presión se transmitirá íntegramente a todos los puntos del líquido. Esto se explica si recordamos que los líquidos, a diferencia de los sólidos y gases, son prácticamente incompresibles. Esta observación fue hecha por el físico francés Blaise Pascal ( 1623 – 1662 ), quien enunció el siguiente principio que lleva su nombre:

#### PRINCIPIO DE PASCAL

Toda presión que se ejerce sobre un líquido encerrado en un recipiente se transmite con la misma intensidad a todos los puntos del líquido y a las paredes del recipiente que lo contiene



El principio de Pascal puede comprobarse utilizando una esfera hueca, ( jeringa de Pascal ) perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo.

Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella, a través del émbolo, se observa que el agua sale por todas las perforaciones con la misma intensidad, es decir, con la misma presión

Fig. 2. 42 Jeringa de Pascal. Con ella se observa que la presión recibida por un líquido se transmite en todas direcciones

Una de las aplicaciones prácticas más importantes del principio de Pascal es la llamada prensa hidráulica. Este dispositivo consta esencialmente de dos cilindros de diferente diámetro, cada uno con su respectivo émbolo, unidos por medio de un tubo de comunicación.

Se llenan con un líquido especial el tubo y los cilindros, y al aplicar una fuerza en el émbolo de menor diámetro la presión que genera se transmite íntegramente al émbolo de mayor diámetro. Al penetrar el líquido en el cilindro mayor, que está unido a una plataforma, empuja el émbolo hacia arriba.

Con este dispositivo, si una fuerza pequeña actúa sobre el émbolo menor produce una gran fuerza sobre el émbolo mayor.

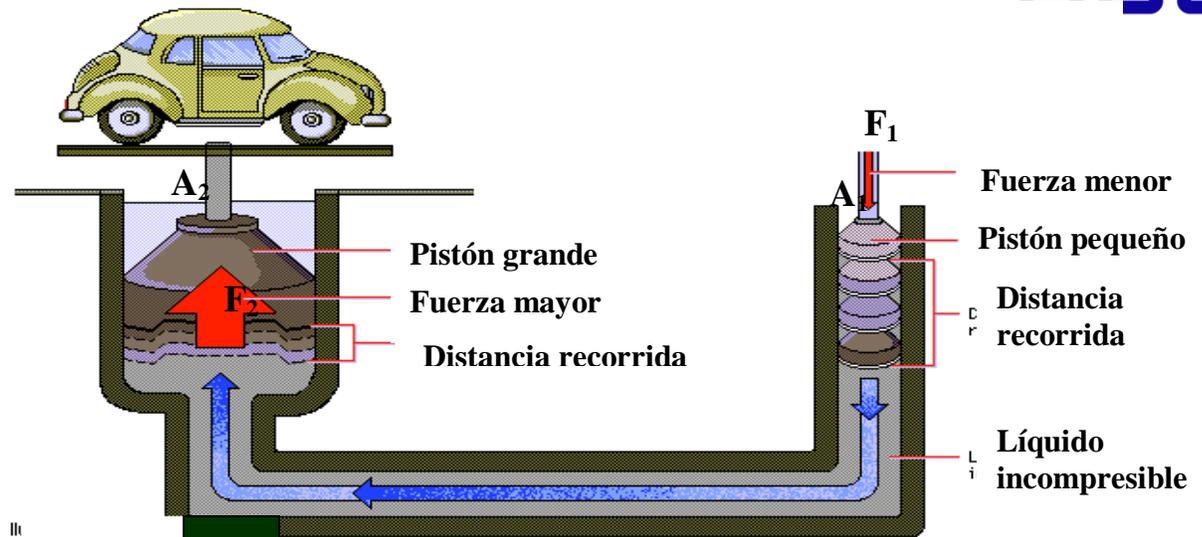


Fig. 2. 43 En la prensa hidráulica, la presión en el émbolo menor es la misma que en el émbolo mayor

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Donde:

- F1 = fuerza aplicada al émbolo menor
- F2 = fuerza aplicada al émbolo mayor
- A1 = área del émbolo menor
- A2 = área del émbolo mayor

La prensa hidráulica se utiliza en los talleres, para levantar autos; en la industria, para comprimir algodón o tabaco; para extraer aceite de algunas semillas o jugo de algunas frutas.

Los frenos hidráulicos de los automóviles también se basan en el principio de Pascal. Cuando se pisa el freno, el líquido del cilindro maestro transmite la presión recibida a los cilindros de cada rueda, mismos que abren o cierran las balatas para detener el giro de las llantas.

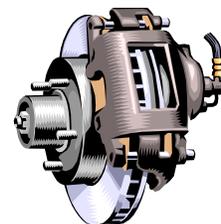


Fig. 2. 44 Prensa hidráulica utilizada en los talleres

Fig. 2. 45 Los cilindros de cada rueda reciben la presión del cilindro maestro y cierra las balatas para detener al auto

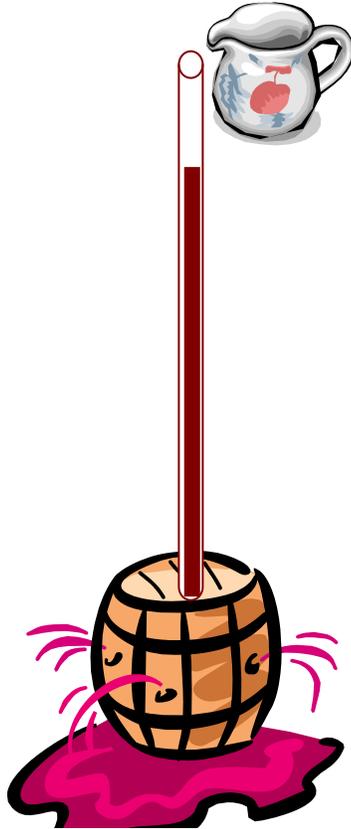


Fig. 2. 46 Tonel de Pascal. La presión ejercida por el peso del agua vertida en el tubo es tan grande debido a la altura, que rompe el barril.

Basándose en su propio descubrimiento de la transmisión de la presión ejercida sobre un líquido encerrado en un recipiente, Pascal realizó el siguiente experimento:

Conectó en forma vertical un tubo delgado y largo a la tapa de un tonel o barril que se encuentra totalmente lleno con agua. Después, vertió el agua contenida en una jarra a través del tubo y al subir el nivel del agua por éste, la presión en el líquido encerrado en el barril y en las paredes del mismo fue tan grande que lo reventó en pedazos.

La razón de esta situación, es que la presión que ejerce el agua contenida en el tubo al irse llenando es muy grande, pues, como ya se determinó en la paradoja de Stevin, la presión ejercida por un líquido a determinada profundidad sólo depende de la altura del mismo y de su peso específico, y no de la cantidad del líquido.

## 2.2.4 Principio de ARQUÍMEDES y flotación de los cuerpos

Siempre que un cuerpo se sumerge en un líquido éste ejerce un empuje en forma vertical y ascendente sobre el cuerpo. Los cuerpos sumergidos en un líquido parecen pesar menos que cuando se encuentran fuera del fluido. Seguramente en alguna ocasión habrás experimentado que, cuando introduces,

por ejemplo, un trozo de madera o una pelota en un depósito con agua tienes que aplicar un gran fuerza para mantenerlo sumergido; en cuanto sueltas al cuerpo, éste sale disparado hacia arriba. De igual forma, hemos notado que al introducirnos en una alberca sentimos una aparente pérdida de peso; al encontrarnos en la parte más honda, si soltamos el cuerpo, empezamos a flotar debido a la fuerza de empuje o de flotación recibida por el agua.

La fuerza de flotación se presenta debido a que la presión de un fluido aumenta con la profundidad. Así, la presión hacia arriba que se ejerce sobre la superficie inferior de un objeto sumergido es mayor que la presión hacia abajo sobre su superficie superior. Para ver los efectos de lo anteriormente descrito, pensemos en lo siguiente:

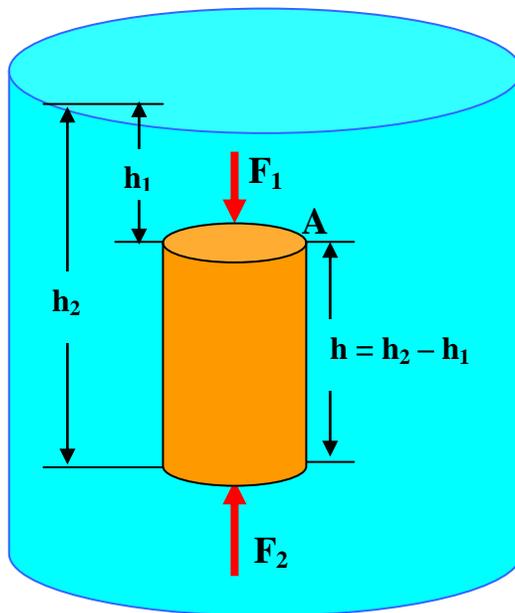


Fig: 2.47 Determinación de la fuerza de flotación

Se tiene un cilindro de altura  $h$ , cuyas caras superior e inferior tienen un área  $A$ . El cilindro está completamente sumergido en un fluido de densidad  $\rho$ .

El fluido ejerce una presión  $P_1 = \rho g h_1$  contra la cara superior del cilindro.

La fuerza debida a esta presión del fluido sobre la cara superior del cilindro es

$F_1 = P_1 A$ , por lo tanto,  $F_1 = \rho g h_1 A$ , y está dirigida hacia abajo.

De manera similar, el fluido ejerce una fuerza hacia arriba sobre el fondo del cilindro, igual a  $F_2 = P_2 A$ , por lo que,

$F_2 = \rho g h_2 A$ .

La fuerza neta debida a la presión del fluido, es decir, *el empuje o la fuerza de flotación*  $F_B$ , actúa hacia arriba y tiene la siguiente magnitud:

$$F_B = F_2 - F_1$$

$$F_B = \rho g A (h_2 - h_1)$$

$$F_B = \rho g A h$$

$$F_B = \rho g V$$

Donde

$F_B$  = fuerza de flotación o empuje ascendente

$\rho$  = densidad del fluido

$g$  = aceleración de la gravedad

$V$  = volumen del cilindro

En la fórmula anterior  $V = A h$  es el volumen del cilindro. Como  $\rho$  es la densidad del fluido, el producto  $\rho g V = m g$  es el peso del fluido que ocupa un volumen igual al volumen del cilindro. Así la fuerza de flotación sobre el cilindro es igual al peso del fluido desplazado. Se debe entender por “fluido desplazado” un volumen del fluido igual al volumen del objeto sumergido en él, o de la parte del cuerpo sumergida, si es que el objeto se encuentra flotando. Es el líquido que estaba donde ahora está el objeto. Si el objeto se coloca en un depósito lleno con agua hasta el borde, el agua que se derrame será el agua desplazada por el objeto. Lo anterior es válido, sin importar la forma del objeto.

El descubrimiento de esta fuerza de empuje se la acredita al filósofo y físico griego Arquímedes (287 – 212 a. C.), por lo que se enuncia como:

#### PRINCIPIO DE ARQUÍMEDES

La fuerza de flotación o empuje que actúa sobre un cuerpo sumergido en un fluido es igual al peso del fluido desplazado por el objeto

En un cuerpo totalmente sumergido en un líquido, todos los puntos de su superficie reciben una presión hidrostática, la cual aumenta conforme es mayor la profundidad. Las presiones ejercidas sobre las caras laterales opuestas del cuerpo se neutralizan mutuamente, sin embargo está sujeto a otras dos fuerzas opuestas: su peso que lo empuja hacia abajo y el empuje del líquido que lo impulsa hacia arriba. De acuerdo con la magnitud de estas dos fuerzas se tienen los siguientes casos:

Si el peso de un cuerpo es menor al empuje que recibe, flota porque desaloja menor cantidad de líquido que su volumen

Si el peso del cuerpo es igual al empuje que recibe, permanecerá en equilibrio, es decir, sumergido dentro del líquido.

Si el peso del cuerpo es mayor que el empuje, se hunde, sufriendo una disminución aparente de peso.

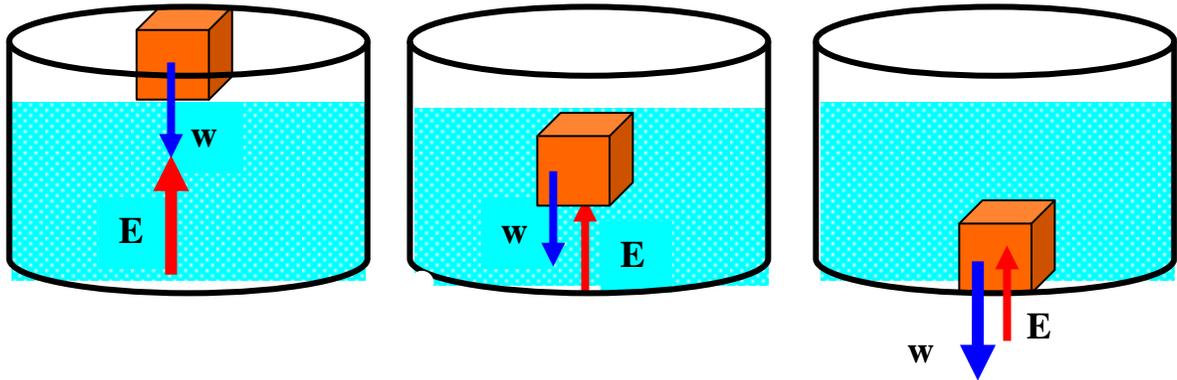


Fig. 2.48 Flotación o hundimiento de un cuerpo en función de su peso y el empuje que recibe

Se cuenta que Arquímedes descubrió este principio cuando se bañaba, pensando en la forma de descubrir si la nueva corona del rey Herón, pariente de Arquímedes, era de oro puro o una falsificación. El oro tiene una densidad de  $19.3 \text{ kg/m}^3$ , es decir, mucho mayor que la de la mayoría de los metales. En realidad, la densidad no se determina en forma directa, dado que el volumen de un cuerpo de forma irregular no se puede calcular fácilmente. Sin embargo, si el objeto se “pesa” en el aire y luego se “pesa” cuando está sumergido en agua, es posible calcular su densidad mediante el principio de Arquímedes.

Considerando que  $w'$  es el peso del objeto cuando está sumergido en agua; se puede calcular porque es igual al peso verdadero  $w = m g$ , fuera del agua, menos la fuerza de empuje o de flotación  $F_E$ .

$$w' = w - F_E$$

Seguramente te habrás preguntado alguna vez, porqué los barcos flotan, cuando sabemos que están contruidos de materiales de mayor densidad que la del agua y, además, llenos de personas, autos, maquinaria y otros tipos de objetos, es decir, de un gran peso. La explicación la podemos obtener analizando lo que pasa cuando se tiene una lámina de acero y se coloca sobre

la superficie libre del agua de un estanque; observamos que la lámina se hunde, pues su densidad es mucho mayor que la del agua. Sin embargo, si doblamos la lámina en forma de caja y la colocamos de nuevo en el agua, observaremos que en esta ocasión sí flota. Esto sucede porque se divide la masa de la lámina entre el volumen del agua que desaloja, obteniéndose así la densidad promedio de la lámina, que es un valor menor que la densidad del agua. En síntesis:

Para que un cuerpo flote en cualquier líquido, debe tener una densidad promedio menor a la del líquido.

El empuje que recibe un cuerpo sumergido en un líquido se determina multiplicando el peso específico del líquido por el volumen desalojado por éste.

$$F_E = \gamma V$$

Para que un cuerpo flote en un fluido, su densidad promedio debe ser inferior a la del fluido.

Para encontrar el volumen sumergido de un sólido flotante, se utiliza la siguiente fórmula:

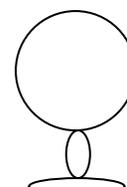
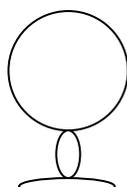
$$\rho_S V_S = \rho_L V_L$$

Para encontrar la altura que un sólido flotante tiene sumergida, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\rho_S h_S = \rho_L h_L$$

Donde:

- $\rho_S$  = densidad del sólido
- $\rho_L$  = densidad del líquido
- $V_S$  = volumen del sólido
- $V_L$  = volumen del líquido
- $h_S$  = altura del sólido
- $h_L$  = altura del líquido



## EJERCICIOS PROPUESTOS

Si 2.5 kg de alcohol ocupan un volumen de  $3.16 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Encuentra: a) su densidad absoluta; b) su densidad relativa; c) su peso específico

Respuestas:

$$\rho = 0.79 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\delta = 0.79$$

$$\gamma = 7\,742 \text{ N/m}^3$$

Si  $1.5 \times 10^3 \text{ kg}$  de plomo ocupan un volumen de  $0.13274 \text{ m}^3$ . ¿Cuál es el valor de su densidad?

Respuesta:

$$\rho = 1.13 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$$

Determina la masa y el peso de 10 litros de mercurio.

Respuesta:

$$m = 136 \text{ kg}$$

$$w = 1\,332.8 \text{ N}$$

Determina el volumen en metros cúbicos y en litros de  $1 \times 10^3 \text{ kg}$  de alcohol.

Respuesta:

$$V = 1.266 \text{ m}^3$$

$$V = 1\,266 \text{ litros}$$

Encuentra el área sobre la que debe aplicarse una fuerza de 200 N para que se produzca una presión de  $2 \times 10^3 \text{ Pa}$ .

Respuesta:

$$A = 0.1 \text{ m}^2$$

Determina la presión hidrostática que existirá en una prensa hidráulica a una profundidad de 5 y 7 m, respectivamente. La prensa utiliza aceite que tiene una densidad de  $1.75 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ .

Respuestas:

$$P_h = 85\,750 \text{ Pa}$$

$$P_h = 120\,050 \text{ Pa}$$

Determina la presión hidrostática en el fondo de un tanque que tiene 1.58 m de profundidad y que está lleno con gasolina.

Respuesta:

$$P_h = 10\,529.12 \text{ Pa}$$

¿A qué profundidad está sumergido una persona que bucea en el mar, en el momento que soporta una presión hidrostática de  $4 \times 10^5 \text{ Pa}$ ?

Respuesta:

$$h = 39.82 \text{ m}$$

Al medir la presión manométrica, al nivel del mar, con un manómetro de tubo abierto se registró una diferencia de alturas de 10 cm de mercurio. Determina el valor de la presión absoluta en: a) cm de mercurio; b) en Pascales.

Respuestas:

$$P_{abs} = 86 \text{ cm de Hg}$$

$$P_{abs} = 114\,628.947 \text{ Pa}$$

Determina la altura que alcanzará el agua al ser bombeada a través de una tubería con un presión de  $5.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

Respuesta:

$$h = 57.142 \text{ m}$$

Encuentra la fuerza que se aplica en el émbolo menor de una prensa hidráulica de  $10 \text{ cm}^2$  de área, si el émbolo mayor tiene un área de  $150 \text{ cm}^2$  y se produce una fuerza de  $1.05 \times 10^4 \text{ N}$ .

Respuesta:

$$7 \times 10^2 \text{ N}$$

En una prensa hidráulica el émbolo mayor tiene un diámetro de 40 cm, mientras que el diámetro del émbolo menor es de 12 cm. Determina la fuerza que se producirá en el émbolo mayor si en el émbolo menor se aplica una fuerza de 250 N

Respuesta:

$$F = 2\,777.77 \text{ N}$$

Determina el diámetro del émbolo menor de una prensa hidráulica, si se le aplica una fuerza de  $4 \times 10^2$  N. El émbolo mayor tiene un diámetro de 50 cm y se produce una fuerza de  $4.5 \times 10^3$  N.

Respuesta:

$$D = 14.9 \text{ cm}$$

Un cubo de aluminio de 15 cm de arista se sumerge en alcohol. El cubo tiene un peso de 89.3 N. Determina: a) la fuerza de flotación o empuje que recibe; b) el peso aparente del cubo.

Respuestas:

$$FE = 26.129 \text{ N}$$

$$w' = 63.171 \text{ N}$$

Un cilindro de hierro de 10 cm de altura, flota en el mercurio. ¿cuál es la altura  $h$  del cilindro que se encuentra sumergida en el mercurio?

Respuesta:

$$h = 5.735 \text{ cm}$$

## 2.3 FLUIDOS EN MOVIMIENTO: HIDRODINÁMICA

La hidrodinámica es la parte de la hidráulica que estudia el comportamiento de los fluidos en movimiento. Recuerda que los fluidos son sustancias capaces

de fluir y que se adaptan a la forma del recipiente que los contiene: líquidos y gases.

Las aplicaciones de la hidrodinámica se presentan en el diseño de canales, presas, diseño de sistemas de riego, puertos, diseño de los cascos de los barcos, hélices, turbinas, diseño de sistemas de suministro de agua, diseño de formas aerodinámicas de aviones, trenes, autos, y ductos en general.

Las diferencias esenciales entre los líquidos y los gases son:

Los líquidos son prácticamente incompresibles mientras que los gases son compresibles.

Los líquidos ocupan un lugar definido y tienen superficies libres, mientras que una masa dada de gas se expande hasta ocupar todas las partes del recipiente que la contiene.

Los fluidos más comunes son el aire y el agua que, cuando están en movimiento, producen fenómenos de fricción y cambios de presión.

Para reducir el fenómeno de fricción con el aire, se han diseñado las formas aerodinámicas de los autos de carreras, las aeronaves o los trenes que desarrollan altas velocidades.

En cuanto a los cambios de presión que producen los fluidos en movimiento, citamos los siguientes ejemplos:

Cuando un perfume, insecticida o simplemente agua se esparce mediante un aerosol.

Las causas que producen los diferentes tipos de curvas de las pelotas lanzadas por los jugadores de béisbol.

La fuerza de empuje que reciben las alas de los aviones para que éstos vuelen.

### **2.3.1. GASES EN MOVIMIENTO**

Para que veas el efecto de este fluido en movimiento, específicamente del aire, realiza este sencillo experimento:

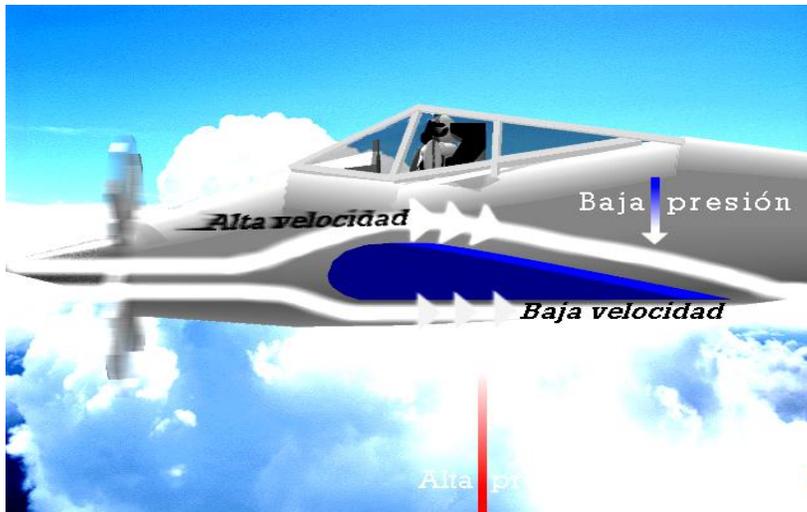
Sostén una tira de papel debajo de tu labio inferior y sopla fuertemente sobre la parte superior.

¿Qué sucedió?  
¡La tira de papel ascendió!

Esto se debe a que al soplar sobre la tira de papel se provoca una corriente de aire, por lo que al aumentar la velocidad de éste, disminuye la presión en la parte superior del papel y la presión atmosférica lo empuja hacia arriba.

Algo semejante a lo descrito en el experimento anterior, ocurre en las alas de los aviones: su diseño produce una fuerza de sustentación que permite el vuelo de los aviones.

La forma del ala de un avión, en su cara superior es curvada y en la inferior es plana, como se puede observar en la figura.



Cuando el avión viaja, el aire que se mueve sobre la superficie superior del ala, recorre una mayor distancia que el que se mueve en la parte inferior, por lo que, desarrollará una mayor velocidad, para no retrasarse con respecto a la demás masa del aire.

Fig. 2. 49 El perfil del ala de un avión genera la diferencia de presiones necesaria para que el avión se eleve

Este aumento de velocidad en la parte superior origina la disminución de la presión en esa parte y, al ser mayor la presión en la cara inferior del ala, el avión recibe una fuerza que lo impulsa en forma ascendente, permitiendo que pueda sostenerse en el aire al aumentar su velocidad.

A esta fuerza se le llama de ascenso que empuja el avión y lo mantiene volando.

Analicemos otro ejemplo:

En el juego de béisbol, la mayoría de las pelotas tiradas por los lanzadores describen trayectorias curvas, algunas hacia la derecha o a la izquierda, y otras hacia arriba o abajo.

Para producir, por ejemplo, una **Alta Presión** le da a la pelota una rotación en el mismo sentido del avance, tal como se indica a continuación.

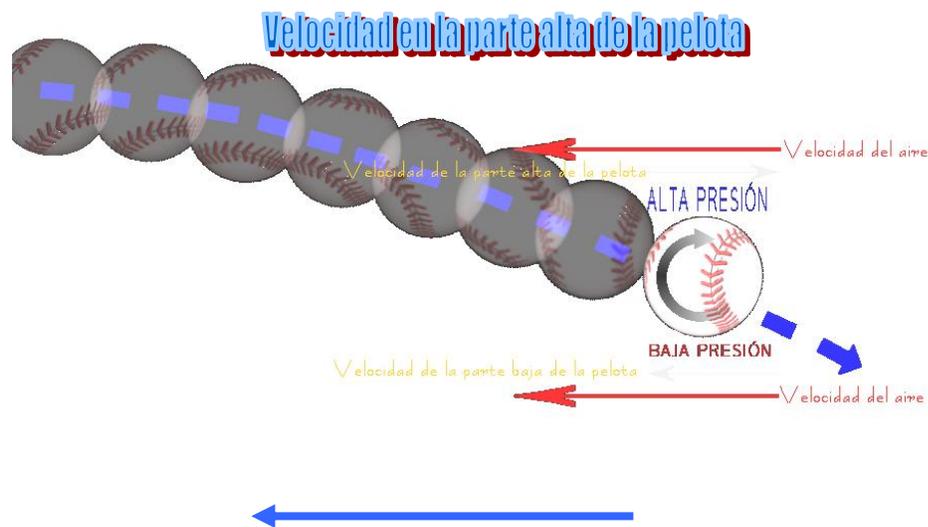


Fig. 2. 50 La fuerza resultante hacia abajo hace que la pelota caiga.

En la parte superior donde el viento y la pelota se mueven en sentidos opuestos, el aire es retardado por el rozamiento, dando lugar a una región de alta presión. En la región inferior, la pelota se mueve para donde va el viento, éste mantiene alta su velocidad y forma una zona de baja presión: la fuerza resultante, hacia abajo, hará que la pelota caiga más aprisa de lo normal.

## 2.3.2. LÍQUIDOS EN MOVIMIENTO

Ahora nos ocuparemos del movimiento de los líquidos, especialmente del agua.

Es importante poder determinar la cantidad de un líquido que fluye a través de tuberías y, también, el cambio de presión en las mismas al aumentar o disminuir su sección transversal, entre otras propiedades.

Con objeto de facilitar el estudio de los líquidos en movimiento, generalmente se hacen las siguientes suposiciones:

Los líquidos son prácticamente incompresibles.

Se supone a los líquidos como ideales. Es decir, se considera despreciable la viscosidad. Por ello se supone que no presentan resistencia al flujo, lo cual permite despreciar las pérdidas de energía mecánica producidas por su

viscosidad; dado que, durante el movimiento ésta genera fuerzas tangenciales entre las diferentes capas de un líquido.

El flujo de los líquidos se supone estacionario o de régimen estable. Esto sucede cuando la velocidad de toda partícula del líquido es igual al pasar por el mismo punto

Por ejemplo, en la siguiente figura se observa la trayectoria seguida por la partícula de un líquido, esto es, su línea de corriente al pasar por un punto.

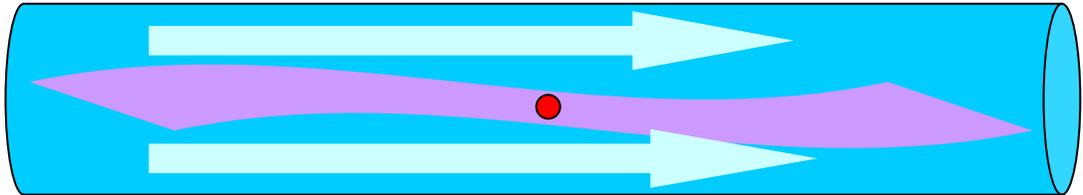


Fig. 2. 51 La partícula del líquido que pasa por un punto lleva cierta velocidad; si cualquier partícula que pasa por el mismo punto lo hace con la misma velocidad y trayectoria o línea de corriente, el flujo es estacionario o de régimen estable.

En nuestro caso supondremos el comportamiento de un fluido ideal, esto es, incompresible, carente de rozamiento interno y de régimen estable.

Diariamente el agua llega a nuestras casas a través de tuberías que la conducen, sin embargo, ¿cómo saber qué cantidad del vital líquido pasa por la sección transversal de esas tuberías?

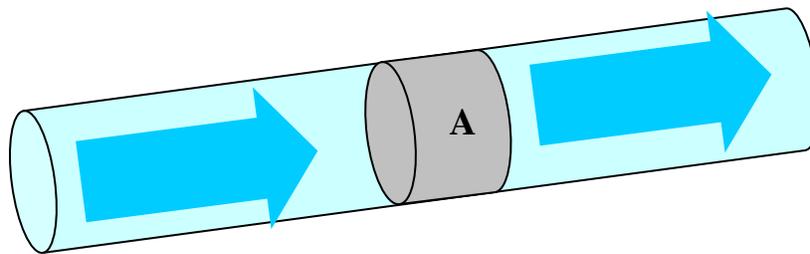


Fig. 2. 52 Parte de un tubo que conduce un líquido. El área sombreada representa la sección transversal

GASTO Y FLUJO:

Una forma de conocer la respuesta a la pregunta anterior es calculando el volumen y la masa que tenga la sección transversal en unidad de tiempo, lo que nos lleva a definir dos conceptos importantes

## GASTO

Es el volumen de fluido que pasa a través del área de la sección transversal de un tubo, en la unidad de tiempo.

Lo anterior quiere decir que el gasto es la relación que existe entre el volumen de líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.

La representación matemática de la definición anterior es:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = gasto del fluido

V = volumen del fluido

t = unidad de tiempo

El gasto también se puede medir si se conoce la velocidad del líquido y el área de la sección transversal de la tubería. Observa la siguiente figura.

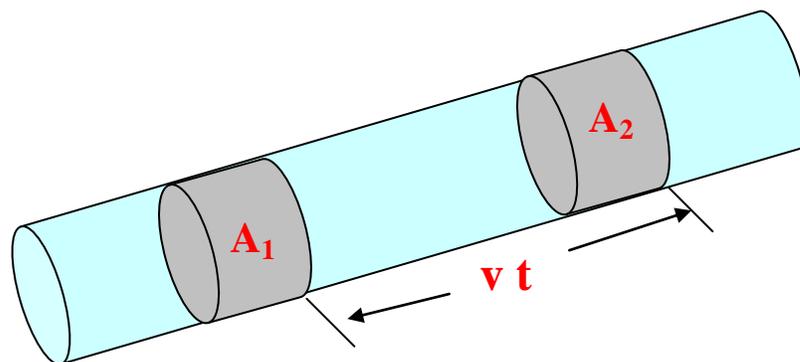


Fig. 2. 53 Si se conoce la velocidad del líquido y el área de la sección transversal del tubo, puede conocerse el gasto, Q

Para conocer el volumen del líquido que pasa de A1 a A2 de la tubería, basta multiplicar entre sí el área, la velocidad del líquido y el tiempo que tarda en pasar por los puntos. Es decir:

$$V = A v t \dots\dots\dots(1)$$

Como

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2)$$

Sustituyendo 1 en 2:

$$Q = \frac{A v t}{t}$$

$$Q = A v$$

Donde:

- Q = gasto del fluido
- A = área de la sección transversal
- v = velocidad del fluido

### UNIDADES DE GASTO:

Las unidades para determinar el gasto de un fluido en el Sistema Internacional son :

$$\frac{m^3}{s} ; \text{ o bien: } m^2 \left[ \frac{m}{s} \right]. \text{ Para el Sistema Inglés: } \frac{ft^3}{s} \text{ o bien } ft^2 \left[ \frac{ft}{s} \right].$$

El otro concepto importante es:

**FLUJO**  
 Es la cantidad de masa de fluido que pasa a través del área de la sección transversal de un tubo, en la unidad de tiempo.

La representación matemática de la definición anterior es:

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

Donde:

F = flujo del fluido  
 m = masa del fluido  
 t = unidad de tiempo

Otra forma de determinar el flujo de un fluido es considerando la densidad del mismo.

$$F = \frac{m}{t} \dots\dots\dots(1)$$

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ o bien:}$$

$$m = \rho V \dots\dots\dots(2)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$F = \frac{\rho V}{t}, \text{ o bien:}$$

$$F = \rho \frac{V}{t} \dots\dots\dots(3)$$

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(4)$$

Sustituyendo (4) en (3)

$$F = \rho Q$$

Donde:

F = flujo del fluido  
 $\rho$  = densidad del fluido  
 Q = gasto del fluido

## UNIDADES DE FLUJO

Como puedes deducir, las unidades para determinar el flujo de un fluido

$\frac{kg}{s}$

utilizando esta ecuación son: Para el Sistema Internacional,  $\frac{kg}{s}$ . Para el Sistema

$\frac{slugs}{s}$

Inglés,  $\frac{slugs}{s}$ .

## 2.3.3. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Al utilizar la manguera del jardín para regar las plantas o para lavar el auto, seguramente te habrás dado cuenta que al obstruir la salida del agua, poniendo una llave reductora en el extremo de la manguera, el agua llega más lejos.



Fig. 2. 54 Al reducir el diámetro en la salida de una llave o manguera, aumenta el alcance del líquido

¿Has observado que en la red de distribución de agua en tu casa existen reducciones en el diámetro la tubería? Por ejemplo en la regadera del baño o en la llaves del lavamanos y del lava trastes. ¿Sabes cuál es la razón de esta disminución en el diámetro de la tubería?



Fig. 2. 55 Al reducir el diámetro en la salida de una llave o manguera, aumenta la velocidad del líquido

Al reducir el diámetro de la sección transversal de un tubo, se obtiene un aumento en la velocidad del fluido.

Con la finalidad de que puedas entender mejor el principio anterior y de encontrar una representación matemática del mismo analiza, detenidamente, la figura siguiente.

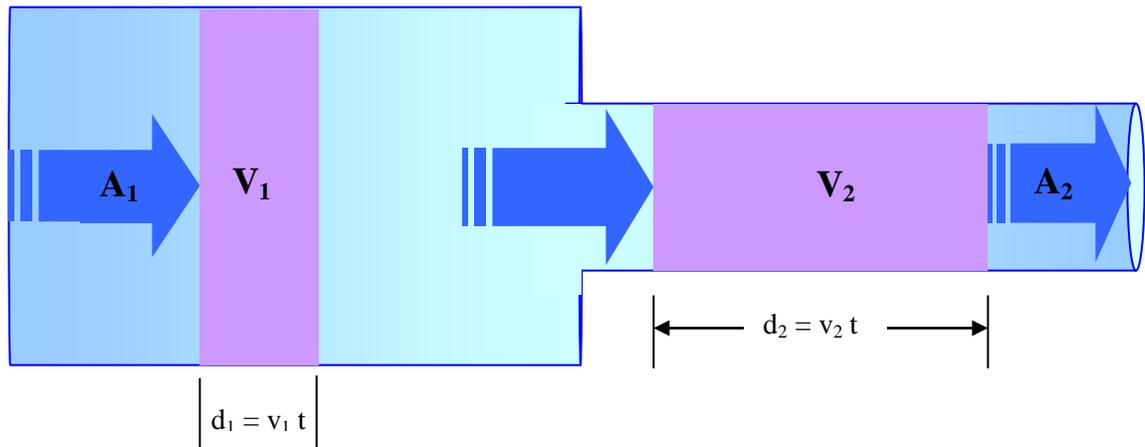


Fig. 2.56 Al disminuir el diámetro en la sección transversal, aumenta la velocidad del fluido

Cuando el pistón de área mayor ( $A_1$ ) desplaza un volumen de líquido, éste recorrerá una distancia ( $d_1$ ). Considerando que los líquidos son incompresibles, el pistón de área menor ( $A_2$ ), admitirá la misma cantidad de agua, es decir, el mismo volumen recorriendo una distancia ( $d_2$ ). Esto es:

$$V_1 = V_2 \dots\dots\dots( 1 )$$

$$V = A d \dots\dots\dots( 2 )$$

Sustituyendo ( 2 ) en ( 1 ), resulta:

$$A_1 d_1 = A_2 d_2 \dots\dots\dots( 3 )$$

$$d = v t \dots\dots\dots( 4 )$$

Sustituyendo ( 4 ) en ( 3 ), tenemos:

$$A_1 v_1 t = A_2 v_2 t$$

Considerando que los tiempos son iguales, entonces:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Esta expresión se conoce como ecuación de continuidad y nos indica que el gasto es constante, es decir.

$$Q_1 = Q_2$$

La ecuación de continuidad establece el siguiente principio:

#### ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Si la misma cantidad de un líquido que pasa por  $A_1$  debe pasar por  $A_2$  la velocidad de éste aumenta: sí y sólo si  $A_1 > A_2$

### 2.3.4 PRINCIPIO DE BERNOULLI

Suponiendo el movimiento de un líquido de régimen estable, incompresible y no viscoso, a través de un tubo, se puede despreciar la pérdida de energía como resultado de la fricción interna entre sus partículas.

Si el tubo es de sección transversal variable, el líquido sufrirá una aceleración y una desaceleración, por lo que, su velocidad cambiará. Esto implica que está sometido a una fuerza resultante, lo que significa una variación de presión a lo largo del tubo.

Este problema lo estudió por primera vez Daniel Bernoulli en 1738, en su tratado de Hidrodinámica, creando lo que conocemos como:

#### PRINCIPIO DE BERNOULLI

El trabajo total externo, aplicado a un sistema de flujo estacionario de un fluido ideal, es igual al cambio de la energía mecánica del sistema.

El Principio de Bernoulli establece que:

La suma de las energías cinética y potencial y de presión que tiene el líquido en un punto, es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera.

Para encontrar la representación matemática del Principio de Bernoulli, analizaremos la siguiente figura.

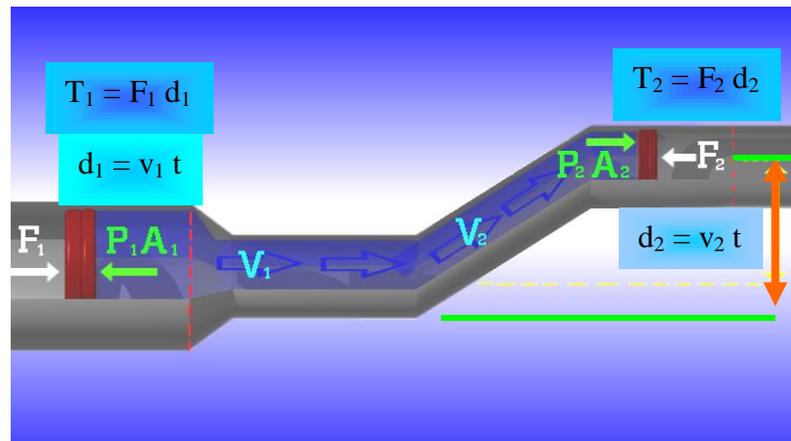


Fig. 2 57 En el tubo existen variaciones de presión, energía potencial y energía cinética

El tubo se encuentra totalmente lleno de líquido entre los pistones. Al actuar la fuerza  $F_1$  sobre el pistón inferior, lo desplaza una distancia  $d_1$ , y realiza un trabajo  $T_1$ . El pistón inferior, a su vez, empuja el líquido que desplaza al pistón superior una distancia  $d_2$ , con lo que se realiza un trabajo  $T_2$ .

Considerando que el trabajo externo  $T_E$  es:

$$T_E = T_1 - T_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$T = F d \dots\dots\dots(2)$$

Sustituyendo (2) en (1)

$$T_E = F_1 d_1 - F_2 d_2 \dots\dots\dots(3)$$

$$F = P A \dots\dots\dots(4)$$

Sustituyendo (4) en (3)

$$TE = P_1 A_1 d_1 - P_2 A_2 d_2 \dots\dots\dots( 5 )$$

$$V = A d \dots\dots\dots( 6 )$$

Sustituyendo ( 6 ) en ( 5 )

$$TE = P_1 V_1 - P_2 V_2 \dots\dots\dots( 7 )$$

Como el líquido es incompresible, entonces, su volumen es igual en ambos pistones, por lo tanto:

$$TE = P_1 V - P_2 V \dots\dots\dots( 8 )$$

Por otra parte, al haber una variación de velocidad por la reducción de las secciones transversales se ocasiona, a su vez, una variación de la energía cinética.

$$\Delta E_c = E_{c2} - E_{c1}$$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \dots\dots\dots( 9 )$$

También se origina una variación en la energía potencial gravitacional, dada la diferencia de alturas.

$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1}$$

$$\Delta E_p = mgh_2 - mgh_1 \dots\dots\dots( 10 )$$

En un sistema estacionario la variación del trabajo externo es igual a la suma de la variación de la  $E_c$  sumando la variación de la  $E_p$ , de lo que resulta:

$$\Delta TE = \Delta E_c + \Delta E_p \dots\dots\dots( 11 )$$

Sustituyendo ( 8 ), ( 9 ) y ( 10 ) en ( 11 ), tenemos:

$$(P_1 V - P_2 V) = (\frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2) + (mgh_2 - mgh_1)$$

Ordenando los términos, de acuerdo a los subíndices, la ecuación quedará:

$$P_1V + \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = P_2V + \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \dots\dots\dots( 12 )$$

$$m = \rho V \dots\dots\dots( 13 )$$

Sustituyendo ( 13 ) en ( 12 )

$$P_1V + \frac{1}{2}\rho Vv_1^2 + \rho Vgh_1 = P_2V + \frac{1}{2}\rho Vv_2^2 + \rho Vgh_2$$

Cancelando volumen en todos los términos, quedará:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Considerando que los subíndices se refieren a dos puntos cualesquiera a lo largo del tubo, la ecuación se puede escribir:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = Constante$$

Las ecuaciones anteriores, son la representación matemática del principio de Bernoulli.

En donde:

- P = la presión absoluta del fluido
- $\frac{1}{2} \rho v^2$  = la energía cinética del fluido
- $\rho g h$  = la energía potencial del fluido

### 2.3.5. PRESIÓN Y VELOCIDAD

Como se ha indicado la velocidad del fluido aumenta cuando pasa a través de una constricción pero, ¿qué pasa con la presión?

Analiza la siguiente figura:

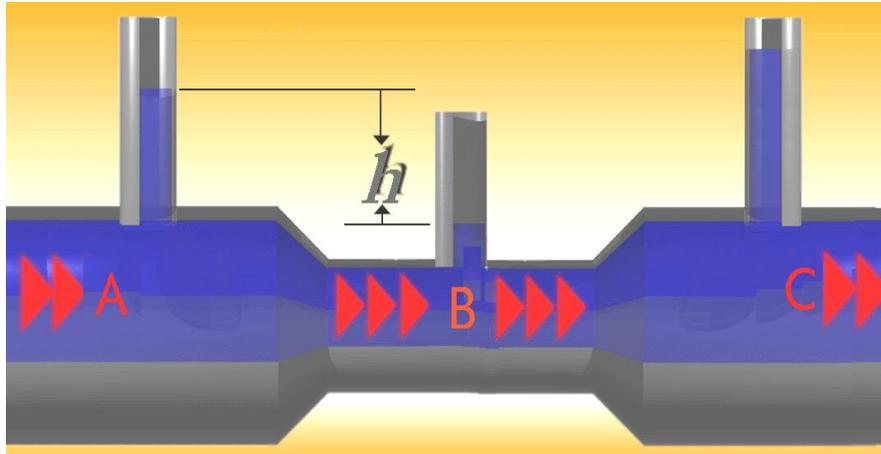


Fig. 2. 58 al aumentar la velocidad de un fluido en una constricción tiene, como consecuencia, una disminución de presión.

Al aumentar la velocidad del fluido en la sección B implica que la fuerza de empuje de la sección transversal A es mayor que la fuerza de resistencia de la sección transversal B, por lo tanto, la presión en A y C es mayor que en B, como lo indican los tubos insertados en A y C: el nivel de fluido del tubo que está en la sección B es menor que el nivel de los tubos en las secciones A y C.

Considerando que  $h$  es la diferencia de altura, entonces, la diferencia de presión está dada por:

$$P_A - P_B = \rho h g$$

El principio establecido a través de la figura anterior se le conoce como medidor Venturi.

Es posible calcular la velocidad del agua que fluye por un tubo horizontal, con este dispositivo, a partir de la diferencia de presiones.

Para establecer un procedimiento matemático del principio del medidor de Venturi, sigamos este sencillo razonamiento.

Cuando un líquido es estacionario,  $v_1$  y  $v_2$ , tienen un valor igual a cero

Utilizando la ecuación del Principio de Bernoulli:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad v_1 \text{ y } v_2 = 0$$

$$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2 \quad \text{ordenando términos}$$

$$P_1 - P_2 = \rho g h_2 - \rho g h_1 \quad \text{factorizando en el segundo miembro}$$

$$P_1 - P_2 = \rho g (h_2 - h_1) \quad \text{haciendo } h_2 - h_1 = h$$

$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

Por otra parte, de la misma ecuación de Bernoulli, tenemos:

$$P_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad \text{eliminando } \rho g h_1 \text{ y } \rho g h_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad \text{ordenando términos}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad \text{igualando con la ecuación anterior}$$

$$\rho g h = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad \text{multiplicando por 2 y dividiendo entre } \rho$$

$$2 g h = v_2^2 - v_1^2 \quad \text{despejando } v_2, \text{ tenemos, finalmente.}$$

$$v_2 = \sqrt{2gh + v_1^2}$$

**TUBO DE VENTURI**

Como ya se indicó anteriormente, el Tubo de Venturi se emplea para medir la velocidad de un líquido que circula a presión dentro de una tubería. Al medir la presión en la parte ancha y en la estrecha por medio de dos manómetros acoplados en esos puntos, y conociendo el valor de las áreas de sus respectivas secciones transversales, se puede calcular la velocidad del líquido a través de la tubería por la que circula, considerando lo siguiente:

De acuerdo con la ecuación del Principio de Bernoulli, la suma de las energías cinética, potencial y de presión en los puntos A y B, de la siguiente figura es:

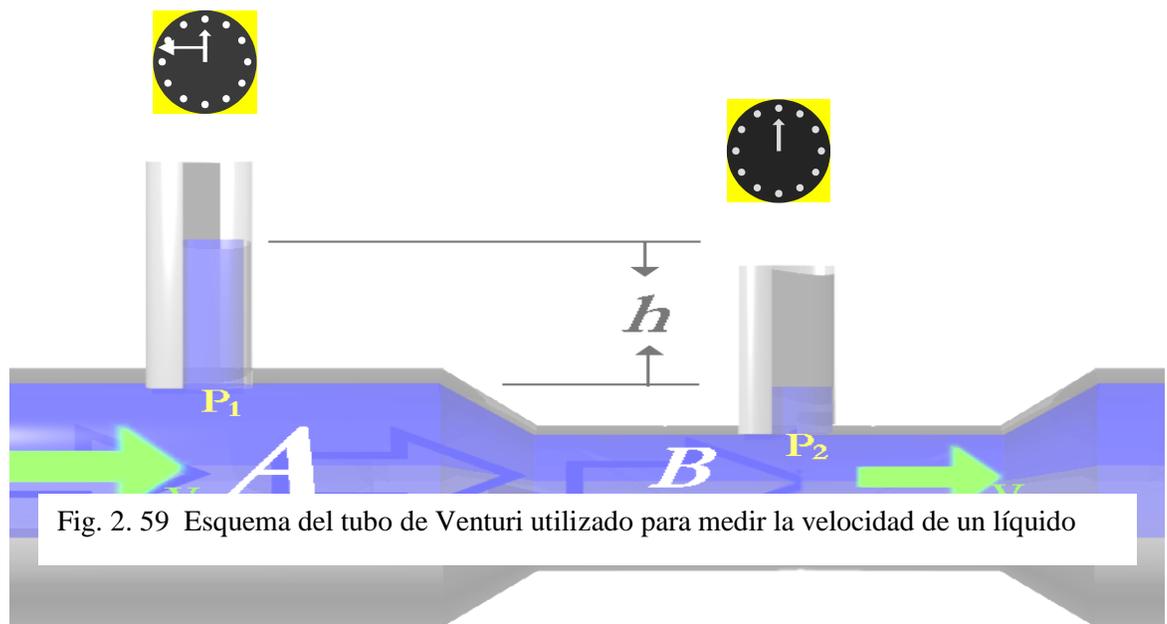


Fig. 2. 59 Esquema del tubo de Venturi utilizado para medir la velocidad de un líquido

$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2 \dots \dots \dots$  Ec. de Bernoulli

Dividiendo la ecuación entre  $\rho$  y considerando los puntos A y B, tenemos:

$$\frac{v_A^2}{2} + gh_A + \frac{P_A}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} + gh_B + \frac{P_B}{\rho} \dots\dots\dots(1)$$

Como la altura a la que se encuentran los puntos A y B es la misma, podemos eliminar los términos correspondientes a su energía potencial, ghA y ghB , por lo que la ecuación 1 queda:

$$\frac{v_A^2}{2} + \frac{P_A}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} + \frac{P_B}{\rho} \dots\dots\dots(2)$$

Reagrupando términos:

$$\frac{P_A}{\rho} - \frac{P_B}{\rho} = \frac{v_B^2}{2} - \frac{v_A^2}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Multiplicando por 2, la ecuación 3, tenemos:

$$\frac{2}{\rho} (P_A - P_B) = v_B^2 - v_A^2 \dots\dots\dots(4)$$

De acuerdo con la ecuación de continuidad, sabemos que el gasto en A es igual al gasto en B, por lo que:

$$v_A A_A = v_B A_B \dots\dots\dots(5)$$

Despejando vB , e tiene:

$$v_B = \frac{v_A A_A}{A_B}$$

sustituyendo la ecuación 6 en la 4:

$$\frac{2}{\rho} (P_A - P_B) = \left( \frac{v_A A_A}{A_B} \right)^2 - v_A^2$$

La ecuación anterior se puede escribir como:

$$\frac{2}{\rho} (P_A - P_B) = \frac{v_A^2 A_A^2}{A_B^2} - v_A^2 \dots\dots\dots(7)$$

Utilizando como factor común a  $v_A^2$  .

$$\frac{2}{\rho} (P_A - P_B) = v_A^2 \left( \frac{A_A^2}{A_B^2} - 1 \right) \dots\dots\dots(8)$$

Finalmente., al despejar de la ecuación anterior la velocidad en el punto A nos queda la ecuación para calcular la velocidad de un líquido mediante el empleo de un tubo de Venturi.

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho} (P_A - P_B)}{\left( \frac{A_A}{A_B} \right)^2 - 1}}$$

**EJERCICIO RESUELTO**

Un tubo de Venturi tiene un diámetro de 0.1524 m y una presión de  $4.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$  en su parte más ancha. En el estrechamiento, el diámetro es de 0.0762 m y la presión es de  $3 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ . ¿Cuál es la velocidad del agua que fluye a través de la tubería?

### Datos

$$D_A = 0.1524 \text{ m}$$

$$P_A = 4.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$D_B = 0.0762 \text{ m}$$

$$P_B = 3 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

^ Fórmula

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{\rho} (P_A - P_B)}{\left(\frac{A_A}{A_B}\right)^2 - 1}}$$

### Desarrollo

$$v_A = \sqrt{\frac{\frac{2}{1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3} (4.2 \times 10^4 \text{ N/m}^2 - 3 \times 10^4 \text{ N/m}^2)}{\left(\frac{\frac{\pi}{4} (0.1524 \text{ m})^2}{\frac{\pi}{4} (0.0762 \text{ m})^2}\right)^2 - 1}}$$

$$v_A = \sqrt{\frac{(0.002 \text{ m}^3/\text{kg})(1.2 \times 10^4 \text{ kg m/s}^2 \text{ m}^2)}{15.99 - 1}}$$

$$v_A = 1.26 \text{ m/s}$$

## 2.3.6. PRINCIPIO DE TORRICELLI

En los capítulos anteriores, estudiamos que existen reducciones en los diámetros de las tuberías que conducen un líquido con la finalidad de aumentar su velocidad, sin embargo, ¿sabes cuál es la causa que hace que el agua se conduzca a través de la tubería hasta salir por la manguera del jardín, por la regadera del baño o por cualquier llave?

¡Es muy simple! En las ciudades se almacena el agua en grandes tanques que son situados en lo alto de una colina o bien en torres especiales; desde donde, la gravedad, se encarga de conducirla por tuberías hasta las industrias, comercios, hogares o parques. A esta forma de distribución del agua se le llama sistema por gravedad.

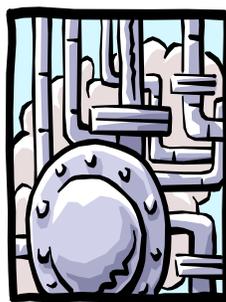


Fig. 2. 60 El agua se distribuye a todos los puntos de una gran ciudad, solamente por gravedad

La ley física que sustenta esta acción se denomina:

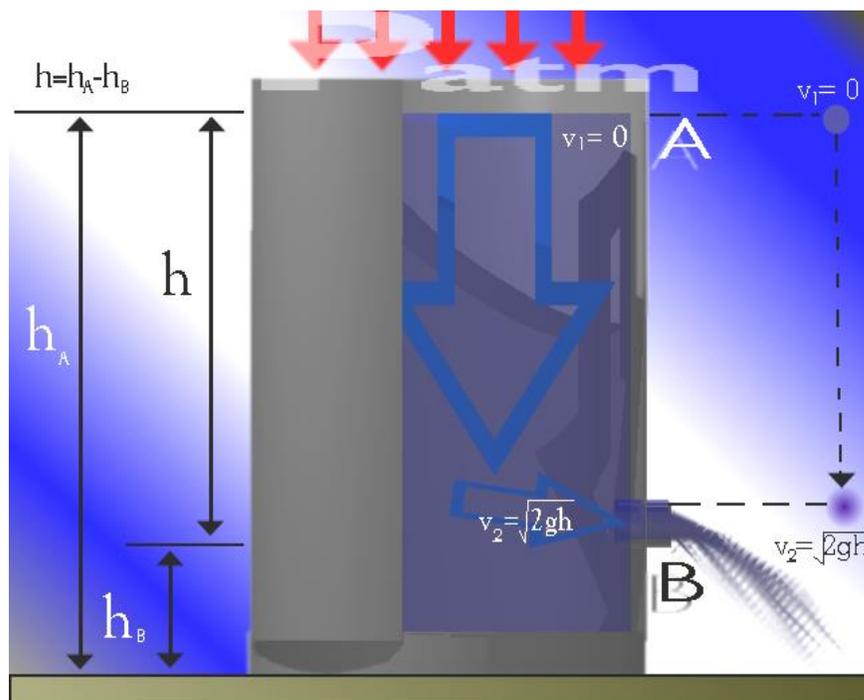
PRINCIPIO DE TORRICELLI

La velocidad que adquiere un líquido, contenido en un depósito abierto, al salir por un orificio pequeño, es igual a la velocidad que adquiere un cuerpo en caída libre, soltado desde la superficie libre del líquido hasta el centro de gravedad del orificio.

El Físico y Matemático Italiano, Evangelista Torricelli (1608 - 1647), lo formuló y viene a constituir una aplicación directa del Principio de Bernoulli, aunque los trabajos de Bernoulli se desarrollaron aproximadamente cien años después.

La representación matemática de Principio de Torricelli está basada en la aplicación de la fórmula del Principio de Bernoulli.

Para encontrar la fórmula, analizaremos la siguiente figura.



Tomando como referencia los puntos A y B ubicados, uno en la superficie y el otro en la perforación, observamos que la presión externa que actúa en cada uno de ellos es la presión atmosférica. Es decir, la presión en el punto A es igual a la presión en el punto B.

Utilizando la ecuación del Principio de Bernoulli

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 + \rho g h_A = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g h_B$$

Como el volumen es muy grande con relación a la perforación, que es pequeña, el nivel del líquido baja lentamente y,  $v_A$  se considera igual a cero.

Fig. 2. 61 La velocidad  $v_2$  con la que sale el líquido por la perforación b es igual a la velocidad que adquiere un cuerpo en caída libre, desde una altura igual a la de la superficie del líquido en el punto a hasta el centro del orificio en el punto b.

Consider  
se reduce a:

$$\rho g h_A = \rho g h_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 \quad \text{despejando } v_B^2$$

$$v_B^2 = \frac{2(\rho g h_A - \rho g h_B)}{\rho} \quad \text{factorizando en el paréntesis}$$

$$v_B^2 = \frac{2\rho g(h_A - h_B)}{\rho} \quad \text{simplificando}$$

$$v_B^2 = 2g(h_A - h_B) \quad \text{haciendo } h = h_A - h_B$$

$$v_B^2 = 2gh \quad \text{despejando } v \text{ queda}$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

Donde:

$v$  = la velocidad de salida del agua

$g$  = aceleración de la gravedad

$h$  = la altura, del centro del orificio a la superficie del agua

La fórmula anterior nos indica la velocidad de salida del agua por el orificio.

Como puedes observar, es la misma fórmula que indica la velocidad de un cuerpo, en caída libre.

### UNIDAD 3. CALOR Y TEMPERATURA

La sensación de calor o de frío está estrechamente relacionada con nuestra vida cotidiana, es decir, con nuestro entorno; sin embargo el calor es mucho más que eso. Entre los años de 1600 a 1700, toda Europa vivió una pequeña era glacial cuando la temperatura fue más baja que en otros periodos de los últimos mil años. En esa época lo más importante era mantenerse caliente. Por lo que, muchos científicos se dedicaron al estudio del calor. Aunque los efectos del fuego se conocen desde la antigüedad, fue hasta el siglo XVIII cuando los científicos comenzaron a diferenciar las características entre un cuerpo frío y uno caliente. Se consideraba, al calor, como un fluido invisible sin sabor, olor ni peso: lo conocían como calórico y de él sólo conocían sus efectos: cuando más caliente estaba un cuerpo más fluido o calórico tenía. La teoría del calórico podía explicar fenómenos como la expansión de los cuerpos al calentarse pero no podía explicar por qué las manos se calentaban al frotarlas entre sí. Finalmente consideraron que el calórico no podía ser creado ni destruido, por lo que no era posible formarlo a partir de alguna cosa ni podía ser sustituido por otra.

A fines del siglo XVIII se descubrió que la fricción produce calor. Años después se demostró que cuando se proporciona energía, ya sea por fricción, corriente eléctrica, radiación o cualquier otro medio, para producir trabajo mecánico, éste puede ser transformado en una cantidad equivalente de calor. Con estos descubrimientos se desechó la Teoría del Calórico para explicar que era el calor:



Fig. 3. 62 Nuestro cuerpo puede sentir la diferencia de temperatura

El término calor es utilizado comúnmente en expresiones como ¡hace mucho calor! ¡está muy caliente! ¡está frío!. Este concepto lo podemos definir como:

### **3.1 CALOR**

Es la energía que fluye o se transfiere entre los cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura.

La energía a que nos referimos es la energía calorífica. En forma experimental se ha comprobado que el flujo de energía calorífica cesa cuando se igualan las temperaturas de los dos cuerpos. Es decir se logra el equilibrio térmico.

Al factor que determina el equilibrio térmico entre dos cuerpos, se le llama:

#### **TEMPERATURA**

Es la propiedad que determina si un sistema se encuentra o no en equilibrio térmico con otros sistemas.

La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o frío está una sustancia, es decir, es la medida de su estado relativo de calor o frío. El calor se transmite en el vacío, la temperatura sólo se manifiesta en la materia. El calor no permanece en reposo, pasa constantemente de los cuerpos de mayor a los de menor temperatura.

### **3.1.1 TERMOMETRÍA**

Tu estás familiarizado con las medidas de temperatura. Por ejemplo, si tienes fiebre, colocas un termómetro en tu boca y esperas dos o tres minutos. El termómetro te proporciona una medida de la temperatura de tu cuerpo. ¿Qué está sucediendo? Tu cuerpo está caliente comparado con el termómetro, lo que significa que las partículas de tu cuerpo tienen una energía térmica mayor. Cuando el vidrio frío del termómetro toca tu cuerpo más caliente, las

partículas de tu cuerpo golpean las partículas del vidrio. Estas colisiones, transfieren energía a las partículas de vidrio, y aumenta la energía térmica de las partículas que conforman el termómetro. A medida que las partículas de vidrio adquieren más energía, comienzan a transferir energía de vuelta a tu cuerpo, hasta que la tasa de transferencia mutua de energía entre el vidrio y tu cuerpo es la misma. Tu cuerpo y el termómetro están en equilibrio térmico. Es decir, el termómetro y tu cuerpo están a la misma temperatura.



Fig. 3. 63 El calor del cuerpo se transfiere al termómetro hasta lograr el equilibrio térmico

Los fenómenos relacionados con el equilibrio térmico son estudiados por:

### TERMOMETRÍA

Es la parte de la Física que se ocupa de la medición de la temperatura de los cuerpos.

Todo instrumento utilizado para la medida de la temperatura se denomina:

### TERMÓMETRO

Es un instrumento que mediante una escala graduada, indica su propia temperatura.

### CALIBRACIÓN DE UN TERMÓMETRO

Para calibrar un termómetro es necesario ponerlo en contacto con dos cuerpos de temperaturas muy diferentes y fáciles de reproducir.

Colocándolo en hielo en fusión, el mercurio se contrae hasta que su temperatura sea igual a la del hielo; alcanzando un cierto nivel (punto fijo inferior) que se marca en el tubo.

Colocándolo luego en vapor de agua que hierve a presión atmosférica normal; el mercurio se dilata hasta alcanzar un nuevo nivel (punto fijo superior), que indica que la temperatura del mercurio es igual a la del vapor.

### 3.1.2. ESCALAS DE TEMPERATURA

Los términos caliente o frío no son suficientes para definir la temperatura. Por lo que se debe manejar como una cantidad física, es decir, medirla. Cuando se suministra o se extrae calor de un cuerpo o de una sustancia, no solo se eleva o disminuye su temperatura, sintiéndose más caliente o más frío, también se producen alteraciones en su energía calorífica, en su volumen, área o en su longitud, es decir, la materia se contrae o se dilata.

El instrumento de medición de la temperatura es el Termómetro, en cuya construcción se utiliza el fenómeno de dilatación de los fluidos, siendo el más común el Termómetro de Mercurio. Dicho instrumento consiste en un tubo capilar de vidrio que lleva en la parte inferior un bulbo con mercurio, el cual al calentarse se dilata de manera proporcional al aumento de temperatura, por lo que el ascenso que experimenta el nivel del mercurio por el tubo capilar es el mismo cuando se incrementa en un grado la temperatura. De igual forma,

el mercurio se contrae en la misma proporción cada vez que desciende un grado su temperatura.

Cualquier magnitud que observa cambios con la temperatura es una propiedad térmica. Por ejemplo, el volumen de un líquido, la longitud de una varilla, la resistencia eléctrica de un alambre, la presión de un gas mantenido a volumen constante, el volumen de un gas mantenido a presión constante y el calor del filamento de una lámpara. Cualquiera de estas propiedades pueden usarse en la construcción de un termómetro, es decir, en el establecimiento de una cierta escala “particular” de temperaturas.

La primera escala fue definida en 1714 por el fabricante de instrumentos de origen alemán, Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736), para lograrlo colocó el instrumento a la temperatura más baja que pudo obtener, mezclando hielo con cloruro de amonio, marcó el nivel mínimo que alcanzaba el mercurio; después registró la temperatura normal del cuerpo humano y marcó el nivel máximo en el termómetro, y entre ambas señales hizo 96 divisiones iguales, o grados Fahrenheit (oF). Más tarde, ampliando los límites de su instrumento observó que una mezcla de hielo en fusión y agua, registraba una lectura de 32 oF, y al colocarla en agua hirviendo leía 212 oF, obteniendo entre ambos límites 180 divisiones iguales.

En el año de 1742, el biólogo sueco André Celsius (1701-1744), basó su escala en los puntos de fusión y de ebullición del agua, y dividió el intervalo en 100 partes iguales, obteniendo como la temperatura de fusión del hielo, el cero en la escala Celsius o centígrada (0oC) y la del punto de ebullición a 100oC, a la presión de una atmósfera, o sea 760 mmHg,

La relación que existe entre estas dos escalas, está dada por el tamaño de sus divisiones; (como se observa en la figura 3. 59), una temperatura de 0 oC corresponde a 32 oF, y un intervalo de 100 o en la escala Celsius

corresponde a uno de 180 o en la escala Fahrenheit. Por lo que 1 oF

corresponde a  $\frac{100}{180} = \frac{5}{9}$  de 1 oC.

La conversión entre las escalas de temperatura, por lo tanto, se expresa como:

$${}^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32] \qquad {}^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

pero es mas sencillo memorizarlas de la siguiente forma:

$${}^{\circ}\text{C} = \frac{({}^{\circ}\text{F} - 32)}{1.8} \qquad {}^{\circ}\text{F} = (1.8)({}^{\circ}\text{C}) + 32$$

0C = Temperatura en grados Celsius (centígrada)

0F = Temperatura en grados Fahrenheit

Si se enfría un gas “ideal”, en el cual se considera que las partículas no tienen volumen y no interactúan entre sí, se pudiera contraer de tal manera que su volumen sería cero a una temperatura de  $-273$  oC. A esta temperatura toda la energía térmica del gas se habría suspendido y sería imposible reducir aún más su energía térmica. Por lo tanto no puede haber una temperatura inferior a  $-273$  oC. Esta temperatura se denomina cero absoluto.

La escala de temperatura Kelvin está basada en el cero absoluto. En la escala Kelvin, el punto cero (0 K), es el cero absoluto, el punto de congelación del agua (0 oC) es de 273 K y el punto de ebullición (100 oC) es de 373 K. Cada intervalo de esta escala se denomina Kelvin, y es igual en tamaño a un grado Celsius, por lo tanto:

$$\text{K} = {}^{\circ}\text{C} + 273 \qquad {}^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

Una segunda escala absoluta denominada escala Rankine, tiene su punto cero absoluto de 460 oF y los intervalos de grados son idénticos al intervalo de grado Fahrenheit. La relación entre la temperatura en oR y la temperatura correspondiente en oF es:

$${}^{\circ}\text{R} = {}^{\circ}\text{F} + 460$$

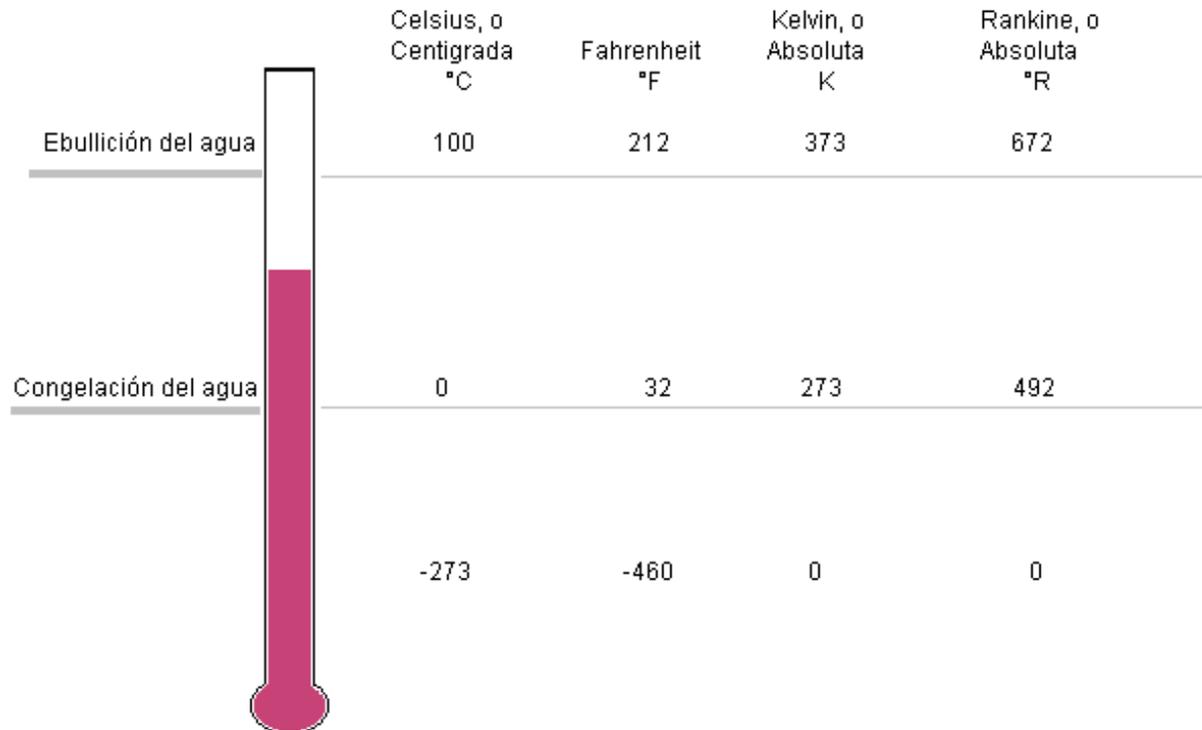


Fig. 3. 64 Comparación de las escalas de temperatura Celsius, Fahrenheit, Kelvin y Rankine

### 3.1.3 DILATACIÓN TÉRMICA

En nuestras actividades diarias, nos encontramos que cuando variamos la temperatura de un cuerpo éste cambia de tamaño: si dejamos un globo al sol, este se revienta, cuando caminamos mucho se nos hinchan los pies y, por el contrario, un clavo incrustado en madera al congelarlo podemos sacarlo con los dedos, una varilla podemos reducirla de tamaño si la ponemos un rato en agua con hielo, etc. Sin embargo, si ustedes congelan agua... ¿qué sucede?... al disminuir la temperatura ¡el agua aumenta de tamaño!

#### ***DILATACIÓN***

Es la variación en las dimensiones, que experimentan los cuerpos al variar su temperatura.

De acuerdo con los diferentes estados físicos en que se presenta la materia en la naturaleza observamos que la dilatación se puede clasificar en:

- Dilatación lineal
- Dilatación superficial
- Dilatación volumétrica
- Dilatación anómala del agua

## DILATACION LINEAL

Es el incremento en la dimensión lineal que experimentan los cuerpos sólidos al aumentar su temperatura.

Esta dilatación se debe a que la elevación de la temperatura produce un aumento en la distancia promedio entre los átomos.

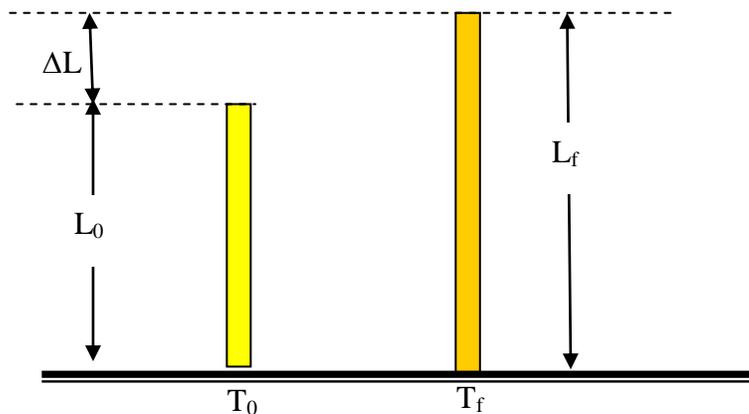


Fig. 3 65 Al incrementar la temperatura de una barra se incrementa proporcionalmente su longitud

Entonces podemos decir que:

$\Delta L$  es proporcional a  $L_0 \Delta T$

Introduciendo la constante de proporcionalidad ( $\alpha$ ) denominado coeficiente de dilatación lineal, la ecuación queda:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$



Considerando que  $\Delta L = L_f - L_0$  y sustituyendo en la ecuación anterior, obtenemos:

$$L_f - L_0 = \alpha L_0 \Delta T$$

Despejando  $L_f$ :

$$L_f = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

Donde:

$\Delta L$  = variación de la longitud

$\alpha$  = coeficiente de dilatación lineal

$L_0$  = longitud inicial de la barra

$\Delta T$  = variación de la temperatura

### COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL ( $\alpha$ )

Es el incremento lineal que experimenta una varilla de determinada sustancia, de longitud igual a la unidad, al elevarse su temperatura un grado centígrado.

Es un valor específico para cada material, lo que provoca que se dilaten en diferentes proporciones, ya que las fuerzas con que se unen los átomos y las moléculas varían de una sustancia a otra. Se representa con la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL ( $\alpha$ )			
Sustancia	X 10-6 0C-1	X 10-6 0F-1	X 10-6 0K-1
Aluminio	24	13	25
Cobre	17	9.4	16.6
Latón	18	10	18.9
Concreto	7-12	4-7	10-14
Vidrio pirex	3	1.7	3
Plomo	30	17	29
Acero	12	6.6	12



### EJERCICIO RESUELTO

Un puente de acero tiene 800 m de longitud. ¿ Qué longitud tendrá cuando la temperatura aumente de 12 °C a 40 °C?.

Datos	Fórmulas	Desarrollo
$L = 800 \text{ m}$	$\Delta T = T_f - T_0$	$\Delta T = (40^{\circ} \text{ C} - 12^{\circ} \text{ C})$
$T_0 = 12^{\circ} \text{ C}$	$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$	$\Delta T = 28^{\circ} \text{ C}$
$T_f = 40^{\circ} \text{ C}$		
$L_f = ?$		
$\alpha_{\text{Acero}} = 11 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ} \text{ C}^{-1}$	$L_f = \Delta L + L_0$	$\Delta L = (11 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ} \text{ C}^{-1})(800 \text{ m})(28^{\circ} \text{ C})$
		$\Delta L = 0.2464 \text{ m}$
		$\Delta L = 24.64 \text{ cm}$



$$L_f = 0.2464 \text{ m} + 800 \text{ m}$$

$$L_f = 800.2464 \text{ m}$$

### DILATACIÓN SUPERFICIAL

Es el incremento de área o superficie que experimenta un cuerpo al incrementar la temperatura.

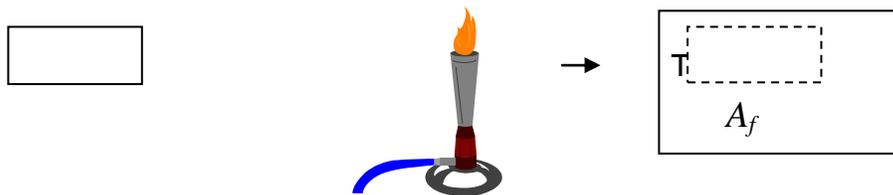


Fig. 3. 66 Al variar la temperatura de una placa, varía proporcionalmente su área.

$$\Delta A = A_f - A_o$$

$\Delta A$  es proporcional a  $A_o \Delta T$

Introduciendo la constante de proporcionalidad ( $\beta$ ) la ecuación queda:

$$\Delta A = \beta A_o \Delta T$$



Como:  $\Delta A = A_f - A_0$

Sustituyendo en la ecuación anterior, obtenemos:

$$A_f = A_0(1 + \beta\Delta T)$$

Donde:

$\Delta A$  = variación en el área de la placa

$\beta$  = coeficiente de dilatación superficial

$A_0$  = área inicial de la placa

$\Delta T$  = variación de la temperatura

$A_f$  = área final de la placa

**COEFICIENTE DE DILATACIÓN SUPERFICIAL ( $\beta$ ),**

Es el incremento en el área que experimenta una placa de determinado material, de superficie igual a la unidad, al elevarse su temperatura un grado centígrado.

Es específico para cada material y no se necesitan tablas ya que el valor se obtiene multiplicando por dos el coeficiente de dilatación lineal.

$$\beta = 2\alpha$$

### 3.2. CALORIMETRÍA

Cotidianamente estamos en contacto directo con los cuerpos de diferentes temperaturas, somos capaces de establecer diferencias entre lo caliente y lo frío, pero no podemos determinar la cantidad de calor que poseen los cuerpos por el simple contacto con ellos, necesitamos de algo más. Así como la Termometría nos muestra las escalas para la medición de la temperatura, la Calorimetría nos muestra las unidades para cuantificar el calor.

CALORIMETRÍA

Es la rama de la física que estudia la medición de las cantidades de calor, ó sea las cantidades de energía que intervienen en los procesos térmicos.

La unidad de calor apropiada en el sistema S.I. es el Joule. Sin embargo se utiliza todavía con mucha frecuencia la caloría.

### CALORÍA

Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua, en un grado Centígrado.

La unidad de calor en el sistema inglés, es la unidad térmica británica (BTU)

### BTU

Es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una libra de agua en un grado Fahrenheit.

Uno de los usos más comunes de ésta unidad, es en los sistemas de aire acondicionado doméstico y comercial donde su capacidad se calcula en BTU.

Ejemplo: 12 000 BTU es igual a una tonelada de enfriamiento.

$$\begin{aligned} \text{Una Kcal} &= 3.97 \text{ BTU} \\ \text{Una caloría (cal)} &= 4.18 \text{ Joules} \\ \text{Una Kilocaloría} &= 4186 \text{ Joules} \\ \text{Un BTU} &= 778 \text{ ft.lb} = 0.252 \text{ Kcal} \end{aligned}$$

¿Porqué cuando dejas un bate de aluminio de béisbol al sol, al quererlo tomar lo sueltas inmediatamente? Porque está caliente y te quemas la mano. ¿Qué fue lo que sucedió? El bate incrementó su temperatura por el tiempo que estuvo expuesto al sol. ¿Pasaría lo mismo si fuera de otro material?

Cada material posee diferentes capacidades de incrementar su temperatura, en relación con el tiempo de exposición a la fuente de calor.

### CAPACIDAD CALORÍFICA (C )

Es la relación del calor suministrado con respecto al correspondiente incremento de temperatura del cuerpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

La unidad de la capacidad calorífica en el S.I. es la razón Joules y Kelvin (J/K); pero el intervalo Celsius es el mismo que el Kelvin, sin embargo se utiliza con más frecuencia el Joule sobre grados Celsius (J/°C). Otras unidades son las calorías sobre grados Celsius (Cal/°C), y los BTU sobre grado Fahrenheit (BTU/°F).

Cuando el calor fluye a un objeto, su energía térmica se incrementa al igual que su temperatura, en relación con su tamaño y el material con que esta hecho. Los valores constantes que nos permiten determinar estas cantidades de calor, se conocen como calor específico del material.

### calor específico

Es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa.

$$c = \frac{C}{m} \quad \text{ó} \quad c = \frac{Q}{m\Delta T}$$



Donde:

- c = calor específico
- C = capacidad calorífica
- m = masa
- Q = cantidad de calor
- ΔT = cambio de temperatura

TABLA:	CALORES ESPECÍFICOS	
SUSTANCIAS	J/Kg °C	cal/g °c, ó BTU/ Lb °F
Aluminio	920	0.220
Latón	390	0.094
Cobre	390	0.093
Alcohol etílico	2500	0.600
Vidrio	840	0.200
Oro	130	0.030
Hielo	2300	0.500
Hierro	470	0.113
Plomo	130	0.031
Mercurio	140	0.033
Plata	230	0.056
Vapor	2000	0.480

TABLA:	CALORES ESPECÍFICOS	
SUSTANCIAS	J/Kg °C	cal/g °c, ó BTU/ Lb °F
Acero	480	0.114
Zinc	390	0.092
Agua		1.000

Por ejemplo: el calor específico del agua es muy alto comparado con otras sustancias, como se muestra en la tabla anterior. Esta cualidad se utiliza en los radiadores de los autos para enfriar el motor.

La cantidad de calor absorbida o liberada por un cuerpo de masa y calor específico dados cuando su temperatura varía, se calcula con la relación:

$$Q = m c \Delta T$$

### ENERGÍA SUMINISTRADA POR DIFERENTES ALIMENTOS

ALIMENTO	KILOCALORÍAS
Un emparedado con crema de cacahuete	330
Rosetas de maíz con mantequilla (1 taza)	55
Helado de vainilla (1/3 taza)	145
Un biscocho pequeño	140
Una dona glaseada	225
Una bolsa de papitas fritas (40 g)	125
Una barra de hojuelas de arroz (24 g)	90
Una pizza grande de queso y carne	308,000,000

#### 3.2.1. TRANSMISIÓN DE CALOR

Diariamente nos encontramos que la transmisión de calor es muy común: lo podemos observar en la cuchara al estar en contacto con una rica sopa, en los exhibidores de carnes frías y lácteos; en el aislamiento de las casas, en los lugares donde las temperaturas son extremosas, les colocan aislante para conservar el frío o el calor y evitar altos costos en la electricidad; cuando nos exponemos directamente al sol en la playa, nuestro color de piel cambia en unas cuantas horas, esto se debe a la transmisión del calor. Siempre que hay una diferencia de temperaturas entre dos cuerpos, o entre dos porciones del mismo cuerpo, se dice que el calor fluye en la dirección de mayor a menor temperatura.

El calor puede transferirse de un lugar a otro por: conducción, convección o radiación.

## CONDUCCIÓN

Es cuando el calor se transfiere por colisiones entre las moléculas de la región más caliente de un cuerpo material y las moléculas más frías, sin que éstas sufran ninguna traslación en el interior del cuerpo.

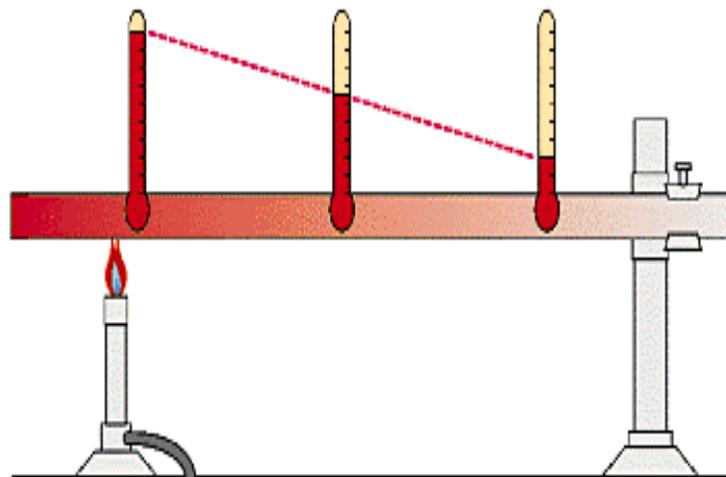


Fig. 3. 70 Los metales son los mejores conductores del calor

Representación matemática del flujo calor

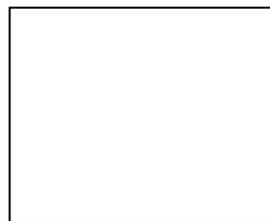
$$H = \frac{Q}{\tau}$$

$$H = K A \frac{\Delta T}{L}$$

Donde:

H = velocidad de transferencia del calor

Q = cantidad de calor



- $\tau$  = tiempo de transferencia del calor
- $K$  = constante de conductividad térmica
- $A$  = area de la sección transversal
- $\Delta T$  = cambio de temperatura
- $L$  = longitud transversal

## CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Es la medida de la capacidad de una sustancia para conducir el calor

Su representación matemática es:

$$K = \frac{QL}{A\tau\Delta T}$$



TABLA: CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y VALORES R (Física General, Paul E. Tippens)				
Sustancia	Conductividad k			
	W/mK	Kcal/ms°C	Btu in / ft <sup>2</sup> h °F	ft <sup>2</sup> h °F/Btu
Aluminio	205	5.0×10 <sup>-2</sup>	1451	0.00069
Latón	109	2.6×10 <sup>-2</sup>	750	0.0013
Cobre	385	9.2×10 <sup>-2</sup>	2660	0.00038
Plata	406	9.7×10 <sup>-2</sup>	2870	0.00035
Acero	50.2	1.2 ×10 <sup>-2</sup>	320	0.0031
Ladrillo	0.7	1.7×10 <sup>-4</sup>	5.0	0.20
Concreto	0.8	1.9 ×10 <sup>-4</sup>	5.6	0.18
Corcho	0.04	1.0× 10 <sup>-5</sup>	0.3	3.3
Cartón de yeso	0.16	3.8×10 <sup>-5</sup>	1.1	0.9
Fibra de vidrio	0.04	1.0×10 <sup>-5</sup>	0.3	3.3
Vidrio	0.08	1.9×10 <sup>-4</sup>	5.6	0.18
Poliuretano	0.024	5.7×10 <sup>-6</sup>	0.17	5.9
Forro de madera	0.55	1.3×10 <sup>-5</sup>	0.38	2.64
Aire	0.024	5.7×10 <sup>-6</sup>	0.17	5.9

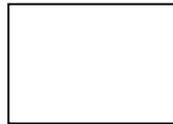
Agua	0.6	$1.4 \times 10^{-4}$	4.2	0.24
------	-----	----------------------	-----	------

Los valores R se basan en un espesor de una pulgada (1 in).

El valor R o resistencia térmica, representa las pérdidas de calor en los hogares e industrias, con frecuencia estas se deben a las propiedades aislantes de sus diversos muros compuestos (tipo de material, espesor, área de contacto, formas y diseño de construcción de paredes y techos), buscando el ambiente mas adecuado para las actividades que se realicen en ellos.

El valor R de un material de espesor L y de conductividad térmica k se da por la fórmula:

$$R = \frac{L}{K}$$



### CONVECCIÓN

Es el proceso por el cual se transfiere calor por medio del movimiento real de la masa del fluido

Las corrientes de convección constituyen la base de los sistemas para calentar y enfriar la mayoría de las casas, al hervir los alimentos y en el interior de los refrigeradores se forman corrientes de convección, debido a que el aire caliente tiende a subir y el aire frío (más denso) tiende a bajar, por eso se conserva baja la temperatura en todo el interior del refrigerador, y es también la razón por la que los sistemas de aire acondicionado se instalan en la parte superior de las casas y edificios, para lograr mayor eficiencia.

Fórmula para calcular el calor transferido por convección

$$H = \frac{Q}{\tau} = hA\Delta T$$

Donde:



H = velocidad de transferencia de calor

Q = cantidad de calor

$\tau$  = tiempo de transferencia del calor

$h$  = coeficiente de convección  
 $A$  = sección transversal  
 $\Delta T$  = cambio de temperatura

## COEFICIENTES DE CONVECCIÓN

Geometría	W/m <sup>2</sup> k	kcal/m <sup>2</sup> s °C
Superficie vertical	$1.77(\Delta t)^{1/4}$	$(4.24 \times 10^{-4})(\Delta t)^{1/4}$
Superficie horizontal		
Piso (cara hacia arriba)	$2.49(\Delta t)^{1/4}$	$(5.95 \times 10^{-4})(\Delta t)^{1/4}$
Techo (cara hacia abajo)	$1.31(\Delta t)^{1/4}$	$(3.14 \times 10^{-4})(\Delta t)^{1/4}$

## RADIACIÓN

Es el proceso por el cual el calor se transfiere mediante ondas electromagnéticas

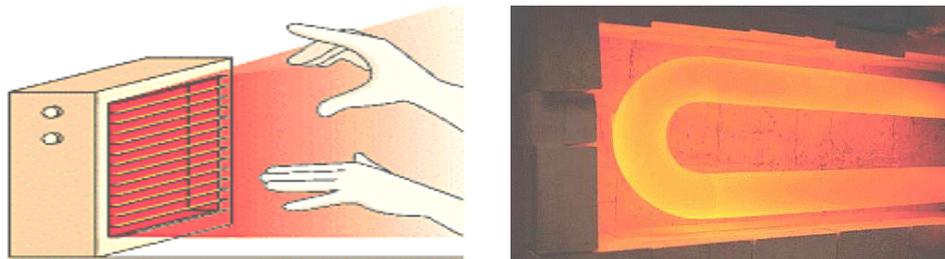


Fig. 3. 71 También la energía radiante que nos llega del sol se debe a este proceso.

## EMISIVIDAD ( $e$ )

Es una medida de la capacidad de un cuerpo para absorber o emitir radiación térmica.

La emisividad es una cantidad adimensional que tiene un valor numérico entre 0 y 1, dependiendo de la naturaleza de la superficie. En el caso de un cuerpo negro la emisividad es igual a la unidad.

## LA VELOCIDAD DE RADIACIÓN ( $R$ )

Es la energía radiante emitida por unidad de área por unidad de tiempo, o dicho de otra forma, es la potencia por unidad de área.

Si la potencia radiante  $P$  se expresa en watt y la superficie  $A$  (área) en metros cuadrados, la velocidad de radiación estará expresada en watt por metro cuadrado, como ya lo hemos dicho, esta velocidad depende de dos factores: la temperatura absoluta  $T$  y la emisividad  $e$  del cuerpo radiante. El enunciado formal de esta dependencia conocida como la ley de Stefan-Boltzmann, se puede representar como:

$$R = \frac{P}{A} = e\sigma T^4$$

$R$  = energía radiada por unidad de tiempo, por unidad de área

$P$  = potencia radiante

$A$  = área

$e$  = emisividad de la superficie , de 0 a 1

$\sigma$  = constante de Stefan

$T^4$  = la cuarta potencia de la temperatura absoluta  $K^4$

La constante de proporcionalidad  $\sigma$  es un valor universal completamente independiente de la naturaleza de la radiación. Si la potencia radiante se expresa en watt y la superficie en metros cuadrados,  $\sigma$  tiene el valor de  $5.67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{k}^4$ .

La emisividad  $e$  tiene valores de cero a uno dependiendo de la naturaleza de la superficie radiante.

### 3.2.2 CAMBIOS PROVOCADOS POR EL CALOR

Cuando proporcionamos calor a un cuerpo y se eleva su temperatura, ya sabemos que hay un aumento en la energía de agitación de sus átomos. Este incremento hace que la fuerza de cohesión de los átomos se altere, ocasionando modificaciones en su organización y separación. La absorción de calor por parte de un cuerpo puede provocar en él, un cambio de fase.

Los cambios de fase o cambios provocados por el calor que pueden ocurrir en una sustancia, reciben denominaciones especiales.

Fusión: cambio de sólido a líquido.

Solidificación: cambio de líquido a sólido.

Vaporización: cambio de líquido a gas.

Condensación (o licuefacción): cambio de gas a líquido.

Sublimación: Cambio directo de sólido a gas o de gas a sólido sin pasar por el estado líquido.

Denominaciones que reciben los cambios de un estado físico a otro

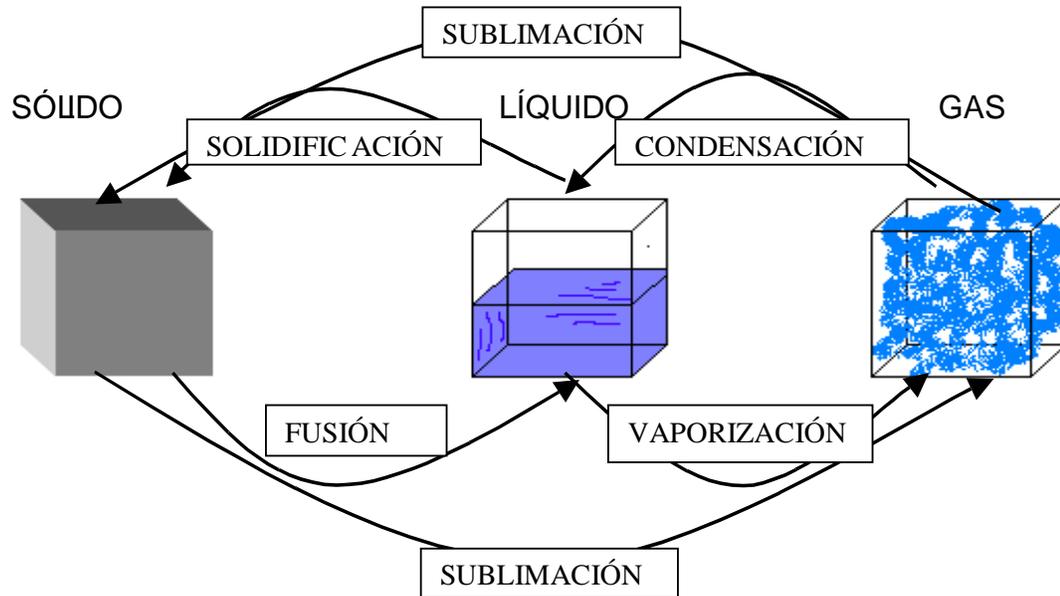


Fig. 3. 72 La cantidad de calor requerida para fundir una unidad de masa de una sustancia en su punto de fusión, se llama: calor latente de fusión para esa sustancia.

### CALOR LATENTE DE FUSIÓN ( $L_f$ )

Es el calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de la fase sólida a la líquida a su temperatura de fusión.

$$L_f = \frac{Q}{m}$$

El término latente, surge del hecho de que la temperatura permanece constante durante el proceso de fusión.

La cantidad de calor necesaria para evaporar una unidad de masa se llama: calor latente de vaporización.

### CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN ( $L_v$ )

Es el calor por unidad de masa necesario para cambiar la sustancia de líquido a vapor a su temperatura de ebullición.

$$L_v = \frac{Q}{m}$$

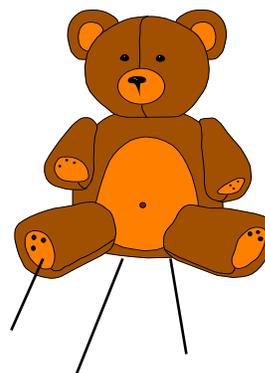
- Lf = calor latente de fusión
- Lv = calor latente de vaporización
- Q = cantidad de calor
- m = masa

### CALORES LATENTES DE FUSIÓN Y DE VAPORIZACIÓN A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Material	Punto de fusión °C	Calor latente de fusión cal/g	Punto de ebullición °C	Calor latente de vaporización cal/g
Helio	-----	-----	- 269	5
Nitrógeno	- 210	6.1	- 196	48
Oxígeno	- 219	3.3	- 183	51
Agua	0	80.0	100	540
Mercurio	-39	2.8	357	65
Plomo	327	5.9	1620	218
Etanol	-114	25.0	78	204
Plata	961	21.0	2193	558
Plomo	1063	15.4	2660	377

### 3.3 PROPIEDADES DE LOS GASES

La construcción y manejo de un globo para desfiles requiere conocimiento de las Leyes de los Gases. Antes de construir éste globo se determina su volumen. Conociendo el volumen preciso del globo, los ingenieros calculan la masa de una mezcla aire-helio necesaria para inflarlo y mantenerlo a volumen constante y a una temperatura dada. ¿Qué factores deben tomarse en cuenta para el llenado de éste globo en diferentes épocas del año?



¡BÁJENLO!

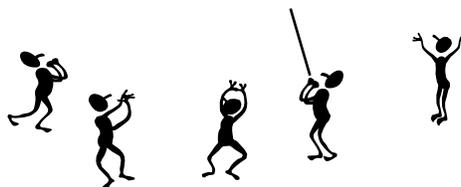


Fig. 3. 74 Las propiedades de los gases , permiten elaborar atractivos anuncios publicitarios

Un gas se caracteriza, fundamentalmente por carecer de una forma definida y ocupar todo el volumen del recipiente que lo contiene, esto se debe a que sus moléculas están muy separadas una de las otras.

Los gases están constituidos por moléculas independientes como si fueran esferas elásticas en constante movimiento, chocando entre sí y contra las paredes del recipiente que los contiene. Si la temperatura de un gas aumenta, la agitación de sus moléculas se incrementa y en consecuencia se eleva la presión. Pero, si la presión permanece constante, entonces aumentará el volumen ocupado por el gas. Por otra parte, si un gas se comprime, se incrementan los choques entre sus moléculas y, por lo tanto, se eleva la cantidad de calor producida.

Realiza la siguiente actividad

Infla un globo de hule con aire e introdúcelo en un recipiente con agua caliente (no mayor de 40 °C), observa lo que sucede con su volumen, saca el globo del agua caliente e introdúcelo en agua fría. Observa, anota y comenta con tus compañeros.

Todos los gases pueden pasar a tener un estado líquido si se les comprime a una temperatura inferior a su temperatura crítica, y se les llama gases licuados. Por ejemplo, en los tanques de gas butano que usan en tu casa, en los dirigibles, en los tanques de oxígeno líquido usados en los talleres para soldar, en los tanques de oxígeno usados en los hospitales, en el envasado de refrescos, en los aerosoles (desodorantes, pinturas, fijadores de cabello, etc.).

Los gases se dilatan  $1/273$  de su volumen inicial cada vez que su temperatura aumenta un grado centígrado o en un grado Kelvin (cuyas divisiones tienen la misma magnitud), por lo que se considera el valor  $1/273$  como el coeficiente de dilatación de los gases. Dado que en el S.I. las temperaturas de estos se miden en Kelvin.

Para determinar el estado de un gas se deben considerar tres magnitudes físicas para una masa dada en un gas: presión, volumen y temperatura

Las leyes que rigen esta transformación son:

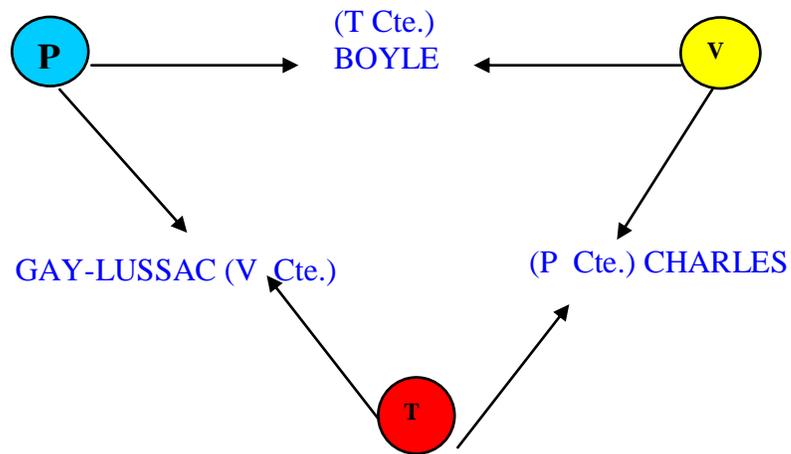


Fig. 3. 75 Diagrama general de las leyes de los gases.

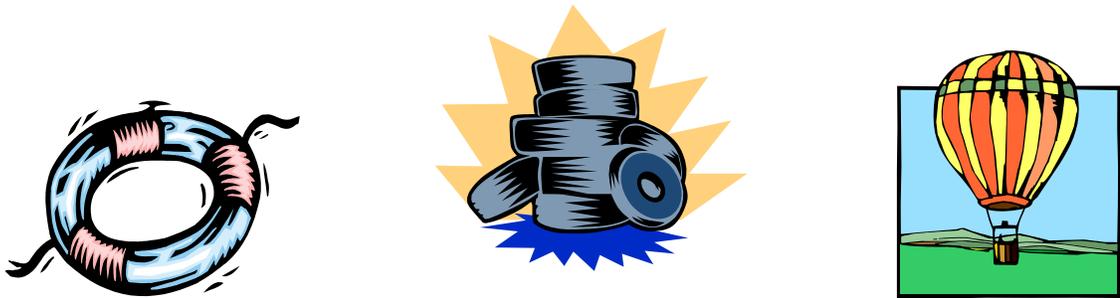


Fig. 3. 76 En objetos como estos, se pueden aplicar las leyes de los gases.

### 3.3.1 LEY DE BOYLE

En base al diagrama anterior, cuando un gas es sometido a una transformación en la cual su temperatura se mantiene constante, se dice que ésta es una transformación isotérmica, y solo observamos variaciones en su presión y su volumen.

En 1662, el inglés Robert Boyle, que es considerado el padre de la química moderna, llevó a cabo un estudio de los gases respecto a los cambios de su volumen, como consecuencia de las variaciones en la presión aplicada, enunciando la siguiente ley que lleva su nombre.

#### LEY DE BOYLE

Cuando la temperatura de una masa dada de un gas permanece constante, el volumen ocupado por un gas es inversamente proporcional a la presión aplicada.

La definición de la Ley de Boyle significa que cuando un gas se puede dilatar o contraer, la presión dentro del gas varía en proporción inversa con el volumen; es decir, si se duplica el volumen, la presión baja a la mitad, y viceversa.

Dada la definición anterior, el producto del volumen y la presión es una constante:

$$PV = k$$

Para un estado inicial y uno final:

$$P_1 V_1 = k \quad \text{y} \quad P_2 V_2 = k$$

Como  $k$  es una constante, se sustituye  $k = P_2 V_2$  en la primera ecuación y se obtiene:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



Donde:

- $P_1$  = presión inicial
- $V_1$  = volumen inicial
- $P_2$  = presión final
- $V_2$  = volumen final



## EJERCICIOS RESUELTOS

Una masa de helio contenida en un globo de  $0.4 \text{ m}^3$ , soporta una presión de  $49 \times 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  en su estado inicial. ¿Cuál será su volumen al duplicar la presión?

Datos  
Desarrollo  
 $V_1 = 0.4 \text{ m}^3$

$$P_1 = 49 \times 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

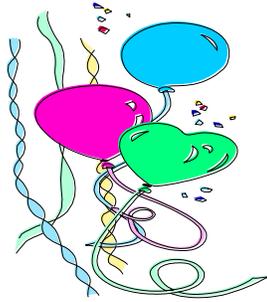
Fórmula

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{49 \times 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} (0.4 \text{ m}^3)}{98 \times 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$P_2 = 2P_1 = 98 \times 10^{-5} \frac{N}{m^2}$$

$$V_2 = 0.2 \text{ m}^3$$



2. ¿A qué presión se encontrará un gas confinado a un volumen de 2.6 m<sup>3</sup>, si su presión

es de  $5 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$  y su volumen es de 1.0 m<sup>3</sup> a temperatura constante.

Datos  
Desarrollo

$$V_1 = 2.6 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 1.0 \text{ m}^3$$

$$P_2 = 5 \times 10^5 \frac{N}{m^2}$$

$$P_1 = 192307.69 \frac{N}{m^2}$$



Fórmula

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_1 = \frac{P_2 V_2}{V_1}$$

$$P_1 = \frac{5 \times 10^5 \frac{N}{m^2} (1.0 \text{ m}^3)}{2.6 \text{ m}^3}$$

### 3.3.2 LEY DE CHARLES

EL primero en hacer mediciones acerca de los gases que se expanden al aumentar su temperatura fue el científico francés Jacques Alexandre César Charles, aproximadamente en 1787, y enunció una ley que lleva su nombre.

LEY DE charles

Para una masa dada de un gas cualquiera, el volumen que ocupa es directamente proporcional a su temperatura si la presión se mantiene constante.

Matemáticamente esta ley se enuncia como:

$$\frac{V}{T} = k$$

Todos los gases aumentan su volumen cuando aumenta la temperatura. Al duplicar la temperatura absoluta de un gas a presión constante se duplica su volumen.

Para dos estados diferentes en volumen y temperatura (inicial y final), tenemos:

$$\frac{V_1}{T_1} = k \quad \dots \quad (1) \qquad \frac{V_2}{T_2} = k \quad \dots$$

(2)

Como K es una constante, sustituye la ecuación (2) en la ecuación (1):

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

### 3.3.3 LEY DE GAY - LUSSAC

El científico francés Joseph Louis Gay – Lussac, aproximadamente en 1802, encontró la relación existente entre la temperatura y la presión de un gas cuando el volumen del recipiente que lo contiene permanece constante, a través de la siguiente ley que lleva su nombre:

### LEY DE GAY – LUSSAC

Si el volumen de una masa dada de un gas permanece constante, las presiones ejercidas por éste sobre las paredes del recipiente que lo contiene son proporcionales a sus temperaturas absolutas.

$$\frac{P_1}{T_1} = k$$

Para un estado inicial y otro final,

$$\frac{P_1}{T_1} = k$$

$$\frac{P_2}{T_2} = k$$

Igualando:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

### 3.3.4 LEY DE AVOGADRO

En el comportamiento de los gases, se tiene un valor constante cuya determinación se la debemos al Físico italiano Amadeo Avogadro, quien en 1811 formuló una hipótesis para el número de moléculas de un gas confinado en un recipiente: se toman dos porciones de gases diferentes y se colocan en dos recipientes de igual volumen a la misma temperatura y presión y el número de moléculas de cada recipiente debe ser el mismo. Numerosos experimentos han demostrado esta ley.

Ley de Avogadro

Volúmenes iguales de gases diferentes a la misma presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas.

El valor del número de Avogadro, fue determinado por Jean-Baptiste Perrin, y es una cantidad constante para todos los gases, muy útil en los cálculos realizados en las reacciones químicas.



Fig. 3. 77 Aplicaciones prácticas de la Ley de Avogadro

Número de Avogadro ( $N_A$ )

Para volúmenes iguales de gases diferentes en condiciones normales de presión y temperatura ( 1 atm y 273 K), el número de moléculas es:

$6.023 \times 10^{23}$  por cada mol de cualquier gas.

### 3.3.5 ECUACION DEL ESTADO DEL GAS IDEAL

Es un gas hipotético que permite hacer consideraciones prácticas que facilitan los cálculos matemáticos. Se caracteriza por que sus moléculas están muy separadas unas de otras, razón por la cual carecen de forma y ocupan el volumen del recipiente que lo contiene y son sumamente compresibles debido a la mínima fuerza de cohesión entre sus moléculas.



Fig. 3. 78 Las propiedades de los gases tienen muchas aplicaciones en la industria.

### 3.3.6 LEY GENERAL DEL ESTADO GASEOSO

Con base en las leyes de BOYLE, CHARLES y GAY LUSSAC, se estudia la dependencia existente entre dos propiedades de los gases, conservándose las

demás constantes, esto parte de la consideración que la relación  $\frac{PV}{T}$ , será siempre constante.

#### LEY GENERAL DEL ESTADO GASEOSO

El volumen ocupado por la unidad de masa de un gas, es directamente proporcional a su temperatura absoluta, e inversamente proporcional a la presión soportada.

Y se representa.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Donde  $(P_1, V_1, T_1)$  pueden considerarse como las condiciones del estado inicial y  $(P_2, V_2, T_2)$  las condiciones del estado final. Por lo tanto la Ley General de Estado Gaseoso establece que para una masa dada de un gas, su relación  $\frac{PV}{T}$  siempre será constante.

### 3.3.7 GAS IDEAL

#### GAS IDEAL

Un gas ideal es un gas hipotético (modelo perfecto) que permite hacer consideraciones prácticas que facilitan algunos cálculos matemáticos. Se le supone conteniendo un número pequeño de moléculas, por tanto, su densidad es baja y su atracción intermolecular es nula.

Debido a ello, en un gas ideal el volumen ocupado por sus moléculas es mínimo en comparación con el volumen total, por este motivo no existe atracción entre sus moléculas.

Es evidente que en caso de un gas real sus moléculas ocupan un volumen determinado y existe atracción entre las mismas. Sin embargo, en muchos casos estos factores son insignificantes y el gas puede considerarse como ideal.

### 3.3.8 LA CONSTANTE UNIVERSAL DE LOS GASES

De la Ley General del Estado Gaseoso sabemos que:

$$\frac{PV}{T} = K$$

O bien

$$PV = KT$$

Ec. A

El valor de K se encuentra determinado en función del número de moles (n) del gas en cuestión:

$$K = nR$$

sustituyendo esta última igualdad en la ecuación anterior, tenemos :

$$PV = nRT$$

Ec. B

En el cual

$$n = \frac{m}{PM}$$

Donde :

m = masa del gas

PM = peso molecular del gas

P = presión absoluta a la que se encuentra el gas. (atm)

- V = volumen ocupado por el gas. (m<sup>3</sup>)
- n = número de moles del gas. (mol)
- R = es la constante Universal de los gases. (8.314J/mol K)
- T = temperatura absoluta. (K)

Despejando R de la Ec. B

$$R = \frac{PV}{nT} \quad \text{Ec. C}$$

Esta ecuación puede usarse directamente sin necesidad de tener información acerca de los estados inicial y final.

Para calcular el valor de R consideramos que un mol cualquier de gas ideal en condiciones normales de presión y temperatura, (1 atm y 273 K) ocupa un volumen de 22.413 L.

Sustituyendo estos datos en la Ec. C

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{(1\text{atm})(22.413\text{L})}{(1\text{mol})(273\text{K})}$$

$R = 0.0821 \frac{\text{atmL}}{\text{molK}}$
----------------------------------------------

otros valores de R son :

$$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

$$R = 8.314 \times 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{molK}}$$

$$R = 8.314 \times 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{molK}}$$

## UNIDAD 4. PROCESOS TERMODINÁMICOS

Los primeros estudios de esta rama de la Física se realizaron en el siglo XVIII. Todos los principios que señala están fundamentados en situaciones o fenómenos que se comprueban en forma experimental. Por lo que:

### 4.1 TERMODINÁMICA

Es el estudio de la transformación de energía térmica en energía mecánica así como el proceso inverso: la conversión de trabajo en calor.

Una teoría es tanto más importante cuanto mayor sea la simplicidad de sus premisas, más diversas sean las cosas que relaciona y mayor sea el área de su aplicación. Esta fue la causa de la honda impresión que la termodinámica dejó en mí. Es la única teoría física de contenido universal que, estoy convencido, . nunca será desplazada.

Albert Einstein.

Puesto que casi toda la energía disponible de la materia prima se libera en forma de calor, resulta fácil advertir por qué la Termodinámica juega un papel tan importante en la ciencia y la tecnología.

En este tema se estudiarán las leyes básicas que deben obedecerse cuando se utiliza energía térmica para realizar trabajo.

### 4.4.1 SISTEMA TERMODINÁMICO

Es alguna porción de materia que separamos del resto del Universo por medio de un límite o frontera con el propósito de estudiarlo.

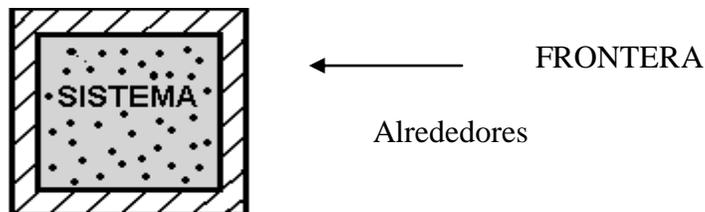


Fig. 3. 79 Sistema termodinámico

SISTEMA CON PARED DIATÉRMICA

Si la frontera de un sistema termodinámico, está hecha con una pared diatérmica, existe interacción del sistema con los alrededores, ya que la pared diatérmica permite la transferencia del calor.

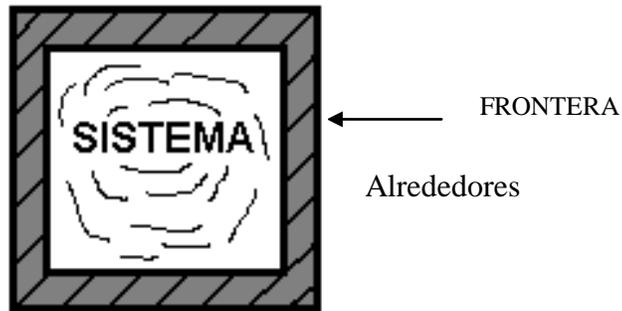


Fig. 3. 80 Pared diatérmica hecha de metal

Por ejemplo, al calentar agua en un matraz utilizando una flama, observamos que con el tiempo el agua hierve, pues nuestro sistema (el agua), interacciona térmicamente con los alrededores (la flama), ya que el matraz hecho de vidrio y actúa como pared diatérmica, permitiendo el paso del calor hacia el agua.



Fig. 3. 81 Pared diatérmica hecha de vidrio

### SISTEMA CON PARED ADIABÁTICA.

Una pared adiabática no permite que exista interacción térmica del sistema con sus alrededores. Cuando la frontera de un sistema termodinámico está hecha con una pared adiabática, no existe interacción térmica del sistema con sus alrededores.

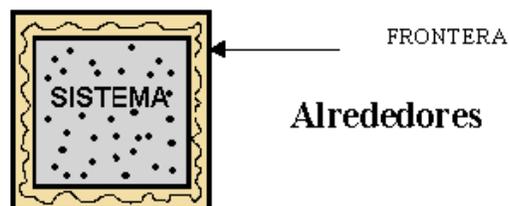


Fig. 3. 82 Pared adiabática, hecha de asbesto

Por ejemplo, si tratamos de calentar el agua contenida en un termo, constituido por un recipiente de doble pared con vacío intermedio,

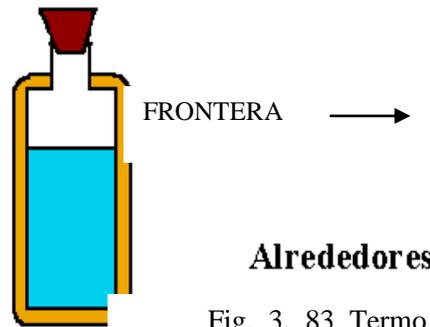


Fig. 3. 83 Termo o recipiente de pared adiabática  
(no pasa calor)

**Termo recipiente de pared adiabática (no pasa el calor)**

Cabe señalar que ninguna pared es 100% adiabática, pues toda materia al recibir calor aumenta su temperatura, como unos cuerpos lo hacen rápidamente y otros en forma lenta, en términos prácticos consideramos a unos como diatérmicos a como otros adiabáticos.

#### 4.4.2. PROCESOS TERMODINÁMICOS

Un proceso termodinámico es adiabático si el sistema no cede ni recibe calor, por lo que se realiza a un calor constante. Para ello se utilizan fronteras hechas con paredes adiabáticas.

Un proceso térmico es no adiabático cuando el sistema interacciona, térmicamente con los alrededores, el calor fluye a través de las paredes diatérmicas que los constituyen y se produce un cambio tanto en los alrededores como en el sistema mismo.

Durante los procesos térmicos no adiabáticos un sistema absorbe o cede calor. La cantidad de calor intercambiado en estos depende de la sustancia y del proceso de que se trate.

#### EQUILIBRIO TERMODINÁMICO

Cuando un sistema de baja temperatura se pone en contacto por medio de una pared diatérmica con otro sistema de mayor temperatura, la temperatura del sistema frío aumenta,

mientras la temperatura del sistema caliente disminuye. Si se mantiene este contacto por un periodo largo, se establecerá el equilibrio termodinámico, es decir ambos sistemas tendrán la misma temperatura. Es evidente que si los sistemas están formados por diferentes sustancias o diferentes porciones de ellas, no contengan la misma cantidad de energía aunque su temperatura sea igual.

ENERGIA INTERNA

Es la suma de las energías cinéticas y potencial de las moléculas individuales que lo constituyen.

Al suministrar calor a un sistema, se provoca un aumento en la energía de agitación de sus moléculas, produciéndose un incremento de energía interna del sistema y por consiguiente un aumento en la temperatura.

En general, cuanto mayor sea la temperatura de un sistema, mayor será su energía interna. Sin embargo, los valores absolutos de ésta en las moléculas no se puede precisar, motivo por el cual sólo se determina la variación que sufre la energía del sistema mediante la expresión:

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

Donde:

$\Delta U$  = variación de la energía interna expresada en joules (J)

$U_2$  = energía interna final en Joules (J)

$U_1$  = energía interna inicial en Joules (J)

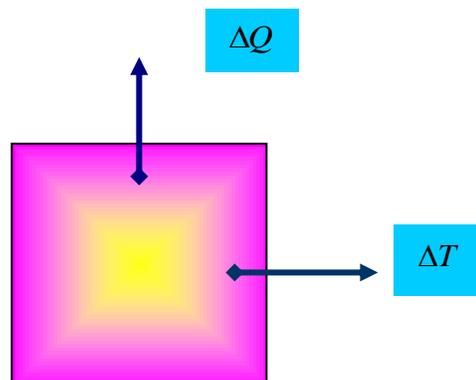


Fig. 3. 84 Sistema sometido a un proceso termodinámico

Debe representar la diferencia entre el calor neto (Q) absorbido por el sistema y el trabajo neto (T) realizado por el mismo sobre sus alrededores.

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta T$$

El calor neto absorbido  $\Delta Q$  puede realizar trabajo  $\Delta T$  por el sistema o sobre el sistema.

La salida de trabajo  $T$  es positiva y la entrada es negativa.

### LEY CERO DE LA TEMODINÁMICA

Continuamente existen situaciones en donde se manifiestan los cambios de temperatura entre dos o más objetos, en el cual después de cierto tiempo se logra obtener un equilibrio, por ejemplo:

Cuando se entra o sale de una casa, en donde la temperatura exterior es diferente, esta se percibe en forma inmediata, pero al pasar cierta cantidad de tiempo se equilibra la temperatura.

Al calentar una olla con agua, tanto el recipiente como el agua tienden a obtener la misma temperatura, después de cierto tiempo, observándose en este caso cuando el se convierte en vapor .

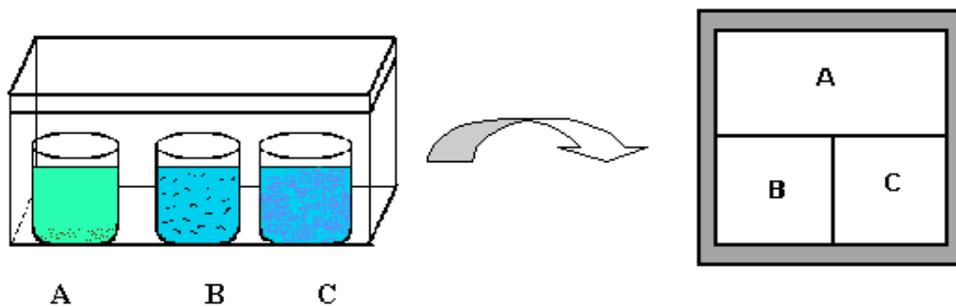


Fig. 3. 85 Si los sistemas A y B están en equilibrio termodinámico con el sistema C, entonces los sistemas A y B se encuentran en equilibrio termodinámico entre sí.

### LEY CERO DE LA TEMODINÁMICA

La temperatura, es una propiedad que posee cualquier sistema termodinámico y existirá equilibrio térmico entre dos sistemas cualesquiera, si su temperatura es la misma.

### 4.4.3. CALOR Y TRABAJO

El calor es una forma de energía, por lo tanto, las unidades para medir calor son las mismas que empleamos para medir energía.

A fines del siglo XVIII, Benjamin Thompson propuso que el calentamiento causado por la fricción se debía a la conversión de la energía mecánica en térmica.

El inglés James Prescott Joule en el siglo XIX, comprobó que siempre que se realiza una cantidad de trabajo se produce una cantidad equivalente de calor. El trabajo de Joule estableció el principio llamado Equivalente Mecánico del Calor, en el cual se demuestra que por cada joule de trabajo se producen 0.2389 calorías y que cuando una caloría de energía térmica se convierte en trabajo se obtienen 4.186 joules, es decir,

### TRABAJO TERMODINÁMICO

Para comprimir un gas, se aplica una fuerza al émbolo, el cual al recorrer una distancia, disminuirá el volumen del gas, realizando trabajo de compresión.

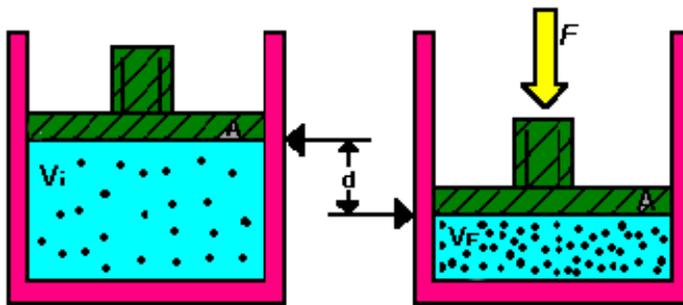


Fig. (a) antes de aplicar Fuerza; Fig. 3. 86 antes de aplicar la fuerza F b) Aplic. Fig. 3.87 aplicando la fuerza F

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

### TRABAJO DE COMPRESIÓN

Al efectuarse un trabajo de compresión, éste se transforma íntegramente en calor del sistema, porque comunica al gas una energía adicional que aumenta la energía interna de sus moléculas elevando la temperatura. En la compresión de un gas, el volumen final es menor al inicial, por tanto el trabajo realizado es

negativo, y se dice que se efectuó un trabajo de los alrededores sobre el sistema.

En un trabajo de expansión producido, gracias a la energía interna de las moléculas de gas, la temperatura del sistema disminuye. Si al expandirse un gas el volumen final es mayor al inicial, el trabajo es positivo, entonces el sistema realizó un trabajo sobre los alrededores.

$$T = Fd \quad \text{Ec. 1}$$

como  $P = \frac{F}{A}$  entonces  $F = PA$  Ec. 2

Sustituyendo 2 en 1

$$T = P A d \quad \text{Ec. 3}$$

como  $V = A d$

$$Ad = \Delta V = V_2 - V_1 \quad \text{Ec. 4}$$

Sustituyendo 4 en 3

$$T = P (V_2 - V_1)$$

Donde:

T = trabajo realizado a una presión constante del gas.

P = presión constante del gas

$V_2 - V_1$  = variación del volumen en el gas.

#### 4.4.4 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Podemos considerar que esta ley es una repostulación del Principio de la Conservación de la Energía.

“ La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma de un tipo a otro”

### PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Cuando un sistema recibe una cantidad de calor neto  $Q$ , durante un proceso termodinámico, una parte de él permanece en el sistema como un incremento de energía interna, mientras que el resto, abandona de nuevo el sistema en forma de trabajo realizado por él contra su medio externo

Al aplicar esta ley a un proceso termodinámico se hace a través de la ecuación:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta T$$

De la cual se obtiene

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta T$$

Donde:

$\Delta Q$  = variación del calor que entra o sale del sistema.

$\Delta U$  = variación de energía interna.

$\Delta T$  = variación de trabajo efectuado por el sistema o trabajo realizado sobre éste.

El valor de  $\Delta Q$  es positivo cuando entra calor al sistema y negativo si sale de él.

El valor de  $\Delta T$  es positivo si el sistema realiza trabajo y negativo si se efectúa trabajo de los alrededores sobre el sistema.

Así pues, si el sistema acepta cierta cantidad de calor y realiza un trabajo sobre los alrededores, el cambio en su energía interna será:

$$\Delta U = Q - \Delta T_i$$

En la siguiente figura vemos un sistema formado por un gas dentro de un cilindro que contiene un émbolo. Al suministrar calor al cilindro, la energía interna del sistema aumenta, pero si el gas ejerce una fuerza suficiente sobre el émbolo y lo desplaza se habrá realizado un trabajo del sistema sobre los alrededores. Por tanto, la variación de la energía interna del sistema será igual al calor que haya absorbido, menos el trabajo realizado en la expansión del gas.

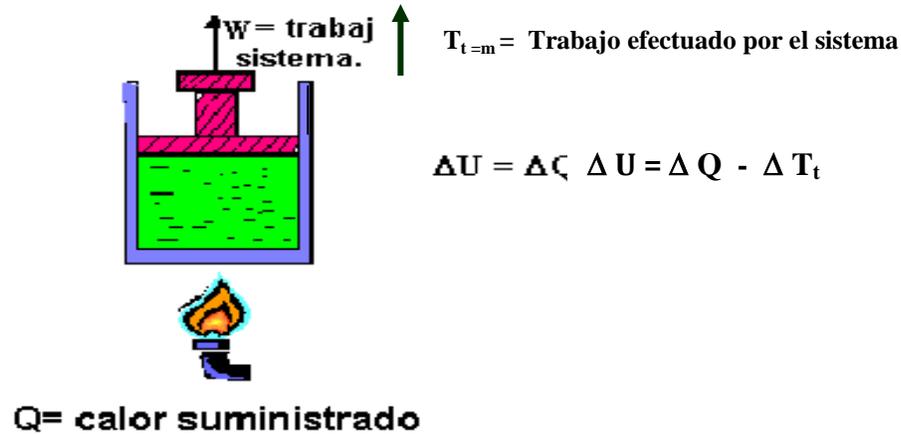


Fig. 3. 88 Trabajo debido a la expansión del gas

### CASO GENERAL PARA LA PRIMERA LEY.

Se originan casos especiales de la primera ley cuando una o más de las tres cantidades ( $\Delta Q$ ,  $\Delta T$ ,  $\Delta U$ ) no sufre cambio. En estos ejemplos la primera ley se simplifica considerablemente.

A continuación estudiaremos procesos termodinámicos generales.

#### PROCESO ADIABÁTICO

Es aquel en el que no hay intercambio de energía térmica  $\Delta Q$  entre un sistema y sus alrededores. En este proceso el sistema no gana ni pierde calor.

Este impedimento del flujo de calor puede lograrse rodeando el sistema de una capa gruesa de material aislante (como corcho, asbesto, ladrillo, refractario o espuma de poli estireno), o realizando rápidamente el proceso. El flujo de calor requiere un tiempo finito, por lo que cualquier proceso suficientemente rápido será, a efectos prácticos, adiabático.

Aplicando la primera ley a un proceso en el cual  $\Delta Q = 0$  se obtiene un proceso adiabático

$$\Delta T_t = - \Delta U$$

La ecuación dice que en el proceso adiabático el trabajo se realiza a expensas de la energía interna. Un aumento de la energía interna va acompañado

normalmente (pero no siempre) de una elevación de temperatura y una disminución de energía interna por un decremento en la temperatura.

La figura siguiente es un ejemplo de un proceso adiabático en la cual un émbolo se levanta por un gas que se expande: si las paredes del cilindro están aisladas y la expansión ocurre con rapidez, el proceso se considera adiabático.

A medida que el gas se expande realiza trabajo sobre el émbolo, pero pierde energía interna y experimenta una caída en la temperatura. Si se invierte el proceso forzando al émbolo de regreso hacia abajo, se hace trabajo sobre el gas  $-\Delta T$  y habrá un incremento en la energía interna ( $\Delta U$ ), tal que:

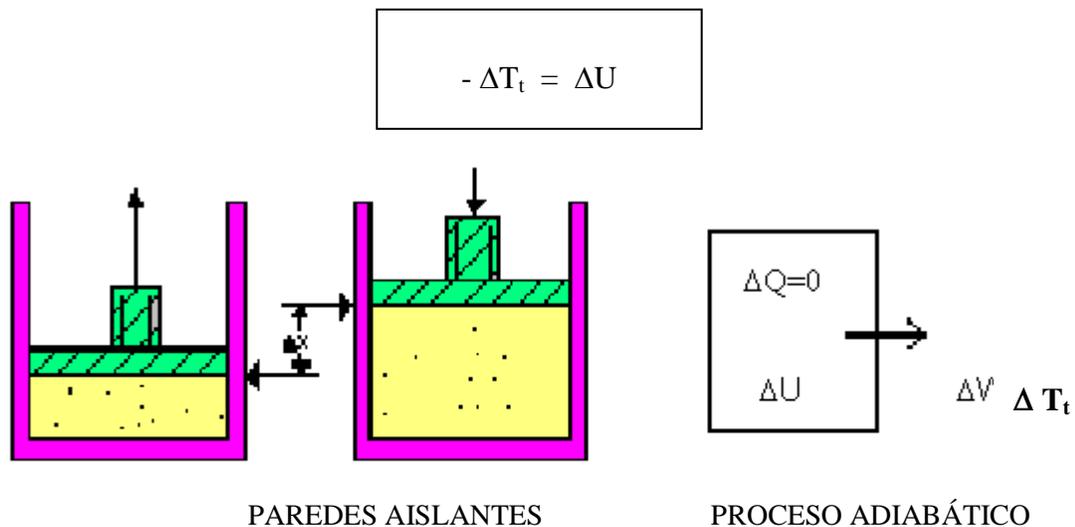


Fig. 3. 89 En un proceso adiabático no hay transferencia de calor, y el trabajo se realiza a expensas de la energía interna.

## PROCESO ISOCÓRICO (ISOVOLUMÉTRICO)

Es aquel en el cual el volumen del sistema permanece constante.

A este tipo de proceso se le conoce también con el nombre de proceso isovolumétrico ya que no hay cambio en el volumen. Lo que indica que no se realiza trabajo y aplicando la primera ley a este proceso, se tiene:  $\Delta T_t = 0$

Se obtiene

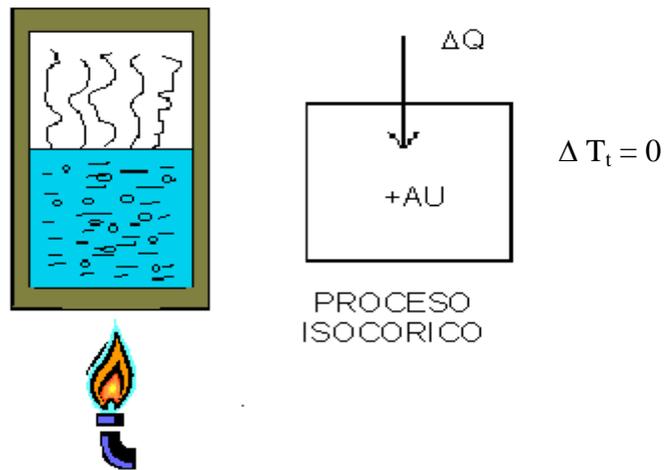
$\Delta Q = \Delta U$

O sea, que en un proceso isocórico toda la energía térmica que el sistema absorbe hace que se incremente su energía interna, en este proceso hay aumento de presión y de temperatura del sistema.

En la figura siguiente se representa lo que ocurre en un proceso isocórico, cuando se calienta agua en un recipiente de volumen fijo. A medida que se suministra calor al sistema, el incremento de energía interna da por resultado un elevación de temperatura del agua hasta que comienza a hervir.

Incrementando aún más la energía interna. No obstante, el volumen del sistema, que consta de agua y vapor, permanece constante y no se realiza trabajo.

Fig. 3. 90  
En un proceso isocórico el volumen del sistema (agua y vapor) permanecen constantes.



## PROCESOS ISOTÉRMICOS

Es aquel en el cual la temperatura del sistema permanece constante.

Para que la temperatura permanezca constante, las variaciones de presión y de volumen deben realizarse muy lentamente a fin de que el estado se aproxime al equilibrio térmico durante todo el proceso. Un gas puede comprimirse tan lentamente que en un principio puede considerarse en equilibrio térmico con sus alrededores. La presión aumenta a medida que el volumen decrece, empero, la temperatura permanece básicamente constante.

Si no hay cambio de fase (estado), una temperatura constante indica que no hay un cambio en la energía interna del sistema. Aplicando la primera ley a un proceso en el cual .

$$\Delta U = 0$$

Se obtiene

$$\Delta Q = \Delta T_t$$

Por lo tanto, en un proceso isotérmico toda la energía absorbida por el sistema se convierte en salida de trabajo.

Generalmente, ninguna de las magnitudes  $\Delta Q$ ,  $\Delta T_t$  y  $\Delta U$  es nula.

#### 4.4.5 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Convertir completamente al calor en trabajo mecánico, es uno de los principales retos de la termodinámica; así como la energía térmica no fluye en forma espontánea de un sistema frío a uno caliente.

##### SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Es imposible construir una máquina que, si opera continuamente, no produzca otro efecto que la extracción de calor de una fuente y la realización de una cantidad equivalente de trabajo.

Cualquier dispositivo que convierta calor en energía mecánica se denomina “máquina térmica”

Considerando que toda máquina térmica absorbe calor de una fuente de alta temperatura, realiza trabajo mecánico y cede calor a un cuerpo con temperatura menor.

##### SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Cuando se ponen en contacto un cuerpo caliente con un frío, el calor fluye siempre espontáneamente del cuerpo más caliente al más frío

La ley anterior también indica que ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia térmica del 100 %.

Cabe aclarar que el análisis de una máquina térmica constituye el fundamento alternativo de este enunciado, por ejemplo, un frigorífico lleva calor de un cuerpo frío a uno caliente, pero su funcionamiento depende del suministro de energía mecánica o trabajo.

#### 4.4.6 CICLOS TERMODINÁMICOS.

Los ciclos termodinámicos son procesos que devuelven un sistema a su estado original después de una serie de fases, de manera que todas las variables termodinámicas vuelven a tomar sus valores originales.

Las relaciones termodinámicas básicas se derivan de la primera y segunda Ley de la termodinámica.

El científico francés SADI CARNOT, en 1824 concibió por primera vez el ciclo termodinámico que constituye la base de los motores térmicos; y demostró que no puede existir un motor perfecto en el que todo el calor se convierta en trabajo mecánico.

El segundo principio de la termodinámica impone un límite superior a la eficiencia del motor, lo que siempre es menor a 100%. La eficiencia límite se alcanza en lo que se conoce como ciclo de Carnot.

#### CICLO DE CARNOT.

Carnot demostró que la eficiencia máxima de cualquier máquina depende de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima alcanzadas durante un ciclo. Cuanto mayor sea esta diferencia, más eficiente es la máquina.

La primera etapa del ciclo de Carnot se ilustra en la siguiente figura (primer recuadro), en el que se demuestra que un gas confinado en un cilindro provisto de un émbolo móvil se pone en contacto con una fuente a alta temperatura ( $T_1$ ); una cantidad de calor ( $Q_{ent}$ , calor de entrada o absorbido) es absorbida por el gas, el cual se dilata isotérmicamente a medida que la presión disminuye.

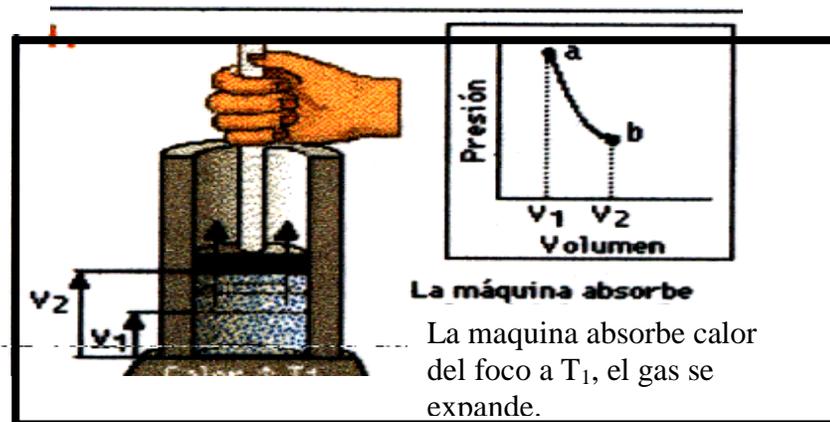


Fig. 3.91 Primera etapa del Ciclo de Carnot

En la segunda etapa el cilindro se coloca en un aislante térmico, donde continúa la dilatación adiabática en tanto que la presión disminuye hasta su nivel más bajo, (observar el segundo recuadro de la gráfica).

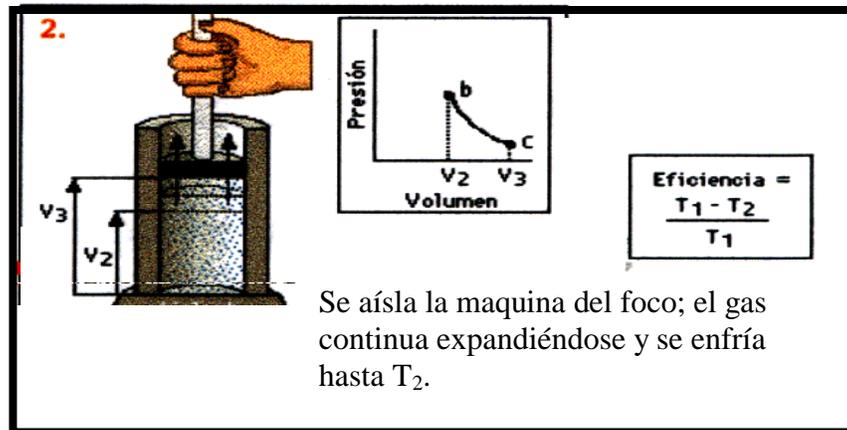


Fig. 3. 92 Segunda etapa del ciclo de Carnot

En la tercera etapa, el cilindro es extraído de la base aislante y colocado sobre una fuente a baja temperatura, ( $T_2$ ), una cantidad de calor ( $Q_{sal}$  calor de salida o cedido) es extraída del gas a medida que éste se comprime isotérmicamente. En el tercer recuadro, la última etapa se coloca de nuevo en la base aislante, donde se comprime adiabáticamente hasta su etapa original a lo largo de la trayectoria.

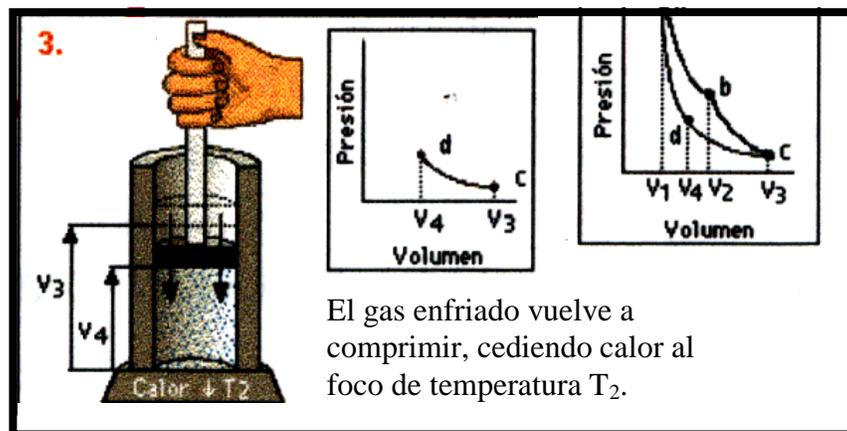


Fig. 3. 93 Tercera etapa del ciclo de Carnot

En el cuarto recuadro la máquina realiza trabajo externo durante el proceso de dilatación y regresa a su estado inicial durante los procesos de compresión.

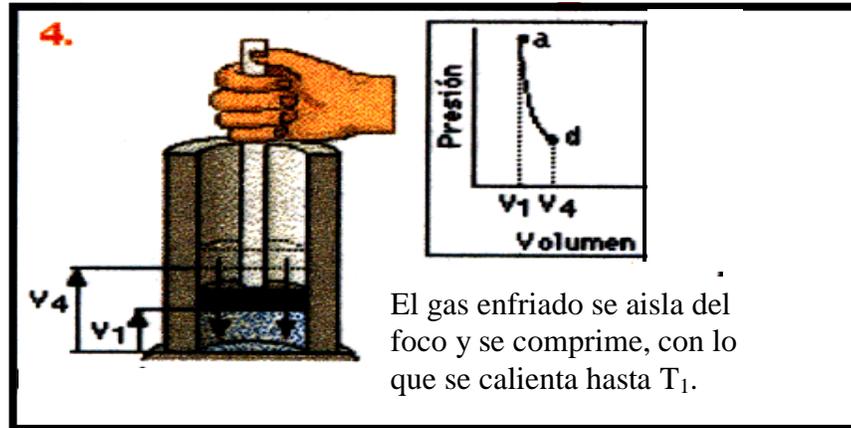


Fig. 3. 95 Cuarta etapa del ciclo de Carnot

A continuación se presenta por medio de un esquema el proceso de conversión mencionado anteriormente.

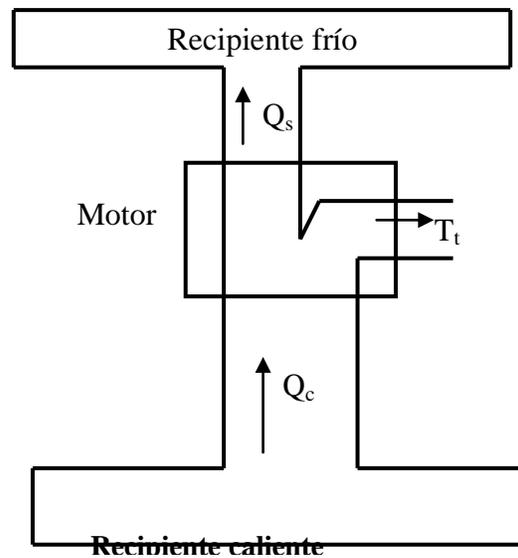


Fig. 3. 96 Máquina térmica en donde se aprecia la conversión de la energía en cada ciclo. (Simbología:  $Q_s$  equivale a  $Q_{salida}$ ,  $Q_c$  equivale a  $Q_{entrada}$ ,  $T_t$  equivale a Trabajo)

Durante el ciclo, el gas absorbió cierta cantidad de calor, por lo que la diferencia entre el calor de entrada y el calor de salida fue utilizada en producir trabajo mecánico, dado que el cambio de la energía interna es cero,  $\Delta U = 0$ . Por lo tanto:

$$T_t = Q_{ent} - Q_{sal}$$



Donde:

$T_t$  = trabajo

$Q_{ent}$  = calor de entrada o absorbido

$Q_{sal}$  = calor de salida o cedido

Sistema	Trabajo ( $T_t$ )	Calor de entrada ( $Q_{ent}$ )	Calor de salida ( $Q_{sal}$ )
INTERNACIONAL M K S C G S	Joule (J) Ergio(erg) (e)	Kilocaloría (Kcal) Caloría (cal)	Kilocaloría (Kcal) Caloría (cal)
INGLÉS	Pie-Libra (ft-lb)	British Thermal Unity (BTU)	British Thermal Unity (BTU)

Lo anterior implica que la máquina térmica no convierte todo el calor que se le transmite en trabajo mecánico, ya que una parte pasa al recipiente frío.

Al respecto, Carnot establece que el rendimiento  $E$  de las máquinas térmicas es de:

$$E = 1 - \frac{Q_{sal}}{Q_{ent}}$$

Donde:

$E$  = rendimiento y es adimensional.

$Q_{sal}$  = calor de salida o cedido  
 $Q_{ent}$  = calor de entrada o absorbido

El rendimiento térmico también depende de la temperatura  $T_1$  de la fuente de calor y de la temperatura  $T_2$  del recipiente frío.

En estas condiciones, el rendimiento térmico puede expresarse como:

$$E = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Donde:

$E$  = rendimiento y es adimensional.  
 $T_1$  = es la temperatura de la fuente de calor en K

$T_2$  = es la temperatura del recipiente frío en K

$$E = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Esto significa que, para el rendimiento térmico sea igual a 1, o sea, al del 100%, la temperatura  $T_2$  debe ser igual al cero absoluto (0 K), el cual nunca se alcanza; y si  $T_1$  es igual a  $T_2$  el rendimiento es cero, como era de esperarse.

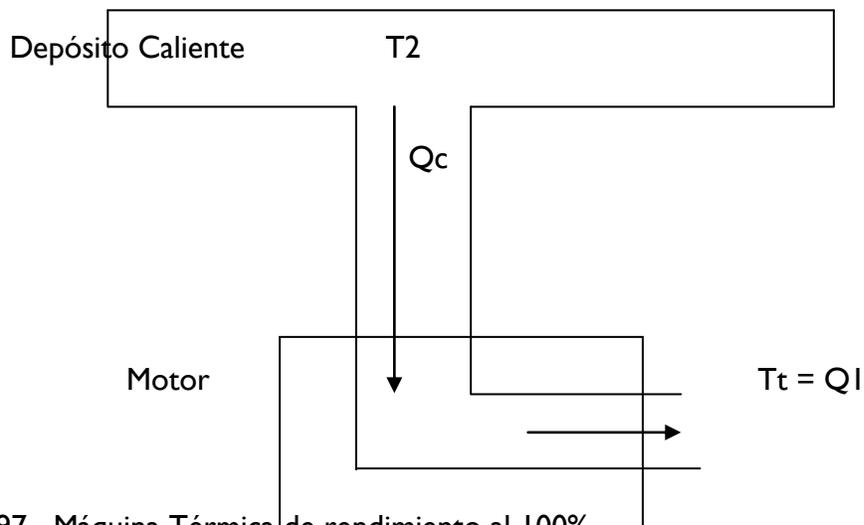


Fig. 3. 97 Máquina Térmica de rendimiento al 100%

Prácticamente no se tiene una máquina con un rendimiento de este tipo, por lo que en toda máquina térmica se tiene que  $Q_2 = 0$   
De esta manera, la eficiencia de cualquier máquina térmica es inferior al 100%.

Por ejemplo, en las locomotoras de vapor, el rendimiento va del 20% al 35%, en los motores de gasolina nunca pasa del 30% y en los motores de diesel el rendimiento es del 40%

Con respecto al sistema de refrigeración este se lleva a cabo en función de una ecuación y reiterando que es un proceso inverso, se tiene que de acuerdo a la primera Ley, el trabajo de entrada está dado por:

$$T_t = Q_{cal} - Q_{frío}$$

Donde:

$T_t$  = trabajo

$Q_{cal}$  = calor del recipiente frío (esto corresponde a  $Q_{sal}$  calor de salida o cedido)

$Q_{frío}$  = calor del recipiente caliente (esto corresponde a  $Q_{ent}$  calor de entrada o absorbido)

Cabe aclarar que el proceso de refrigeración: se debe a que la máquina térmica toma el calor de los cuerpos que están contenidos dentro de ella, para regresar la energía en forma de frío.

Por consiguiente, definimos el coeficiente de rendimiento (en vez de la eficiencia) de un frigorífico como la razón de:

$$R = \frac{Q_{ent}}{T} \quad \text{o bien} \quad R = \frac{Q_{frío}}{Q_{cal} - Q_{frío}}$$

Si este rendimiento (también denominada como eficiencia máxima) se expresa en función de temperatura absoluta (K) se tiene:

$$R = \frac{T_{frío}}{T_{cal} - T_{frío}}$$

Donde:

$R$  = coeficiente de rendimiento, es adimensional.

$T_{frío}$  = temperatura de enfriamiento del frigorífico (temp. del evaporador) en K.

$T_{cal}$  = temperatura del recipiente caliente (temp. del condensador) en K.

### 4.4.7 MÁQUINAS TÉRMICAS

Desde la más remota antigüedad, el hombre ha observado que el calor produce vapor.

La posibilidad de transformar el calor en trabajo a sido la inquietud del hombre desde la antigüedad.



Fig. 3. 98 El vapor generado produce trabajo

Un ejemplo práctico y común donde se aprecian estos aspectos, es cuando se coloca sobre una fuente de calor un recipiente tapado con agua hirviendo, se observa que la tapadera se mueve. ¿A qué se debe?

Aprovechando este fenómeno, se pudo construir verdaderas máquinas térmicas.

#### MÁQUINA TÉRMICA

Es todo dispositivo que transforma el calor en trabajo mecánico.

Las máquinas térmicas se basan en el mismo principio: “La dilatación de un gas caliente produce trabajo, después del cual el gas se enfría”.

Si de un principio tan básico, se obtiene tanto energía como trabajo, ¿Qué sería necesario, llevar al cabo, para producir movimiento?, de esta interrogante se generaron los motores térmicos.

#### MÁQUINAS DE VAPOR

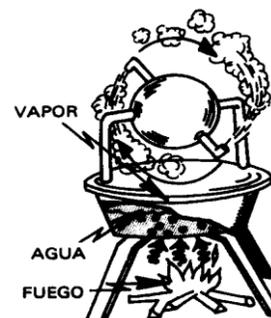


Fig. 3. 99 Ejemplos de Máquinas Térmicas

Primera máquina de vapor

Las máquinas de vapor convierten la energía térmica en mecánica, a menudo haciendo que el vapor se expanda en un cilindro con un pistón móvil. El movimiento alternativo del pistón se convierte en giratorio mediante una biela. Para que el vapor genere trabajo, se le conduce a un cilindro, dentro del cual se mueve un émbolo perfectamente ajustado. El vapor a alta presión empuja al émbolo a lo largo del cilindro, realizando en su movimiento un trabajo útil; como se observa en la siguiente figura.

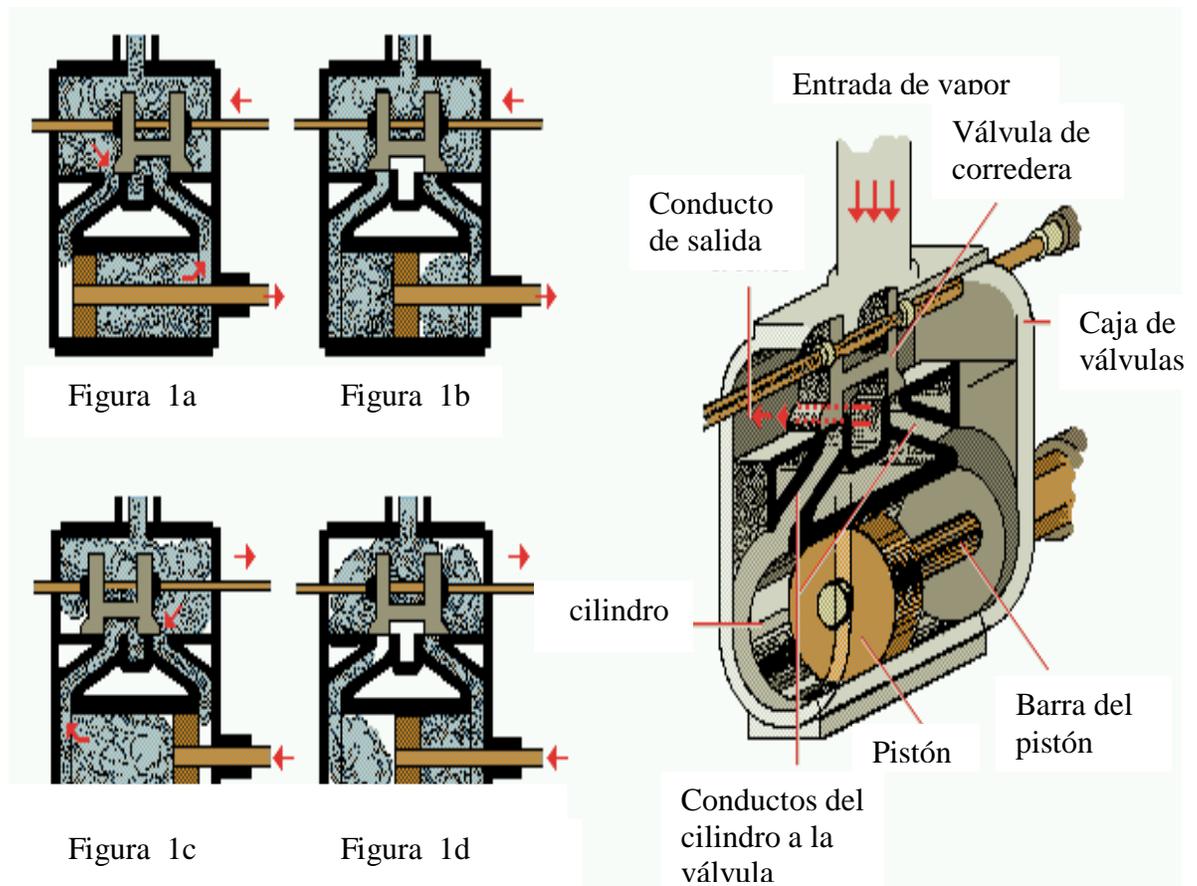
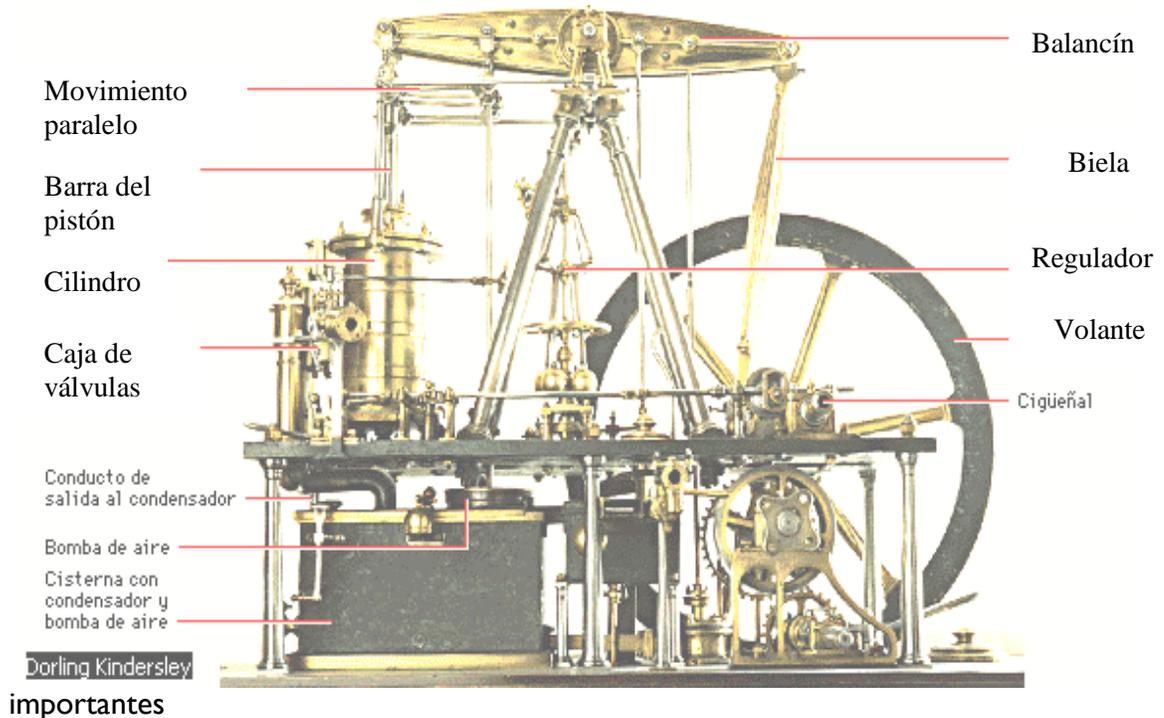


Fig. 3. 100 Esquema representativo de los ciclos de una máquina térmica

En una máquina de vapor, la válvula de corredera o deslizador entra alternativamente el vapor a los dos extremos del cilindro para mover el pistón.

A la derecha pueden verse algunos componentes de una máquina de vapor; las figuras 1a, 1b, 1c y 1d muestran el ciclo de funcionamiento de la máquina

En la siguiente figura se observa una máquina de vapor con sus partes más



importantes

En estas máquinas, como representa en el siguiente esquema, el tubo horizontal representa la porción de calor que el motor convierte en trabajo mecánico; el tubo de la parte superior, la porción de calor que se transmite al recipiente frío.

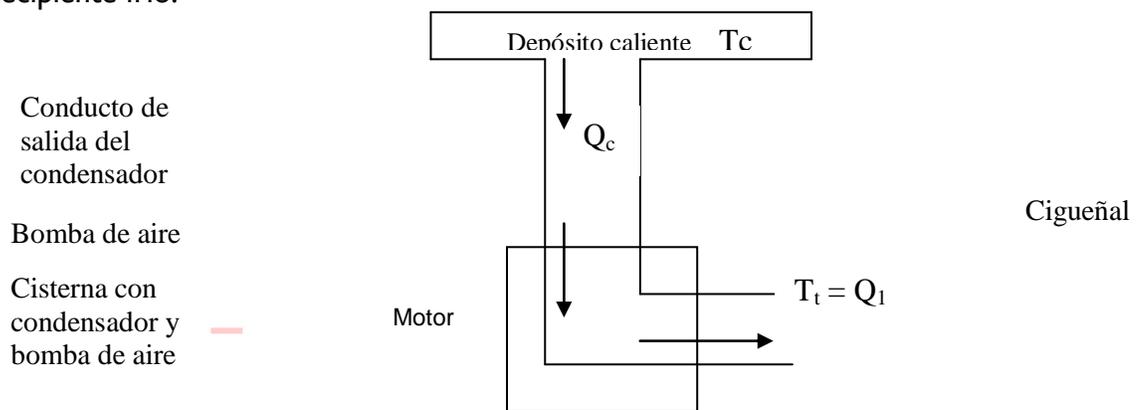


Fig. 3. 102 Máquina Térmica de rendimiento al 100%

Fig. 3. 101 Componentes principales de una máquina térmica

En resumen, el motor recibe Energía calorífica ( $Q_{ent}$ ), una parte de la energía calorífica (calor) se convierte en trabajo mecánico ( $T_t$ ), transmitiendo su impulso a un pistón o turbina; otra parte del calor ( $Q_{sal}$ ), es transmitida a un recipiente de menor temperatura, que puede ser el medio ambiente.

## POTENCIA Y RENDIMIENTO DE LOS MOTORES TÉRMICOS

Llámesese potencia efectiva o útil de un motor térmico a la potencia obtenida en su eje. Esta potencia se expresa generalmente en caballos de vapor. El rendimiento global es el cociente de dividir el trabajo útil suministrado por el motor y la energía del combustible consumido durante determinado tiempo.

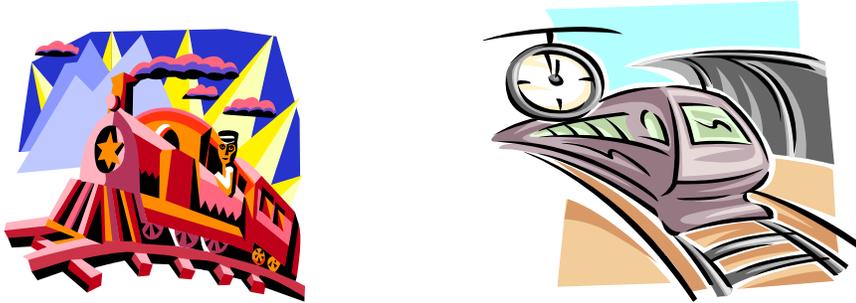


Fig. 3. 103 Ejemplo de rendimiento de motores térmicos

$$P = \frac{T}{t}$$

Donde:

- P = potencia o rendimiento del motor
- T = trabajo suministrado por el motor
- t = tiempo



## SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Se considerara que un frigorífico es una máquina térmica que funciona inversamente. Es decir, toma calor de un recipiente caliente. Si se considera a un refrigerador doméstico, los alimentos y los cubos de hielo constituyen el recipiente frío (de donde se obtiene calor), el trabajo lo realiza el motor eléctrico y el recipiente caliente viene siendo el aire de la cocina.

Por esta razón los alimentos que están dentro del refrigerador se enfrían y bajan su temperatura, mientras que el aire afuera de él se calienta y aumenta su temperatura.

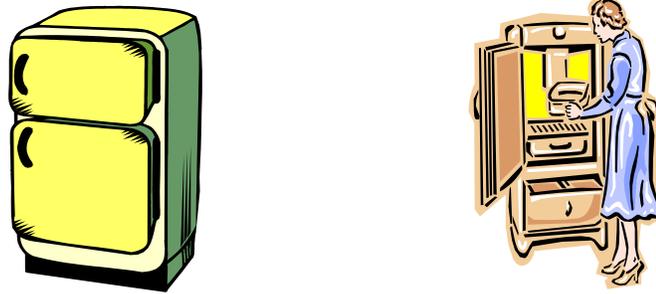


Fig. 3. 104 El refrigerador es un ejemplo común de este sistema

Los componentes básicos del sistema de refrigeración son:

- Un compresor.
- Un condensador.
- Un tanque de almacenamiento de líquido
- Una válvula de estrangulamiento.
- Un evaporador

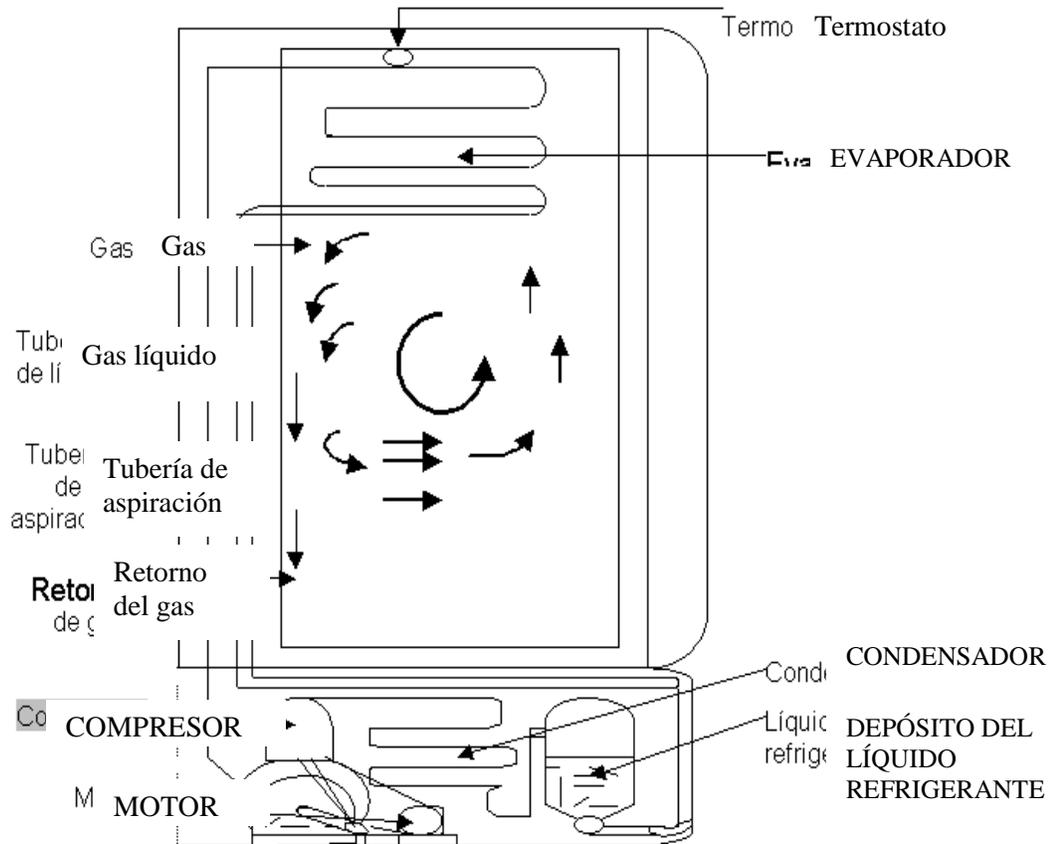


Fig. 105 Vista lateral del sistema interno de un refrigerador

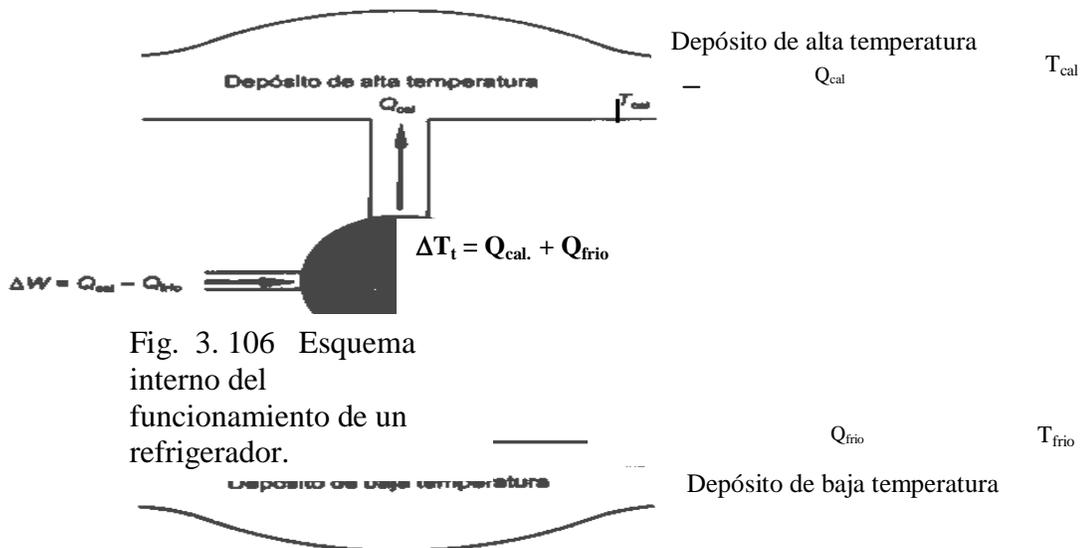


Fig. 3. 106 Esquema interno del funcionamiento de un refrigerador.

Durante cada ciclo, un compresor o un dispositivo similar proporciona trabajo mecánico al sistema, extrayendo una cantidad de calor de un depósito frío y cediendo una cantidad de calor a un depósito caliente.

En la refrigeración mecánica se obtiene un enfriamiento constante mediante la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado, donde se evapora y se vuelve a condensar en un ciclo continuo. Si no existen pérdidas, el refrigerante sirve para toda la vida útil del sistema. Todo lo que se necesita para mantener el enfriamiento es un suministro continuo de energía y un método para disipar el calor.

Los dos tipos principales de sistemas mecánicos de refrigeración son: el sistema de compresión, empleado en los refrigeradores domésticos grandes y en la mayoría de los aparatos de aire acondicionado, y el sistema de absorción, que en la actualidad se usa sobre todo en los acondicionadores de aire por calor, aunque en el pasado también se empleaba en refrigeradores domésticos por calor.

Para el caso de nuestro estudio observaremos el del sistema de compresión. En estos sistemas se emplean cuatro elementos en el ciclo de refrigeración: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.

En el evaporador, el refrigerante se evapora y absorbe calor del espacio que está enfriando y de su contenido. A continuación, el vapor pasa a un compresor movido por un motor que incrementa su presión, lo que aumenta su temperatura (véase Termodinámica).

El gas sobrecalentado a alta presión se transforma posteriormente en líquido, en un condensador refrigerado por aire o agua. Después del condensador, el líquido pasa por una válvula de expansión, donde su presión y temperatura se reducen hasta alcanzar las condiciones que existen en el evaporador. En el condensador existe una relación similar entre la presión y la temperatura.

En los refrigeradores pequeños empleados en las viviendas para almacenar comida, el calor del condensador se disipa a la habitación donde se sitúa. En los acondicionadores de aire, el calor del condensador debe disiparse al exterior o directamente al agua de refrigeración.

En un sistema doméstico de refrigeración, el evaporador siempre se sitúa en un espacio aislado térmicamente. A veces, este espacio constituye todo el refrigerador. El compresor suele tener una capacidad excesiva, de forma que si funcionara continuamente produciría temperaturas más bajas de las deseadas. Para mantener el refrigerador a la temperatura adecuada, el motor que impulsa el compresor está controlado por un termostato o regulador.

## BIBLIOGRAFÍA

- EUGENE Hecht, Fundamentos de Física, Edit. Thomson, Méx. 2 001
- PEREZ Montiel Hector, Física General, Edit. Publicaciones Cultural, Méx. 2 001
- GIANCOLI, Douglas C., Física: Principios con Aplicaciones, Edit. Prentice – Hall, 2 000
- FEYNMAN, Leighton, Sands. Física: Mecánica, Radiación y Calor, Volumen I. Edit. Pearson Educación, Méx. 1998
- RANALD, V. Giles, Jack B. Evett, Cheng Liu, Mecánica de los Fluidos e Hidráulica, Tercera Edición, Mc Graw – Hill, España, 1998
- GENTIL, Antonio. Estévez Bretón, Erika Sabrina Estévez Forero. Física: Problemas Selectos, Mc Graw – Hill, Méx, 1998
- ZITZEWITZ Paul W, Robert F. Neft. Física I: Principios y Problemas. Mc Graw – Hill, Colombia, 1997

- SERWAY Raymond A., Física: Tomo I, 4<sup>o</sup> Edición, Mc Graw – Hill, Méx, 1997
- TIPPENS Paul, FÍSICA: Conceptos y Aplicaciones, 5<sup>o</sup> Edición, Mc Graw – Hill, México, 1996
- GUERRA Mario, Juan Correa, Ismael Núñez, Juan Manuel Scaron. FÍSICA: Elementos Fundamentales, Tomo I, Edit. Reverté, S. A. España, 1994
- BAUCHE Frederick J., Física General, Edit. Mc Graw – Hill, Méx. 1981
- RESNICK – Holliday, Física General, Edit. CECSA, Méx. 1968
- SEARS – Zemansky, Física, Edit. Aguilar, Méx. 1968