Unidad I.- HIDRÁULICA

1.1. HIDROSTÁTICA

Concepto e importancia del estudio de la hidráulica y su división

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 par 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 líquidos en movimiento. La hidráulica se fundamenta en las siguientes consideraciones: los líquidos son isótropos, es decir, manifiestan las mismas propiedades físicas en todas las direcciones; son incomprensibles y totalmente fluidos; circulan en régimen permanente toda vez que sus moléculas atraviesan una sección de tubería a la misma velocidad y de manera continua, porque las moléculas en íntimo contacto 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 y 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.

La hidrostática tiene por objetivo estudias a los líquidos en reposo. Se fundamenta en leyes y principios como el de Arquímedes, Pascal o la paradoja hidrostática de Stevin; mismos que contribuyen a cuantificar las presiones ejercidas por los fluidos, y al estudio de sus características generales.
Comúnmente los principios de la hidrostática también se aplican a los gases.
El término fluido se aplica a líquidos y gases porque ambos tienen propiedades comunes. No obstante, conviene recordad que un gas es muy ligero y, por tanto, puede comprimirse con facilidad, mientras un líquido es prácticamente incomprensible. Los fluidos están constituidos por gran cantidad de minúsculas partículas de materia, éstas se deslizan unas sobre otras en los líquidos y en los gases se mueven sueltas. Esto explica por qué los líquidos y gases no tienen forma definida, adoptando la del recipiente que los contiene. Finalmente recordemos que un gas es expansible, por consiguiente su volumen no es constante; pues al pasarlo a un recipiente de mayor volumen inmediatamente ocupa todo el espacio libre. Un líquido, por su parte, no tiene forma definida, pero sí volumen definido.

Características de los líquidos.

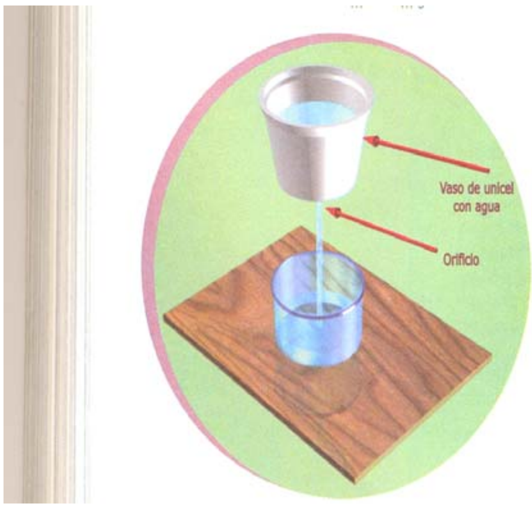
Viscosidad

Esta propiedad se origina por el rozamiento de unas partículas con oras, cuando un líquido fluye. Por tal motivo, la viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia que opone un líquido a fluir.

Si en un recipiente perforado en el centro se hacen fluir por separado miel, leche, agua y alcohol, observamos que cada líquido fluye con rapidez distinta; mientras más viscoso es un líquido, más tiempo tarda en fluir

En la industria la viscosidad se cuantifica en forma práctica, utilizando recipientes como una determinada capacidad, que tienen un orificio de un diámetro establecido convencionalmente. Al medir el tiempo que el líquido tarda en fluir se conoce su viscosidad, para ello se usan tablas que relacionan el tiempo de escurrimiento con la viscosidad. La unidad de viscosidad en el Sistema Internacional es el poiseville definido como 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 es un metro por segundo.

$$1 \text{ poiseville} = \frac{1 \text{Ns}}{\text{m}^2} = \frac{1 \text{ kg}}{\text{ms}}$$



En el Sistema CGS la unidad de viscosidad es el poise, y equivale a la décima parte del poiseville.

$$1 \text{ poise} = \frac{1 \text{ dina s}}{\text{cm}^2} = \frac{1 \text{ g}}{\text{cms}}$$

$$1 \text{ poiseville} = 10 \text{ poise}$$

En la industria se utiliza como unidad práctica de viscosidad el centipoise que equivale a la centésima parte del poise.

1 centipoise = 1×10^{2} poise

Cuadro 8.1 VALORES DE LA VISCOSIDAD DE ALGUNAS SUSTANCIAS

Sustancia	Viscosidad Poiseville	Poise
Agua a 0 °C	0.0018	0.018
Aceite de oliva A 20 ° C	0.0970	0.97
Mercurio a 20 °C	0.0016	0.016

Tensión superficial.

La tensión superficial hace que la superficie de un líquido se comporte como una finísima membrana elástica. Este fenómeno se presenta debido a la atracción entre las moléculas del 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 solo son atraídas por las inferiores y laterales más cercanas. Por 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.
Debido a la tensión superficial una pequeña masa de líquido tiende a ser redonda en el aire, tal es el caso de las gotas; los insectos pueden caminar sobre el agua, o una aguja puesta con cuidado en forma horizontal sobre un líquido no se hunde.

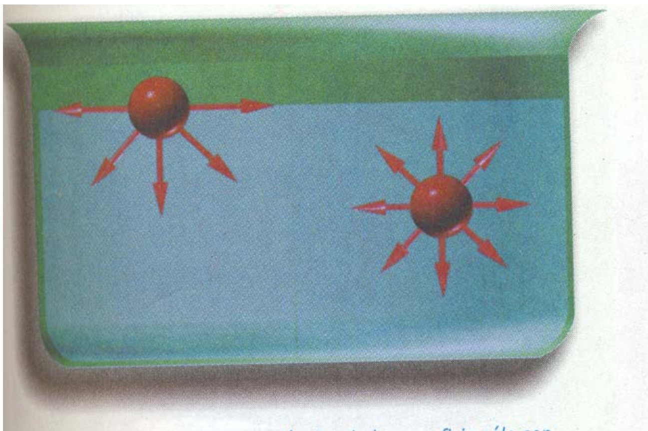


Fig. 8.2 Tensión superficial. Las moléculas de la superficie sólo son atraídas por las inferiores y laterales, en tanto que las del interior del líquido son atraídas en todas direcciones; por lo cual está en equilibrio.

La tensión superficial del agua puede reducirse en forma considerable si se le agrega detergente esto contribuye a que el agua penetre con más facilidad por los tejidos de la ropa durante el lavado.

Cohesión.

Es la fuerza que mantiene unidas a las moléculas de una misma sustancia. Por la fuerza de cohesión, si dos gotas de agua se juntan forman una sola; lo mismo sucede con dos gotas de mercurio.

Adherencia

La adherencia es la fuerza de atracción que se manifiesta entre las moléculas de dos sustancias diferentes en contacto. Comúnmente las sustancias líquidas se adhieren a los cuerpos sólidos.,
Al sacar una varilla de vidrio de un recipiente con agua, está completamente mojada, esto significa que el agua se adhiere al vidrio. Pero si la varilla de vidrio se introduce en un recipiente con mercurio, al sacarla se observa completamente seca, lo cual indica que no hay adherencia entre el mercurio y el vidrio.
En general, cuando el fenómeno de adherencia se presenta significa que la fuerza de cohesión entre las moléculas de una misma sustancia es menor a la fuerza de adherencia que experimenta al contacto con otra. Tal es el caso de agua adherida al vidrio (figura 8.3), la pintura al adherirse a un muro, el aceite al papel, o la tinta a un cuaderno. Si la fuerza de cohesión entre las
Moléculas de una sustancia es mayor que la fuerza de adherencia que experimenta al contacto con otra, no se presenta adherencia y se dice que el líquido no moja al sólido (figura 8.4).

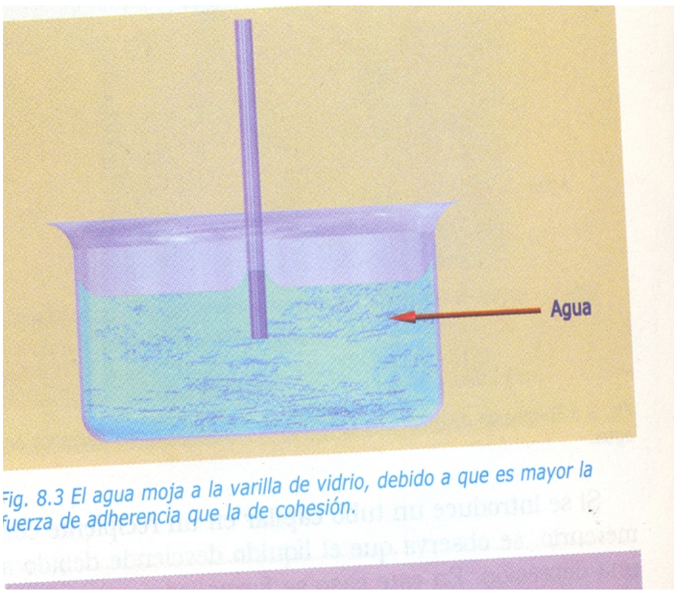
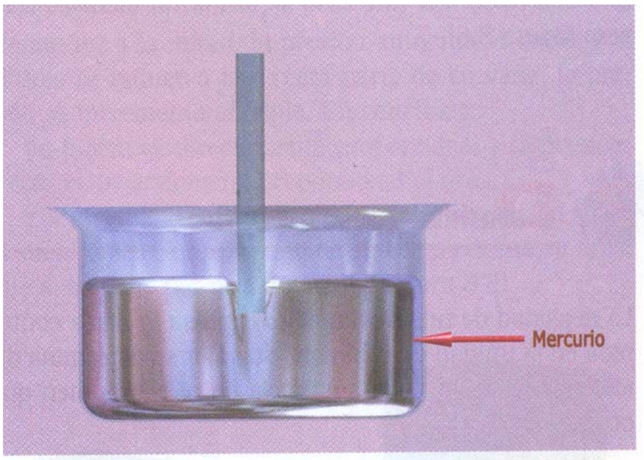


Fig. 8.3 El agua moja a la varilla de vidrio, debido a que es mayor la fuerza de adherencia que la de cohesión.



ig. 8.4 El mercurio no moja a la varilla de vidrio, debido a que es menor fuerza de adherencia que la de cohesión.

Capilaridad

La Capilaridad 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 diámetro uy pequeño 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 (figura 8.5)

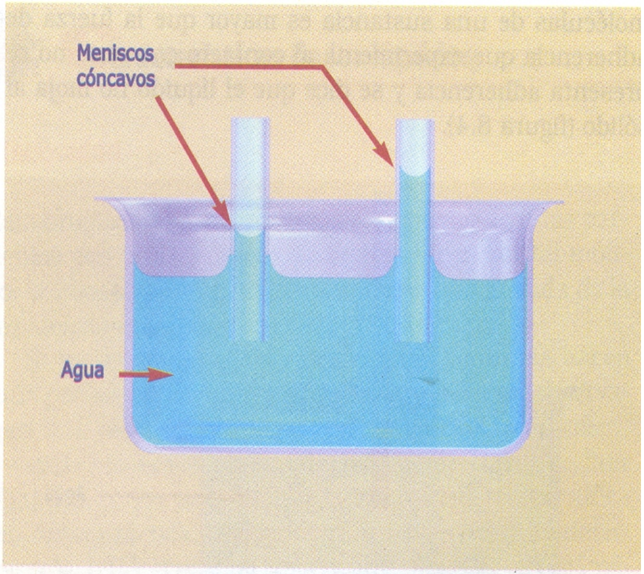


Fig. 8.5 Formación de meniscos cóncavos al introducir tubos delgados en agua.

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 (figura 8.6).

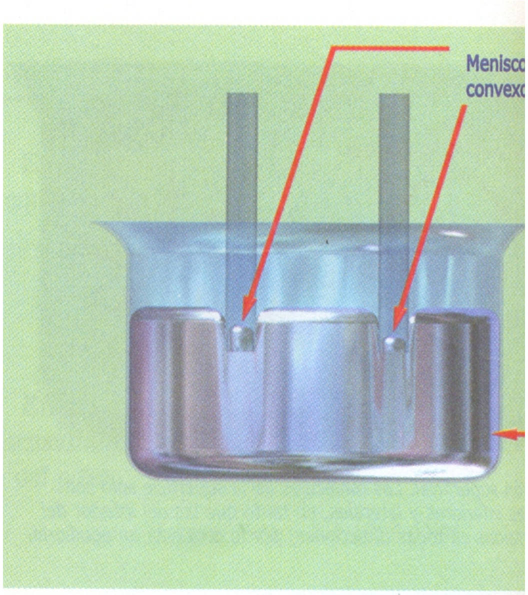


Fig. 8.6 Formación de meniscos convexos al introducir tubos

Debido a la capilaridad, en las lámparas el alcohol y el petróleo ascienden por las mechas; un algodón o un terrón de azúcar sumergidos parcialmente en agua, la absorben poco a poco; y la sabia de las plantas circula a través de sus tallos.

Densidad y peso específico.

La densidad de una sustancia *p* expresa la masa contenida en la unidad de volumen. Su valor se determina dividiendo la masa de la sustancia entre el volumen que ocupa:

$$P = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}} \text{ en kg/m}^3$$

El peso específico de una sustancia se determina dividiendo su peso entre el volumen que ocupa:

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

Donde:

- Pe= peso específico de la sustancia en N/m^3
- P=peso de la sustancia en newtons (N)
- V= volumen que ocupa en metros cúbicos (m^3).

Podemos obtener la relación entre la densidad y el peso específico de una sustancia, si recordamos que:

$$P = mg \text{..........................(1)}$$

Como:

$$Pe = \frac{P}{V} \text{.........................(2)}$$

Sustituyendo 1 en 2 tenemos:

Como :

$$Pe = \frac{mg}{V}\text{.....................(3)}$$

$$\frac{m}{V} = p\text{..............................(4)}$$

$$Pe = Pg$$

Peso específico=densidad por aceleración de la gravedad

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

Densidad= peso específico entre aceleración de la gravedad.

La densidad de los líquidos se determina en forma práctica usando los densímetros. Estos dispositivos se sumergen en el líquido al cual se le va a determinar su densidad y ésta se lee, según el nivel que alcance en el líquido que flotan, con base en una escala previamente determinada por el fabricante. Un densímetro se gradúa colocándolo en diferentes líquidos de densidad conocida, como el agua, por ejemplo, el nivel que ésta alcance indicará el valor de 1 g/cm^3 (figura 8.7).

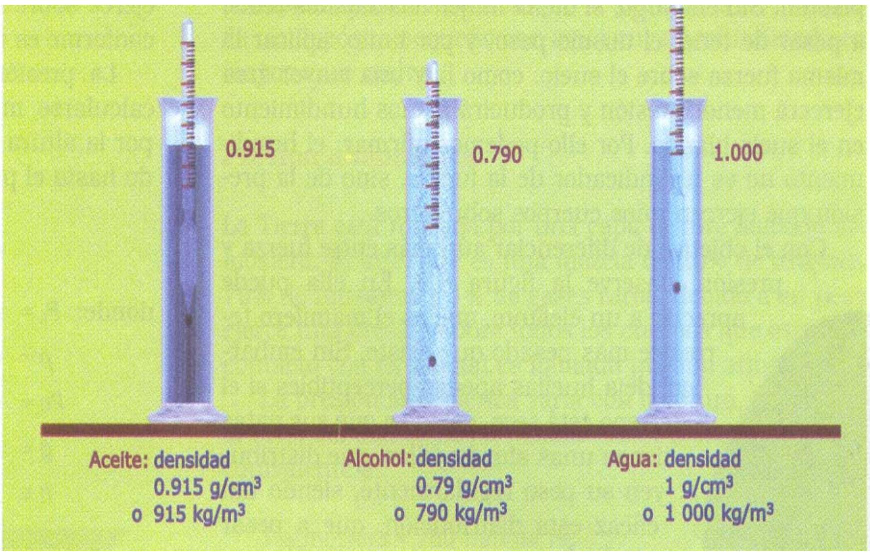


Fig. 8.7 Determinación de la densidad de un líquido, usando un densímetro

Presión.

La presión indica la relación entre una fuerza aplicada y el área sobre la cual actúa. En cualquier caso en que exista presión, una fuerza actuará en forma perpendicular sobre una superficie. Matemáticamente la presión se expresa por:

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

Donde:

P=presión en N/m^2=pascal

F= fuerza perpendicular a la superficie en newtons *(N)*

A= área o superficie sobre la que actúa la fuerza en metros cuadrados (m^2).

La expresión matemática de la presión indica que: cuanto mayor sea la fuerza aplicada, mayor será la presión para una misma área; así pues, cuando la fuerza aumenta al doble, también la presión se incrementa en la misma proporción, es decir, al doble; si la fuerza aumenta al triple, siempre y cuando el área sobre la que actúa la fuerza no varíe.
Cuando se aplica una misma fuerza pero el área aumenta, la presión disminuye de manera inversamente proporcional al incremento de dicha área. Por 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. En conclusión:
La fuerza es directamente proporcional a la presión, y ésta es inversamente proporcional al área.
Por ejemplo: Un ladrillo ejercerá menor presión sobre el suelo si se coloca por una de sus caras de mayor área, que si se pone por una de menor (figura 8.8)

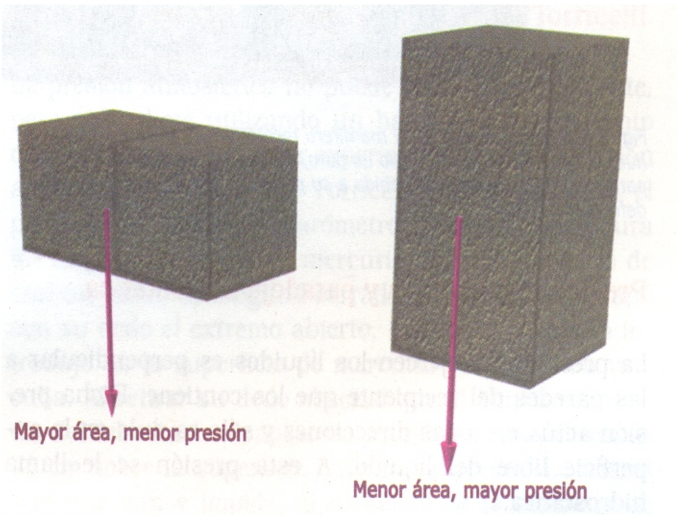


Fig. 8.8 Al disminuir el área sobre la que actúa una fuerza, aumenta la presión.

Esto explica la razón de 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. Sin embargo, si dicha mujer 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 ello podemos afirmar: el hundimiento no es un indicador de la fuerza, sino de la presión que ejercen unos cuerpos sobre otros. Con el objetivo de diferenciar aún más entre fuerza y presion, observe la figura 8.9. en ella se puede apreciar a un elefante, que es el mamífero mas pesado que existe. Sin embargo, deja huellas apenas perceptibles, si el terreno esta seco, debido a que sus patas

tienen unas almohadillas, que distribuyen su peso regularmente, siendo tan eficaz esta distribución, que a pesar de la fuerza que ejerce debido a su peso, la presion sobre el suelo seco apenas llega a deformarlo

Fig.8.9 El elefante que es el mamífero terrestre más Pesado, deja huellas poco visibles si el suelo es duro Ya que las almohadillas de sus patas disminuyen la Fuerza debida a su peso y la presión casi no llega a Deformarlo.

Presión hidrostática y paradoja hidrostática

La presión que ejercen los líquidos es perpendicular a las paredes del recipiente que los contiene. Dicha presión actúa en las direcciones y sólo es nula en la superficie libre del líquido. A esta presión se le llama hidrostática.
La presión hidrostática es aquella que origina todo líquido sobre el fondo y las paredes del recipiente que lo contiene.

Esto se debe a la fuerza que el peso de las moléculas ejerce sobre un área determinada; la presión aumenta conforme es mayor la profundidad.
La presión hidrostática en cualquier punto puede calcularse multiplicando el peso específico del líquido por la altura que hay desde la superficie libre del líquido hasta el punto considerado.

$$Ph = Peh \quad \text{o bien} \quad Ph = pgh$$

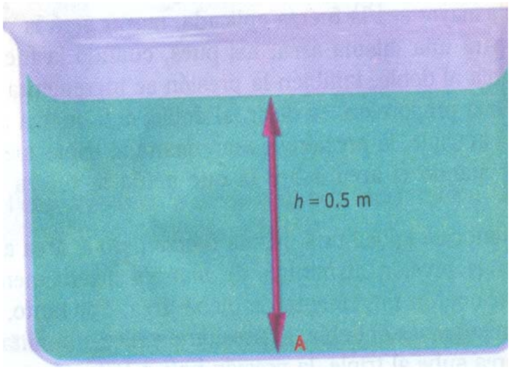
Donde: Ph= Presión hidrostática en N/m^2
P= densidad del líquido en kg/m^3
Pe= peso específico del líquido en N/m^3
g= aceleración de la gravedad, igual a 9.8 m/s^2
h=altura de la superficie libre al punto en metros (m)

Consideremos tres recipientes con agua, dos a la misma altura y otro con diferente altura, como se aprecia en la figura.

Recipiente 1: $Ph = Peh = p\,gh$

$= 1\,000\ kg/m^3 x 9.8\ m/s^2 x 0.5\ m$

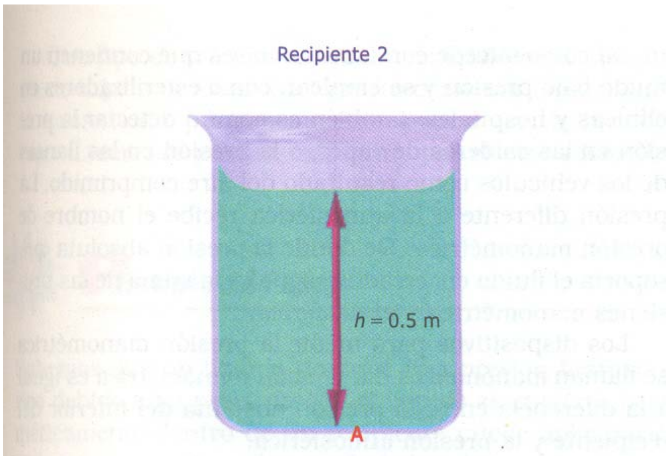
$= 4\,900\ N/m^2$



Recipiente 2: $Ph = p$ gh

$= 1\,000\ kg/m^3 x 9.8 m/s^2 x 0.5 m$

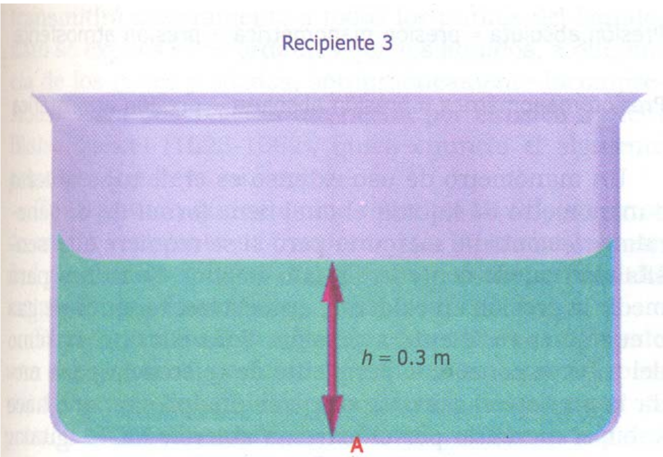
$= 4\,900\ N/m^2$



Recipiente 3: $Ph = p$ gh

$= 1\,000\ hg/m^3 \times 9.8 m/s^2 x 0.3\ m$

$= 2\,940\ N/m^2$



La llamada paradoja (lo que va en contra de la opinión común) hidrostática de Stevin señala 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 de líquido contenido, sino únicamente del peso específico y de la altura que hay del punto considerado a la superficie libre del líquido. Esto lo observamos en el recipiente 1 y 2 de la figura 8.10, en los cuales la presión hidrostática en el punto A es la misma, porque la altura también lo es; mientras la presión hidrostática disminuye en el recipiente 3, por ser menor la altura. Por tanto si una alberca tiene una profundidad de un metro, la presión hidrostática que existirá

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.

Presión atmosférica.

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, debido a su peso ejerce una presión sobre todos los cuerpos que están en contacto con él, la cual es llamada presión atmosférica.
La presión atmosférica varía con la altura, por lo que al nivel del mar tiene su máximo valor o presión normal equivalente a:
1 atmósfera= 760 mm de Hg
= 1.013 x 105 N/m^2

A medida que es mayor la altura sobre el nivel del mar, la presión atmosférica disminuye. En la ciudad de México su valor es de 586 mm de Hg equivalente a: 0.78 x 105 *N*/m2.
Es común expresar las presiones en milímetros de mercurio, por tanto, resulta conveniente recordar la siguiente equivalen cia:

1 mm de Hg = 133. N/m^2

o bien: 1 cm de Hg = 1 332 N/m^2

Barómetro de mercurio, experimento de Torricelli.

La presión atmosférica no puede calcularse fácilmente, pero sí medirse utilizando un barómetro, instrumento que sirve para determinar experimentalmente la presión atmosférica. Evangelista Torricelli (1608-1647) fue el primero en idear un barómetro de mercurio (figura 8.11); para ello, llenó de mercurio un tubo de vidrio de casi un metro de longitud cerrado por un extremo, tapó con su dedo el extremo abierto, invirtió el tubo y lo introdujo en la superficie de mercurio contenido en una cuba. Al retirar su dedo observó que el líquido descendía del tubo hasta alcanzar un equilibrio a una altura de 76 cm sobre la superficie libre del mercurio. La fuerza que equilibra e impide, el descenso de la columna de mercurio en el tubo, es la que ejerce la presión atmosférica sobre la superficie libre del mercurio, y es la misma que recibe el tubo de vidrio por su extremo abierto.

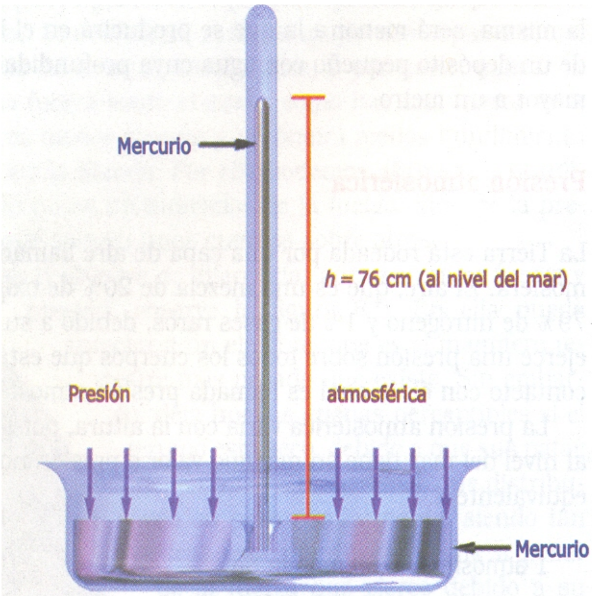


Fig.8.11 Experimento de Torricelli para medirLa presión atmosférica con un barómetro de Mercurio

Al conocer el experimento de Torricelli al nivel del mar, Pascal supuso que si la presión atmosférica tenía su origen en el peso del aire que envolvía a la Tierra,, la presión barométrica sería menor a mayor altura. Al experimentar a una altura mayor se comprobó que la columna de mercurio descendía a menos de 79 cm en el tubo de vidrio; este experimento comprobaba la hipótesis de Pascal. La equivalencia de la presión atmosférica, que al nivel del mar es de 76 cm de Hg o 760 mm de Hg, en unidades del Sistema Internacional la obtenemos con la expresión:

$$P= p\ gh$$

Como: *P*Hg= 13600 kg/m3
g= 9.8 m/s2
h= 0.76m

Sustituyendo valores:

P = 13600 kg/m3 x 9.8m/s2 x 0.76 m
= 1.013 x 105 *N*/m2

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 trasmite uniformemente por todo el volumen del líquido. En el caso de un líquido encerrado en un recipiente, además de a presión atmosférica puede recibir otra presión causada por su calentamiento, tal como sucede con las autoclaves que contienen 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 vehículos como resultado del aire comprimido. La presión diferente a la atmosférica recibe el nombre de presión manométrica. De donde la presión absoluta que soporta el fuido encerrado es igual a la suma de las presiones manométrica y atmosférica.
Los dispositivos para medir la presión manométrica se llaman manómetros. La presión absoluta del interior del recipiente y la presión atmosférica.

Presión absoluta=presión manométrica+presión atmosférica
Presión manométrica=presión absoluta-presión atmosférica

Un manómetro de uso extenso 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 del 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 (ambiental, o del gas o vapor). 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 (figura 8.12)

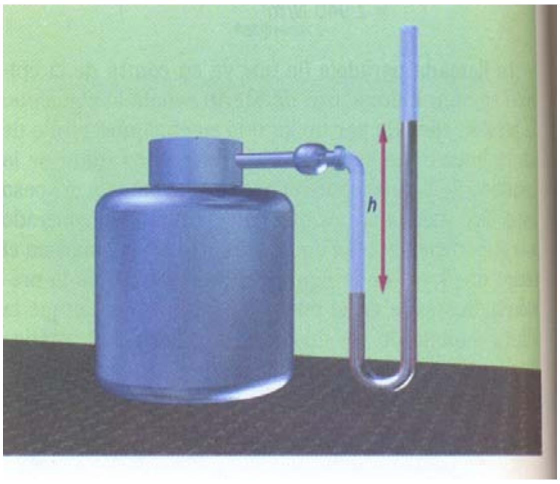


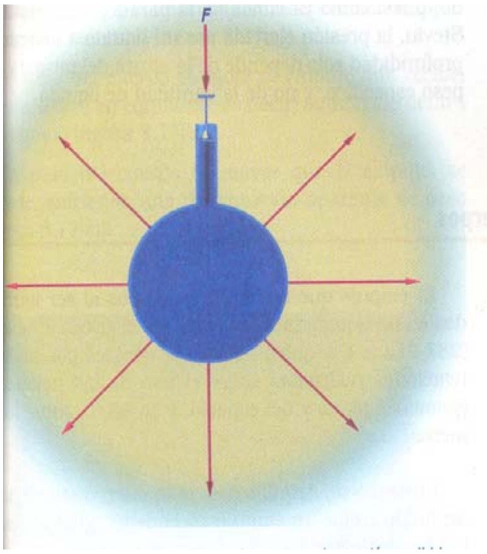
Fig. 8.12 La diferencia de alturas h determina la presión manométrica dentro del recipiente, medida en mm de Hg, o bien, en cm de Hg.

Otro tipo de manómetro muy empleado es el metálico, de tubo o de Bourdón, que funciona sin líquido; está constituido por un tubito elástico, en forma de espiral, cerrado por un extremo y por el otro recibe la presión que se desea medir, ésta distiende el tubito y su deformación elástica es trasmitida a una aguja que giraba sobre una circunferencia graduada.

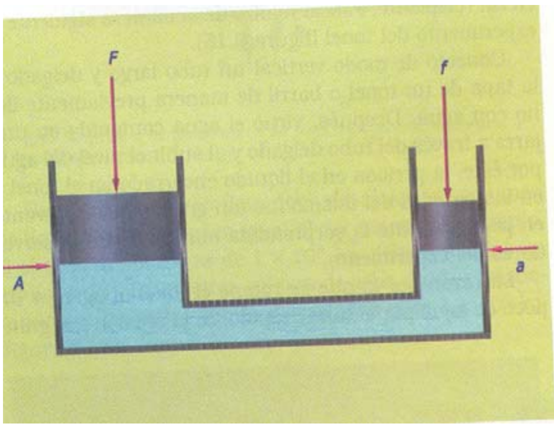
Principio de Pascal

Sabemos 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 gases y sólidos, son prácticamente

incompresibles. Esta observación fue hecha por el físico francés Blaise Pascal (1623-1662), quien enunció el siguiente principio que lleva su nombre:
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, perforada en diferentes lugares y provista de un émbolo. Al llenar la esfera con agua y ejercer presión sobre ella mediante el émbolo, se observa que el agua sale por todos los agujeros con la misma presión (fig. 8.13).



La prensa hidráulica es una de las aplicaciones del principio de Pascal. Consta esencialmente de dos cilindros de diferente diámetro, cada uno con su respectivo émbolo, unidos por medio de un tubo de comunicación.
Se llenan de líquido el tubo y los cilindros, y al aplicar una fuerza en el émbolo de menor tamaño la presión que genera se trasmite íntegramente al émbolo mayor. 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 (figura 8.14)



La presión en el émbolo menor está dada por la relación $\frac{f}{a}$ y en el émbolo mayor por $\frac{F}{A}$. De acuerdo con el principio de Pascal ambas presiones son iguales, por tanto, la fórmula para la prensa hidráulica es:

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$$

donde: F = fuerza obtenida en el émbolo mayor en newtons (*N*)

A=área en el émbolo mayor en metros cuadrados (m2).
f=fuerza obtenida en el émbolo menor en newtons (*N*).
a=área en el émbolo menor en metros cuadrados (m2).

La prensa hidráulica se utiliza en las estaciones de servicio, para levantar automóviles; en la industria, para comprimir algodón o tabaco; para extraer aceites de algunas semillas o jugos de algunas frutas. Los frenos hidráulicos de los automóviles también se basan en el del cilindro maestro transmite la presión recibida a los cilindros de cada rueda, mismos que abren las balatas para detener el giro de las ruedas.

Tonel de Pascal

Con base en su descubrimiento de la transmisión íntegra de cualquier presión hecha sobre un líquido encerrado en un recipiente, Pascal realizó de la manera siguiente el experimento del tonel (fig. 8.15).
Conectó de modo vertical un tubo largo y delgado a la tapa de un tonel o barril de manera previamente lleno con agua. Después, virtió el agua contenida en una jarra a través del tubo delgado y al subir el nivel del agua por éste, la presión en el líquido encerrado en el tonel y en las paredes del mismo fue tan grande que lo reventó en pedazos, ante la sorprendida mirada de los observadores del experimento.
La razón por la que se rompe el tonel al agregar un poco de agua por el tubo delgado, es la presión tan grande

Fig. 8.15 de Pascal. La presión ejercida por el peso del agua vertida en el tubo delgado es tan grande debido a la altura, que rompre el tonel o barril de madera.

que ejerce el agua contenida en el tubo al irse llenando, pues, como ya vimos en la paradoja hidrostática 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 de líquido.

Principio del Arquímedes y flotación de los cuerpos.

Cuando un cuerpo se sumerge en un líquido se observa que éste ejerce una presión vertical ascendente sobre él (figura 8.16).Lo anterior se comprueba al introducir un trozo de madera en agua; la madera es empujada hacia arriba, por ello se debe ejercer una fuerza hacia abajo si se desea mantenerla sumergida. De igual forma, hemos notado que al introducirnos en una alberca sentimos una aparente pérdida de peso a medida que nos aproximamos a la parte más honda, comenzando a flotar debido al empuje recibido por el agua.
El empuje que reciben los cuerpos al ser introducidos en un líquido fue estudiado por el griego Arquímedes (287-212ª.c.), quien además se destacó por sus investigaciones realizadas sobre el uso de las palancas, la geometría plana y del espacio, y su teoría sobre los números.
Principio de Arquímedes: todo cuerpo sumergido en un fluido recibe un empuje ascendente igual al peso del fluido desalojado.

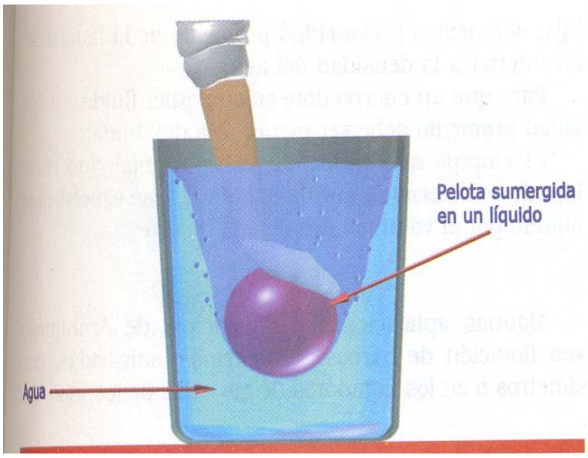


Fig.8.16 Cuando la pelota se introduce en un líquido éste ejerce una presión vertical ascendente sobre la pelota, por lo que se requiere ejercer una fuerza hacia abajo sobre ella para mantenerla sumergida.

En un cuerpo totalmente sumergido en un líquido, todos los puntos de su superficie reciben una presión hidrostática, que es mayor conforme aumenta la profundidad de un punto. 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 tendremos los siguientes casos:

1. Si el peso de un cuerpo es menor al empuje que recibe, flota porque desaloja menor cantidad de líquido que su volumen (fig. 8.17 (a)),
2. Si el peso del cuerpo es igual al empuje que recibe, permanecerá en equilibrio, es decir, sumergido dentro del líquido (figura 8.7(b)).
3. Si el peso del cuerpo es mayor que el empuje, se hunde, sufriendo una disminución aparente de peso (fig. 8.17).

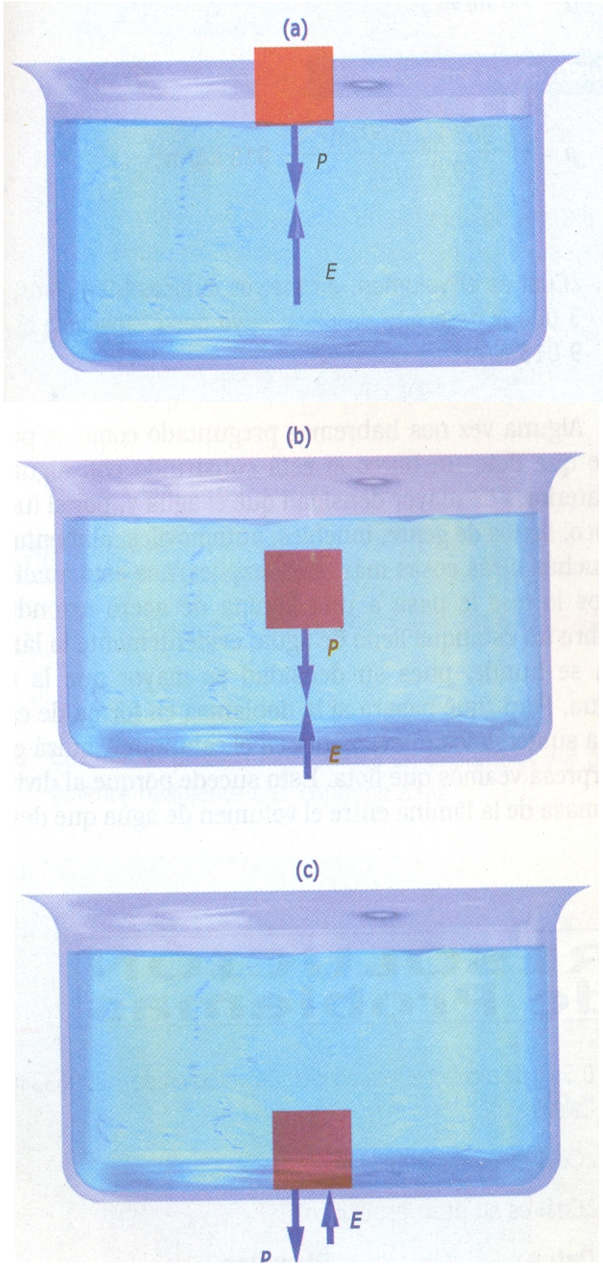


Fig.8.17 Flotación o hundimiento de un cuerpo en función de su peso y el empuje que recibe.

Para que un barco flote debe desalojar un volumen de líquido cuyo peso sea igual al del barco. Por ejemplo, si el peso del barco o es de 1 x 106 kg, debe desalojar un volumen de 1 000 metros cúbicos de agua dulce. Considerando que un metro cúbico de esa agua pesa 1 x 103 kg, (fig. 8.18) kg, (fig. 8.18).

Fig. 8.18 Para que un barco flote debe desalojar un volumen de líquido, cuyo peso sea igual al del barco.

Alguna vez nos habremos preguntado cómo es posible que flote un barco si está construido con algunos materiales de mayor densidad que el agua y, por sí fuera poco, lleno de gente, muebles, automóviles, alimentos y muchas otras cosas más. Para explicarnos esto analicemos lo que le pasa a una lámina de cero extendida sobre un estanque lleno de agua; evidentemente la lámina se hunde, pues su densidad es mayor que la del agua. Pero ¿qué pasará si la doblamos en forma de caja y la sumergimos nuevamente en el estanque?, quizá con sorpresa veamos que flota. Esto sucede porque al dividir la masa de la lámina entre el volumen de agua que desaloja, obtenemos la densidad promedio de la lámina, valor inferior a la densidad del agua.
Para que un cuerpo flote en cualquier fluido, su densidad promedio debe ser menor a la del fluido.
El empuje que recibe un cuerpo sumergido en un líquido se determina multiplicando el peso específico del líquido por el volumen desalojado de éste:

$$E = PeV$$

Algunas aplicaciones del principio de Arquímedes son flotación de barcos, submarinos, salvavidas, densímetros o en los flotadores de las cajas de los inodoros

RESOLUCIÓN de Problemas

1. 0.5 kg de alcohol etílico ocupan un volumen de 0.000633 m^3. Calcular:

a) ¿Cuál es su densidad?

b) ¿Cuál es su peso específico?

Datos	**Fórmulas**
$\rho = ?$	
$m = 0.5$ kg	a) $\rho = \frac{m}{V}$
$V = 0.000633\ m^3$	b) $Pe = \rho g$
$g = 9.8\ m/s^2$	
$Pe = ?$	

Sustitución y resultados

a) $\rho = \frac{m}{V} = \frac{0.5\ \text{kg}}{0.000633\ m^3} = \mathbf{789.88\ kg/m^3}$

b) $Pe = \rho g = 789.88\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 = \mathbf{7\ 740.92\ N/m^3}$

2. Calcular la masa y el peso de 15 000 litros de gasolina. Densidad de la gasolina 700 kg/m^3.

Datos	**Fórmulas**
$m = ?$	$\rho = \frac{m}{V} \therefore m = \rho V$
$P = ?$	
$V = 15\ 000$ litros	$P = mg$
$\rho = 700\ kg/m^3$	
$g = 9.8\ m/s^2$	

Conversión de unidades

$$15\ 000\ \text{litros} \times \frac{1\ m^3}{1\ 000\ \text{litros}} = 15\ m^3$$

Sustitución y resultado

$m = 700\ kg/m^3 \times 15\ m^3 = \mathbf{10\ 500\ kg}$

$P = 10\ 500\ kg \times 9.8\ m/s^2 = \mathbf{102\ 900\ N}$

3. ¿Cuál es la densidad de un aceite cuyo peso específico es de 8 967 N/m^3?

Datos	**Fórmula**
$\rho = ?$	$\rho = \frac{Pe}{g}$
$Pe = 8\ 967\ N/m^3$	
$g = 9.8\ m/s^2$	

Sustitución y resultado

$$\rho = \frac{8\ 967\ kg\ m/s^2/m^3}{9.8\ m/s^2} = \mathbf{915\ kg/m^3}$$

4. ¿Cuál es el volumen, en metros cúbicos y en litros, de 3 000 N de aceite de oliva, cuyo peso específico es de 9 016 N/m^3?

Datos

$V = ?$

$P = 3\ 000\ N$

$Pe = 9\ 016\ N/m^3$

Fórmula

$$Pe = \frac{P}{V} \therefore V = \frac{P}{Pe}$$

Sustitución y Resultados

$$V = \frac{3\ 000\ N}{9\ 016\ N/m^3} = \mathbf{0.333\ m^3}$$

$$V = 0.333\ m^3 \times \frac{1\ 000\ \text{litros}}{1\ m^3} = \mathbf{333\ litros}$$

5. Sobre un líquido encerrado en un recipiente se aplica una fuerza de 60 N mediante un pistón de área igual a 0.01 m^2. ¿Cuál es el valor de la presión?

Datos

$F = 60\ N$

$A = 0.01\ m^2$

$P = ?$

Fórmula

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

Sustitución y resultados

$$P = \frac{60\ N}{0.01\ m^2} = \mathbf{6\ 000\ N/m^2}$$

6. Calcular la fuerza que debe aplicarse sobre un área de 0.3 m^2 para que exista una presión de 420 N/m^2.

Datos

$F = ?$

$A = 0.3\ m^2$

$P = 420\ N/m^2$

Fórmula

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

Sustitución y resultado

$$F = 420\ N/m^2 \times 0.3\ m^2 = \mathbf{126\ N}$$

7. Calcular la presión hidrostática en el fondo de una alberca de 5 m de profundidad, si la densidad del agua es de 1 000 kg/m^3.

Datos

$P_h = ?$

$h = 5\ m$

$\rho_{H_2O} = 1\ 000\ kg/m^3$

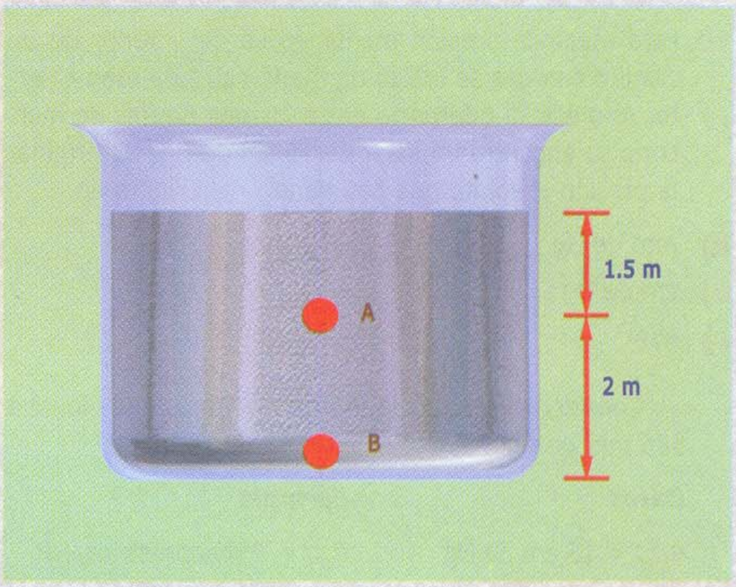
Fórmula

$$P_h = Peh = \rho gh$$

Sustitución y resultados

$$P_h = 1\ 000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 \times 5\ m = \mathbf{49\ 000\ N/m^2}$$

8. Calcular la presión hidrostática en el punto A y B del siguiente recipiente que contiene agua:



Datos

Punto A: $h = 1.5$ m, $P_h = ?$

Punto B: $h = 3.5$ m, $P_h = ?$

$\rho_{H_2O} = 1\ 000\ kg/m^3$

Fórmula

$$P_h = Peh = \rho gh$$

Sustitución y resultados

Punto A: $P_h = 1\ 000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 \times 1.5\ m = \mathbf{14\ 700\ N/m^2}$

Punto B: $P_h = 1\ 000\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2 \times 3.5\ m = \mathbf{34\ 300\ N/m^2}$

9. Calcular la profundidad a la que se encuentra sumergido un submarino en el mar, cuando soporta una presión hidrostática de $8 \times 10^6\ N/m^2$. La densidad del agua de mar es de 1 020 kg/m^3.

Datos

$h = ?$

Fórmula

$$P_h = \rho gh$$

$P_h = 8 \times 10^6\ N/m^2 \qquad \therefore h = \dfrac{P_h}{\rho g}$

$\rho_{H_2O \text{ de mar}} = 1\ 020\ kg/m^3$

Sustitución y resultado

$$h = \frac{8 \times 10^6\ N/m^2}{1.02 \times 10^3\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2} = 0.8 \times 10^3\ m$$

$= \mathbf{800\ m}$

10. Para medir la presión manométrica del interior de un cilindro con gas se utilizó un manómetro de tubo abierto. Al medir la diferencia entre los dos niveles de mercurio se encontró un valor de 15 cm de Hg. Determinar la presión absoluta que hay dentro del cilindro en:

a) mm de Hg

b) cm de Hg

c) N/m^2

Considerar el valor de la presión atmosférica igual a 586 mm de Hg.

Datos	Fórmula
$P_{man} = 15$ cm de Hg	$P_{abs} = P$ manométrica + P atmosférica
$P_{abs} = ?$	
$P_{atm} = 586$ mm de Hg	

Sustitución y resultados

a) $P_{abs} = 150$ mm de Hg + 586 mm de Hg

$= \mathbf{736\ mm\ de\ Hg}$

b) $P_{abs} = \mathbf{73.6\ cm\ de\ Hg}$

c) $P_{abs} = 73.6 \text{ cm de Hg} \times \dfrac{1\ 332\ N/m^2}{1 \text{ cm de Hg}} = \mathbf{98\ 035.2\ N/m^2}$

11. Se bombea agua con una presión de $25 \times 10^4\ N/m^2$. ¿Cuál será la altura máxima a la que puede subir el agua por la tubería si se desprecian las pérdidas de presión?

Datos	Fórmula
$P = 25 \times 10^4\ N/m^2$	$P = Peh = \rho gh$
$h = ?$	$\therefore h = \dfrac{P}{\rho g}$
$\rho_{H_2O} = 1\ 000\ kg/m^3$	

Sustitución y resultado

$$h = \frac{25 \times 10^4\ N/m^2}{1 \times 10^3\ kg/m^3 \times 9.8\ m/s^2} = \mathbf{25.5\ m}$$

12. ¿Qué fuerza se obtendrá en el émbolo mayor de una prensa hidráulica cuya área es de 100 cm², cuando en el émbolo menor de área igual a 15 cm² se aplica una fuerza de 200 N?

Datos	Fórmula
$F = ?$	$\dfrac{F}{A} = \dfrac{f}{a} \therefore F = \dfrac{fA}{a}$
$A = 100\ cm^2$	
$a = 15\ cm^2$	
$f = 200\ N$	

Sustitución y resultado

$$F = \frac{200\ N \times 100\ cm^2}{15\ cm^2} = \mathbf{1\ 333.33\ N}$$

13. Calcular la fuerza que se obtendrá en el émbolo mayor de una prensa hidráulica de un diámetro de 20 cm, si en el émbolo menor de 8 cm se ejerce una fuerza de 150 N.

Datos	Fórmula
$F = ?$	$\dfrac{F}{A} = \dfrac{f}{a} \therefore F = \dfrac{fA}{a}$
$D = 20$ cm	
$d = 8$ cm	
$f = 150\ N$	

como área $= \pi r^2$

$2r = D;\ r = \dfrac{D}{2}$

Sustitución y resultado

$$r = \frac{20\ cm}{2} = 10\ cm$$

$$F = \frac{150\ N \times \pi\ (10\ cm)^2}{\pi\ (4\ cm)^2} = \mathbf{937.5\ N}$$

14. Calcular el diámetro que debe tener el émbolo mayor de una prensa hidráulica para obtener una fuerza de 2 000 N, cuando el émbolo menor tiene un diámetro de 10 cm y se aplica una fuerza de 100 N.

Datos

$D = ?$

$F = 2\,000\ N$

$d = 10\ \text{cm}$

$f = 100\ N$

Fórmulas

$$\frac{F}{A} = \frac{f}{a}$$

$$a = \pi r^2$$

donde:

$$\frac{F}{\pi R^2} = \frac{f}{\pi r^2}$$

$$\therefore R = \sqrt{\frac{F\pi r^2}{f\pi}}$$

Sustitución y resultado

$$R = \sqrt{\frac{2\,000\ N\,(5\ \text{cm})^2}{100\ N}} = 22.36\ \text{cm}$$

$$D = 2R = 2\,(22.36\ \text{cm}) = \mathbf{44.72\ cm}$$

15. Un cubo de acero de 20 cm de arista se sumerge totalmente en agua. Si tiene un peso de 564.48 N, calcular:

a) ¿Qué empuje recibe?

b) ¿Cuál será el peso aparente del cubo?

Datos

$\ell = 20\ \text{cm} = 0.2\ \text{m}$

Peso del cubo $= 564.48\ N$

a) $E = ?$

b) $P_{\text{aparente del cubo}} = ?$

$Pe_{H_2O} = 9\,800\ N/m^3$

Fórmulas

$V = \ell^3$

a) $E = PeV$

b) $P_{\text{aparente}} = P - E$

Sustitución y resultados

a) $V_{\text{cubo}} = V_{H_2O\ \text{desalojada}} = (0.2\ \text{m})^3 = 0.008\ \text{m}^3$

$$E = PeV = 9\,800\ N/m^3 \times 0.008\ m^3 = \mathbf{78.4\ N}$$

b) $P_{\text{aparente}} = 564.48\ N - 78.4\ N = \mathbf{486.08\ N}$

ejercicios propuestos

1. 1 500 kg de plomo ocupan un volumen de 0.13 274 m^3. ¿Cuánto vale su densidad?

Respuesta:

$\rho = 11\,300\ \text{kg/m}^3$

2. ¿Cuál es la masa y el peso de 10 litros de mercurio?

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

Respuesta:

$m = 136\ \text{kg}$

$P = 1\,332.8\ N$

3. Calcular el peso específico del oro, cuya densidad es de 19 300 kg/m^3.

Respuesta:

$Pe = 189\,140\ N/m^3$

4. ¿Qué volumen en metros cúbicos y litros ocuparán 1 000 kg de alcohol con una densidad de 790 kg/m^3?

Respuesta:

$V = 1.266\ \text{m}^3 = 1\,266$ litros

5. Cuál es la presión que se aplica sobre un líquido encerrado en un tanque, por medio de un pistón que tiene un área de 0.02 m^2 y aplica una fuerza de 100 N.

Respuesta:

$P = 5\,000\ N/m^2$

6. Calcular el área sobre la cual debe aplicarse una fuerza de 150 N para que exista una presión de 2 000 N/m^2.

Respuesta:

$A = 0.075\ \text{m}^2$

7. Determine la presión hidrostática que existirá en una prensa hidráulica a una profundidad de 3 y 6 m, respectivamente.

Dato: $\rho_{H_2O} = 1\,000\ \text{kg/m}^3$

1.2. Hidrodinámica

Concepto de hidrodinámica y sus aplicaciones

La hidrodinámica es la parte e la hidráulica que estudia el comportamiento de los líquidos en movimiento. Para ello considera, entre otras cosas: la velocidad, la presión, el flujo y el gasto del líquido.

En el estudio de la hidrodinámica, el teorema de Bernoulli, que trata de la Ley de la Conservación de la Energía, es de primordial importancia, pues señala que la suma de las energías cinética, potencial y de presión de un líquido en movimiento en un punto determinado es igual a la de otro punto cualquiera. La mecánica de los fluidos estudia las características de un fluido viscoso en el cual se presenta fricción. Un fluido es compresible cuando su densidad varía de acuerdo con la presión que recibe; tal es el caso del aire y otros gases estudiados por la aerodinámica. La hidrodinámica investiga fundamentalmente a los fluidos incomprensibles, es decir, a los líquidos, pues su densidad casi no varía cuando cambia la presión ejercida sobre ellos.

Cuando un fluido se encuentra en movimiento, una capa de dicho fluido ejerce resistencia al movimiento de otra capa que se encuentre paralela y adyacente a ella; a esta resistencia se le llama viscosidad.

Para que un fluido como el agua, petróleo o gasolina fluya por una tubería desde la fuente de abastecimientos hasta los lugares de consumo, es necesario utilizar bombas, ya que sin ellas, las fuerzas que se oponen al desplazamiento entre las distintas capas del fluido lo impedirían.

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, como puede ser el aire, agua, aceite, etc., experimenta una resistencia que se opone a su movimiento, es decir, se presenta una fuerza en sentido contrario al movimiento del cuerpo. Dicha fuerza recibe el nombre de fuerza de fricción viscosa, y depende de la velocidad del sólido, de la viscosidad del fluido, así como la forma o figura geométrica del cuerpo.

La aerodinámica estudia las formas más adecuadas para que el móvil que se proyecta construir disminuya la fuerza de fricción viscosa del aire en las mejores condiciones. Si se trata de un avión, los estudios y ensayos aerodinámicos determinarán las formas que, además de garantizar la seguridad del vuelo, contribuirán a transportar la mayor carga posible en las condiciones más económicas y con mayor rapidez que se pueda lograr. Al construir lanchas, barcos de vela, de pasajeros o militares, se buscan las formas más adecuadas, ya sean curvadas o lisas, que reduzca la fuerza de fricción viscosa del agua.

Aplicaciones de la hidrodinámica

Las aplicaciones de la hidrodinámica se evidencias en el diseño de canales, puertos, presas, cascos de los barcos, hélices, turbinas y ductos en general.

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

1.- Los líquidos completamente incompresibles.
2.- Se considera despreciable la viscosidad.

Es decir, se supone que los líquidos son ideales, por ello no presentan resistencia al flujo, lo cual permite despreciar las pérdidas de energía mecánica producidas por su viscosidad; pues, como sabemos, durante el movimiento ésta genera fuerzas tangenciales entre las diferentes capas de un líquido.

3.- 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 figura 1 se observa la trayectoria seguida por la partícula de un líquido, esto es, su línea de corriente al pasar por el punto A.

Línea de corriente que sigue la partícula
de un líquido al pasar por el punto A.

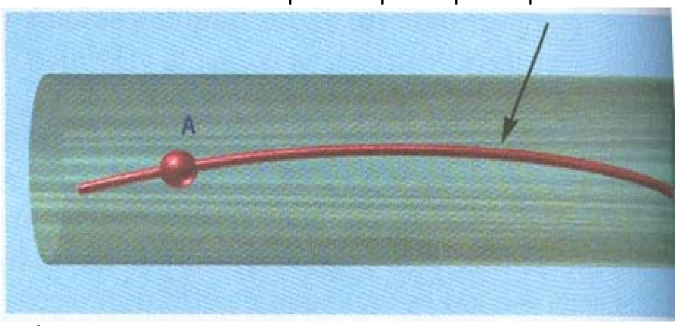


Fig. 1 La partícula del líquido que pasa por el punto A lleva cierta velocidad; si cualquier partícula que pase por el punto a lo hace con la misma velocidad y trayectoria o línea de corriente, el flujo es estacionario o de régimen estable

Gasto, flujo y ecuación de continuidad

Gasto

Cuando un líquido fluye a través de una tubería, es muy común hablar de su gasto, que por definición es: la relación existente entre el volumen de líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.

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

Donde: G = gasto en m^3/s
V = volumen del líquido que fluye en metros cúbicos (m^3)
t = tiempo que tarda en fluir el líquido en segundos (s)

El gasto también puede calcularse si se conoce la velocidad del líquido el área de la sección transversal de la tubería. Veamos la figura 2.

Para conocer el volumen de líquido que pasa del punto 1 al 2 de la tubería, basta multiplicar entre sí el área, la velocidad del líquido y el tiempo que tarda en pasar por los puntos:

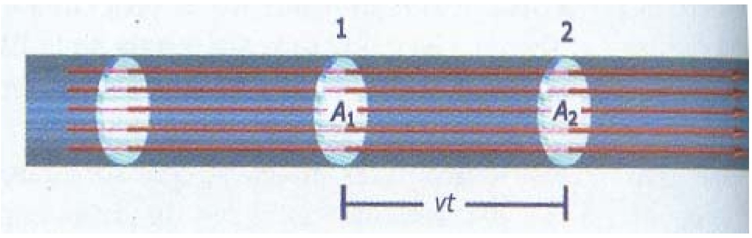


Fig. 2 El volumen del líquido que fluye por la tubería es igual a: V = Avt.

$V = Avt$ ……………………………………(1)

Y como

$G = \frac{V}{t}$ ………………………………………(2)

Sustituyendo 1 en 2:

$$G = \frac{Avt}{t}$$

$$G = Av$$

Donde:

G = gasto en m^3/s
A = área de la sección transversal del tubo en metros cuadrados (m^2)
v = velocidad del líquido en m/s

El Sistema CGS el gasto se mide en cm^3/s o bien, en unidades prácticas como litros/s.

Flujo

Se define como la cantidad de masa del líquido que fluye a través de una tubería en un segundo.

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

Donde: F = flujo en kg/s
m = masa del líquido que fluye en kilogramos (kg)
t = tiempo que tarda en fluir en segundos (s)

Como la densidad de un cuerpo s la relación entre su masa y volumen tenemos:

$\boldsymbol{p} = \underline{m}$ . ... (1)

$\therefore m = \boldsymbol{p}V$ . . . . (2)

Por lo que el flujo será:

$F = \dfrac{\boldsymbol{p}V}{t}$ . . . .(3)

y como

$G = \dfrac{V}{t}$ . . . . (4)

Sustituyendo 4 en 3:

$F = G\boldsymbol{p}$

Donde: F = flujo en kg/s
G = gasto en m^3/s
p = densidad en kg/ m^3

Ecuación de continuidad

Para comprender el significado de esta ecuación veamos la figura 3.

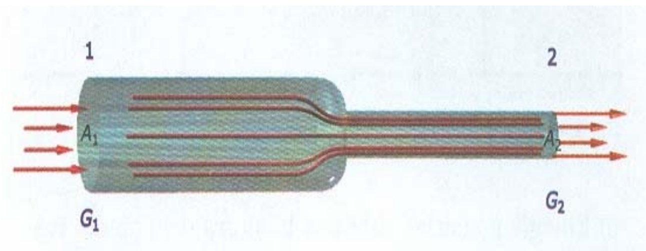


Fig. 3 La cantidad de líquido que pasa por el punto 1 es la misma que pasa por el punto 2, por lo tanto $G_1 = G_2$, o bien $A_1V_1 = A_2V_2$: (ecuación de continuidad)

La tubería de la figura 9.3 reduce de manera considerable su sección transversal entre los puntos 1 y 2. Sin embargo, entre la cantidad de líquido que pasa por los puntos 1 considerando que son incompresibles, evidentemente y 2 es la misma. Para ello, en el tubo de mayor sección transversal, la velocidad del líquido es menor a la que adquiere al pasar al punto 2, donde la reducción del área se compensa con el aumento en la velocidad del líquido. Por tanto, el gasto en el punto 1 es igual al gasto en el punto 2.

$G_1 = G_2 =$ constante
$A_1 v_1 = A_2 v_2$ Ecuación de continuidad

Teorema de Bernoulli

El físico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782), al estudiar el comportamiento de los líquidos, descubrió que la presión de un líquido que fluye por una tubería es baja si su velocidad es alta y por el contrario, es alta si su velocidad es baja. Por lo tanto, la Ley de la Conservación de la Energía también se cumple cuando los líquidos están en movimiento. Con base en sus estudios. Bernoulli enunció el siguiente teorema que lleva su nombre:

En un líquido ideal cuyo flujo es estacionario, la suma de las energías cinética, potencial y de presión que tiene el líquido en un punto, es igual a la suma de estas energías en otro punto cualquiera (figura 4).

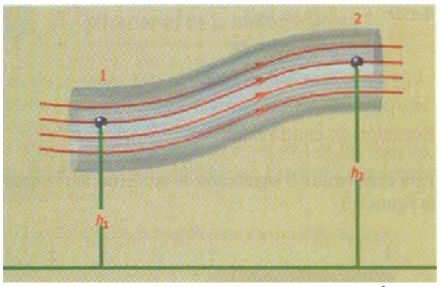


Fig. 4 El teorema de Bernoulli se basa en la Ley de la Conservación de la Energía, por ello, en el punto 1 y 2 ésta es la misma.

El líquido posee, tanto en el punto 1 como en el 2, tres tipos de energía:

a) Energía cinética, debido a la velocidad y a la masa del líquido: $Ec = \frac{1}{2} mv^2$
b) Energía potencial, debido a la altura del líquido, respecto a un punto de referencia: $Ep = mgh$.
c) Energía de presión, originada por la presión que las moléculas del líquido ejercen entre sí, por lo cual, el trabajo realizado para el desplazamiento de las moléculas es igual a la energía de presión. Para comprender la expresión matemática de esta energía, Veamos la figura 5.

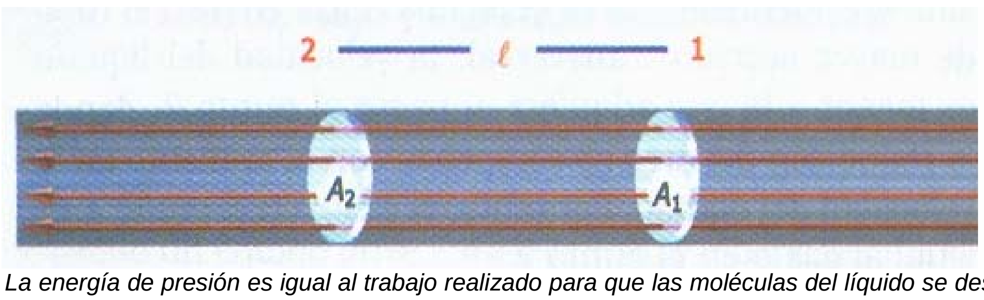


Fig. 5 La energía de presión es igual al trabajo realizado para que las moléculas del líquido se desplacen del punto 1 al 2, una distancia l originada por la fuerza de la presión entre una molécula y otra.

Puesto que la energía de presión es igual al trabajo realizado, tenemos:

$E_{presión} = T = F\,\ell$……………………. (1)

Como

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

$\therefore F = PA$…………………………… (2)

Sustituyendo 2 en 1:

$E_{presión} = PA\,l$……………………… (3)

El área de la sección transversal del tubo multiplicada por la distancia ℓ recorrida por el líquido nos da el volumen de éste que pasa del punto 1 al 2, $A\ell = V$, de donde la ecuación 1 queda:

$E_{presión} = PV$. . . . . (4)

$\mathbf{p} = \frac{m}{V}$

$\therefore V = \frac{m}{\mathbf{p}}$…………………….. (5)

Sustituyendo 5 en 4:

$E_{presión} = P\,\frac{m}{p}$

Donde: $E_{presión}$ = energía de presión en joules (J)

P = presión en N/m^2
m = masa del líquido en kilogramos (kg)
p = densidad del líquido en kg/m^3

Así, de acuerdo con el teorema de Bernoulli, la suma de las energías cinética, potencial y de presión en el punto 1 es igual a la suma de estas energías en el punto 2 (figura 9.4):

$Ec_1 + Ep_1 + E_{presión1} = Ec_2 + Ep_2 + E_{presión2}$

al sustituir dichas energías por sus respectivas expresiones, tenemos:

$\frac{1}{2} mv_1^2 + mgh_1 + \frac{P1m}{P_1}\ \frac{1}{2}\ mv2^2 + mgh_2 + \frac{P_2m}{P_1}$

Si dividimos la expresión anterior entre la masa se obtiene la ecuación correspondiente al teorema de Bernoulli, para expresar la energía por unidad de masa:

$$\frac{v_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\mathbf{P}_1} = \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\mathbf{P}_2}$$

Aunque el teorema de Bernoulli parte e la consideración de que el líquido es ideal (por lo cual se desprecian las pérdidas de energía causadas por la viscosidad de todo líquido en movimiento), su ecuación permite resolver con facilidad muchos problemas sin incurrir en errores graves por despreciar esas pérdidas de energía, pues resultan insignificantes comparadas con las otras energías.

Aplicaciones del Teorema de Bernoulli

El descubrimiento de Bernoulli: a medida que es mayor la velocidad de un fluido, menor es su presión y viceversa, ha permitido al hombre encontrarle varias aplicaciones prácticas, algunas de las cuales explicaremos en las siguientes secciones; pero antes de ello le sugerimos realizar el siguiente experimento para comprobar que la presión disminuye al aumentar la velocidad: coloque un embudo en posición invertida junto a un grifo de agua, como se ve en la figura 6, abra la llave de tal forma que salga un chorro regular de agua. Coloque una pelota de tenis de mesa hasta el fondo del embudo y suéltela, observará que queda suspendida en la corriente de agua sin caer. Esto sucede porque al fluir el agua y encontrarse con el obstáculo de la pelota, aumenta su velocidad al pasar alrededor de ella disminuyendo su presión. La pelota no cae, pues recibe la presión que la atmósfera ejerce sobre ella y ésta es mayor que la presión del agua.

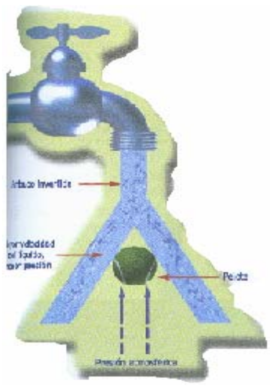


Fig. 6 Demostración de que la presión disminuye al aumentar la velocidad de un fluido.

Ahora, realice lo siguiente: sostenga una hoja de papel como se observa en la figura 7 y sople fuertemente encima de ella. Observe que al soplar sobre la hoja se provoca una corriente de aire, por lo que al aumentar la velocidad de éste, disminuye la presión sobre la hoja y la presión atmosférica empuja la hoja hacia arriba.

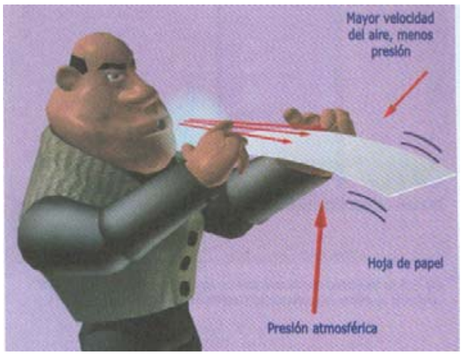


Fig. 7 La presión encima de la hoja disminuye cuando al soplar sobre ella se incrementa la velocidad del aire

Es importante reflexionar que al aumentar la velocidad de un luido, la presión que se reduce es la que el fluido ejerce sobre el ducto o tubería por la que circula, ya que la presión que ejerce los cuerpos u objetos que se interponen en su camino tiene un valor que puede ser bastante considerable. Por ejemplo: al utilizar una manguera por la que circula agua e insertarle otra manguera de menor diámetro, en esta parte, el agua aumentará su velocidad y disminuirá sus presión, pero al dirigir el chorro sobre algunos cuerpos se observará que la presión que reciben es mayor que sino se le hubiera insertado la manguera de menor diámetro.

Teorema de Torricelli

Una aplicación del teorema de Bernoulli se tiene cuando se desea conocer la velocidad de salida de un líquido a través de un orificio en un recipiente, como el ilustrado en la figura 9.8.

Aplicando la ecuación del teorema de Bernoulli, para el punto 1 ubicado sobre la superficie libre del líquido (figura 8) y para el punto 2 localizado en el fondo del recipiente donde se encuentra el orificio de salida, tenemos:

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{gh_1}{\mathbf{P}_1} + \frac{P_1}{2} = v_2^2 + \frac{gh_2}{\mathbf{P}_2} + P_2$$

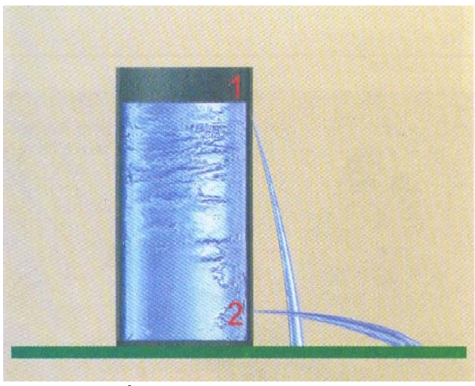


Fig. 8 La velocidad con la que sale un líquido por un orificio es mayor conforme aumenta la profundidad (teorema de Torricelli)

Sin embargo podemos hacer las siguientes consideraciones:

1. Como la velocidad del líquido en el punto 1 es despreciable si la comparamos con la velocidad de salida del líquido en el punto 2, se puede eliminar el término correspondiente a la energía cinética en el punto 1, es decir: $\frac{v_1^2}{2}$
2. Como el punto 2 se encuentra en el fondo del recipiente, a una altura cero sobre la superficie, podemos eliminar el término que indica la energía potencial en el punto 2, esto es : gh_2

Como la energía de presión es provocada por la presión atmosférica y ésta es la misma en los dos puntos, se pueden eliminar los términos que corresponden a la energía de presión en dichos puntos, esto es: $\frac{P_1}{P_1}$ *y* $\frac{P_2}{P_2}$

De acuerdo con lo antes señalado, de la ecuación de Bernoulli solo quedan los siguientes términos: $Gh_1 = \frac{V_2^2}{2}$

Puesto que deseamos calcular la velocidad de salida en el orificio, la despejamos de la ecuación anterior:

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

Donde: v = velocidad del liquido por el orificio en m/s
g = aceleración de la gravedad
= 9.8 m/s
h = profundidad a la que se encuentra el orificio de salida en metros (m)

La ecuación anterior fue desarrollada por el físico italiano evangelista Torricelli (1608 – 1647), quien enuncio el siguiente teorema que lleva su nombre:

La velocidad con la que sale un líquido por el orificio de un recipiente, es igual a la que adquiriría un cuerpo que se dejara caer libremente desde la superficie libre del líquido hasta el nivel del orificio.

Tubo de Pilot

Para medir de una forma sencilla la velocidad e la corriente de un rió se usa el llamado tubo de Pilot, figura 9. La forma del tubo es la de una L; al introducirlo en la corriente, por la presion de esta, el agua se elevara a cierta altura sobre la superficie. Conociendo dicha altura, la velocidad de la corriente puede calcularse si se emplea la formula del teorema de Torrielli:

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

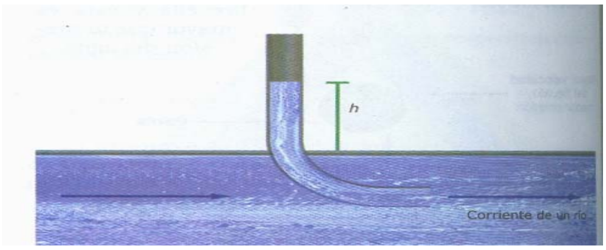


Fig. 9 La altura que alcanzará el agua en el tubo de Pilot sobre la superficie aumentará si es mayor la velocidad.

Tubo de Venturi

El tubo de Ventura se emplea para medir la velocidad de un líquido que circula a presión dentro de una tubería.
Su funcionamiento se basa también en le teorema de Bernoulli. Dicho tubo tiene un estrechamiento como se aprecia en la figura 10, cuando el líquido pasa por esta sección aumenta su velocidad pero disminuye su presión. Al medir la presión en la parte ancha y en la parte estrecha, por medio de dos manómetros acoplados en esos punto, y conociendo el valor de las áreas de sus respectivas secciones trasversales, se puede calcular la velocidad del Liquido a través de la tubería por la cual circula, si se utiliza la siguiente expresión, obtenida a partir de la ecuación de Bernoulli.

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

Donde V_A = velocidad del liquido a través de la tubería en m/s
P_A = presión del liquido en la parte ancha del tubo en N/m^2
P_B = presión del liquido en el estrechamiento del tubo de ventura en N/m^2
P = densidad del liquido en kg/m^3
A_A = área de la sección transversal de la parte ancha del tubo en metros cuadrados (m^2)
A_B = área de la sección trasversal en el estrechamiento del tubo en metros cuadrados (m^2)

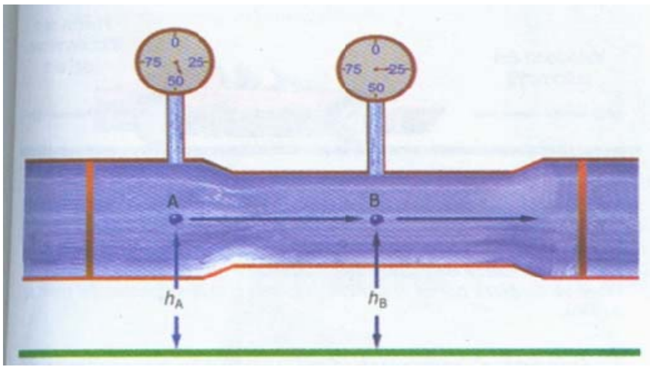


Fig. 10 Al intercalar un tubo de venturi en una tubería, la velocidad del líquido se determina por la disminución de la presión en el punto B, ocasionada por el aumento de velocidad al reducirse el área en el estrechamiento.

Por considerarlo de interés, haremos la deducción de la ecuación usada para calcular la velocidad en el tubo de Venturi:

De acuerdo con la ecuación de Bernoulli, la suma de las energías cinética, potencial y de presión en el punto A y B de la figura 10 es:

$$\frac{v_A^2}{2} + gh_A + \frac{P_A}{\mathbf{P}} = \frac{v_B^2}{2} + gh_B + \frac{P_B}{\mathbf{P}} \quad \ldots\ldots (1)$$

Como la altura a la que se encuentra el punto A y el B es la misma, podemos eliminar los términos correspondientes a su energía potencial, gh_A *y* gh_B, por lo que la ecuación 1 queda:

$$\frac{v_A^2}{2} + \frac{P_A}{\mathbf{P}} = \frac{v_B^2}{2} + \frac{P_B}{\mathbf{P}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Reagrupando términos:

$$\frac{P_A}{\mathbf{P}} - \frac{P_B}{\mathbf{P}} = \frac{v_B^2}{\mathbf{2}} - \frac{v_A^2}{\mathbf{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Multiplicando por 2 la ecuación 3:

$$2\left(\frac{P_A}{\mathbf{P}} - \frac{P_B}{\mathbf{P}}\right) = \left(2\ \frac{v_B^{\ 2}}{\mathbf{2}}\right) - \frac{v_A^{\ 2}}{\mathbf{2}}$$

Obtenemos:

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

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

$G_A = G_B$

Esto es:

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

$$\therefore v_B = \frac{v_A A_A}{A_B} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (6)$$

Sustituyendo la ecuación 6 en la 4:

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

Que es igual a:

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

Utilizando como factor común a $v_A^{\ 2}$:

$$\frac{2}{\rho}\ (P_A - P_B) = \left(\underline{A_A}^{\ 2} - 1\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (8)$$

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 del tubo de Ventura.

Otra aplicación interesante del teorema de Bernoulli se tiene en la fuerza de sustentación que permite el vuelo de los aviones; al observar la forma del ala de un avión, notamos que su cara superior es curvada y la inferior plana. Cuando el avión está en movimiento, la velocidad del aire que pasa por la superficie del ala es mayor que la que pasa por la parte inferior par no retrasarse con respecto a la demás masa de aire (figura 11). Este aumento de velocidad en esa cara, por eso, 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.

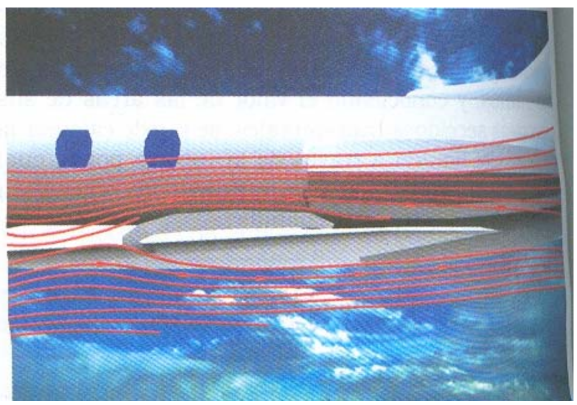


Fig. 11 La fuerza de sustentación que se genera al ser mayor la presión en la parte inferior del ala, permite que un avión se eleve.

Movimiento de los cuerpos sólidos en los fluidos

Cuando un cuerpo sólido se mueve en un fluido, como puede ser aire, agua, aceite, etc., experimenta una resistencia que se opone a su movimiento, es decir, se presenta una fuerza en sentido contrario al de movimiento del cuerpo. Dicha fuerza recibe el nombre de fuerza de fricción viscosa, y depende de la velocidad del sólido, de la viscosidad del fluido, así como de la forma o figura geométrica del cuerpo. Por tanto, si una personal se mueve en una motocicleta, recibirá una mayor fuerza viscosa si viaja a 70 km/h que si va a 50 km/h. Si se desplaza en una alberca, la fuerza viscosa será mayor que si se desplaza en el aire, ya que la viscosidad de éste es menor a la del agua. Finalmente, la fuerza viscosa que recibe un automóvil que viaje a 70 km/h será menor a la fuerza viscosa sobre un camión que viaje a la misma velocidad, debido a que, por su forma, éste presenta una mayor resistencia que se opone a su movimiento al estar expuesto al contacto con el aire.

Un automóvil que se desplaza a una velocidad de 100 km/h consume hasta 30% de la potencia del motor para vencer la resistencia del aire, es decir, su fuerza de fricción viscosa, misma que se incrementa en una relación directamente proporcional con el cuadrado de su velocidad, de tal manera que si la velocidad del automóvil se duplica, la fuerza de fricción viscosa se cuadruplica (figura 12). También, por supuesto, se incrementa el consumo de gasolina.

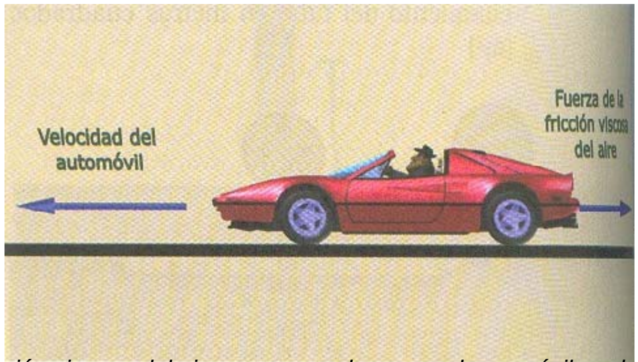


Fig. 12 La fuerza de fricción viscosa del aire que se produce cuando un móvil se desplaza por él, cuadruplica su valor, si la velocidad del móvil se duplica.

Cuando el movimiento de un fluido se presenta de manera desordenada, el desplazamiento de sus capas, no sigue trayectorias paralelas, por lo que describe trayectorias sinuosas, produciéndose las llamadas turbulencias. En los aviones, trenes, automóviles y todo tipo de vehículos aéreos o terrestres, se estudian cuidadosamente las mejores posibilidades de reducir que su paso por el aire produzca turbulencia, y con ello, una intensa fuerza de fricción viscosa (figura 13).

Fig. 13 Los aviones se diseñan de tal manera que durante su vuelo se reduzca la fuerza de fricción viscosa del aire.

La aerodinámica es la ciencia que estudia los fenómenos producidos por el movimiento relativo del aire y de un cuerpo fijo o móvil en su seno. La aerodinámica estudia las formas más adecuadas para que el móvil que se proyecta construir disminuya la fuerza de fricción viscosa del aire. Si se trata de un avión, los estudios y ensayos aerodinámicos determinarán las formas que,

además de garantizar la seguridad del vuelo, contribuirán a transportar la mayor carga posible en las condiciones más económicas y con la mayor rapidez posible. Al construir lanchas, barcos de velas, de pasajeros, o militares, se buscan las formas más adecuadas, ya sean curvadas o lisas, que reduzcan la fuerza de fricción viscosa del agua (figura 14).

Fig. 15 Para alcanzar una mayor velocidad, los esquiadores estudian y practican la postura que deben mantener para reducir la fuerza de fricción viscosa del aire.

En lo relativo a los deportes, también se aplica la aerodinámica, no solo en carreras de autos o en regatas de barcos de vela, sino también para determinar por medio de túneles aerodinámicos la postura más conveniente de los esquiadores (figura 15)

Fig. 14 Para reproducir la fuerza de fricción viscosa del agua, los barcos se construyen dándoles las formas más convenientes.

Problemas resueltos de hidrodinámica

1.- Calcular el gasto de agua por una tubería al circular 1.5 m^3 en ¼ de minuto.

Datos

G = ?

$V = 1.5\ m^3$

$t = 15\ s$

Fórmula

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

Sustitución y resultado

$$G = \frac{1.5\ m^3}{15\ s} = \mathbf{0.1\ m^3/s}$$

2.- Calcular el tiempo que tardará en llenarse un tanque cuya capacidad es de 10 m^3 al suministrarle un gasto de 40 ℓ /s.

Datos

t = ?

$V = 10\ m^3$

$G = 40\ \ell/s.$

Fórmula

$$G = \frac{V}{t} \quad \therefore \quad \frac{V}{G}$$

Conversión de unidades

$$40\ \frac{\ell}{s} \times \frac{1\ m^3}{1\ 000\ \ell} = 0.04\ m^3/s$$

Sustitución y resultado

$$t = \frac{10\ m3}{0.04\ m^3/s} = \mathbf{250\ s}$$

3.- Calcular el gasto de agua por una tubería de diámetro igual 5.08 cm, cuando la velocidad del Líquido es de 4 m/s.

Datos

G = ?

d **=** 5.08 cm = 0.0508 m

v = 4 m/s

Fórmula

$G = vA$

$A = \frac{\pi d^2}{4}$

Calculo de área

$A = \frac{3.1416}{4}(0.0508)^2 = 0.002\ m^2$

Sustitución y resultado

$G = 4\ m/s \times 0.002\ m^2 = \mathbf{0.0008\ m^3/s}$

4.- Determinar el diámetro que debe tener una tubería, para que el gasto de agua sea de 0.3 m^3/s a una velocidad de 8 m/s.

Datos

d = ?

G = 0.3 m^3/s

v = 8 m/s.

Fórmula

$G = vA \therefore A = \frac{G}{v}$

$A = \frac{\pi d^2}{4} \therefore d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$

Sustitución y resultado

$A = \frac{0.3\ m^3/s}{8\ m/s} = 0.0375\ m^2$

$d = \sqrt{\frac{4 \times 0.0375\ m^2}{3.1416}} = \mathbf{0.218\ m}$

5.- Por una tubería fluyen 1 800 litros de agua en un minuto, Calcular:

a) El gasto
b) El flujo

La densidad del agua es 1 000 kg/ m^3

Datos

$V = 1\,800\ \ell = 1.8\ m^3$

$t = 1\ min = 60\ s$

$\rho_{H2O} = 1\,000\ kg/\ m^3$

a) *G = ?*
b) *F = ?*

Fórmula

a) $G = \frac{V}{t}$

b) $F = G\ \rho$

Sustitución y resultado

a) $G = \frac{1.8\ m^3}{60\ s} = \mathbf{0.03\ m^3/s}$

b) $F = 0.03\ m^3/s\ \ x\ \ 1\,000\ kg/\ m^3/s\ = \mathbf{30\ kg/s}$

6.- Por una tubería de 3.81 cm de diámetro circula agua a una velocidad de 3 m/s. En una parte de la tubería hay un estrechamiento y el diámetro es de 2.54 cm, ¿qué velocidad llevará el agua en este punto?

Datos

$d_1 = 3.81\ cm = 0.0381\ m$

$v_1 = 3\ m/s$

$d_2 = 2.54\ cm = 0.0254\ m$

v_2 = ?

Fórmula

$G_1 = G_2$

o bien:

$A_1v_1 = A_2v_2$

$\therefore\ v2 = \frac{A_1v_1}{A_2}$

$A = \frac{\pi}{4}\ d_2$

Sustitución y resultado

$$v_2 = \frac{\frac{\pi}{4} d_1^{\ 2} v_1}{\frac{\pi}{4} d_2^{\ 2}} = \frac{d_1^{\ 2} v_1}{d_2^{\ 2}}$$

$$v_2 = \frac{(0.0381\text{m})^2 \times 3\text{ M/S}}{(0.0254\text{ m})^2} = \mathbf{6.74\ m/s}$$

7.- ¿Con qué velocidad sale un líquido por un orificio que se encuentra a una profundidad de 0.9 m?

Datos	***Fórmula***
v = ?	$v = \sqrt{2gh}$
h = 0.9 m	
g = 9.8 m/s^2	

Sustitución y resultado

$$v = \sqrt{2 \times 9.8\text{ m/s}^2 \times 0.9\text{ m}} = \mathbf{4.2\ m/s}$$

8.- Un tubo de Pitot se introduce en la corriente de un río; el agua alcanza una altura de 0.15 m en el tubo. ¿A que velocidad va la corriente?

Datos	***Fórmula***
h = 0.15 m	$v = \sqrt{2gh}$
g = 9.8 m/s^2	
***v* = ?**	

Sustitución y resultado

$$v = \sqrt{2 \times 9.8\text{ m/s}^2 \times 0.159\text{ m}} = \mathbf{1.71\ m/s}$$

9.- Un tubo de Ventura tiene un diámetro de 0.15624 m y una presión de 4.2 x 10^4 ***N*/m²** en su parte más ancha. En el estrechamiento, el diámetro es de 0.762 m y la presión es de 3 x 10^4 *N*/m$^{2.}$ ¿Cuál es la velocidad del agua que fluye a través de la tubería?

Datos	***Fórmula***
dA = 0.1524 m	$v_A \sqrt{\dfrac{\frac{2}{\rho}(P_A - P_B)}{\left(\frac{A_A}{}\right)^2 - 1}}$
$P_A = 4.2 \times 10^4\ N/m^2$	
d_B = 0.0762 m	

A_B

$P_B = 3 \times 10^4 \; N/m^2$

$\rho_{H2O} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$

$\boldsymbol{v_A} \textbf{ = ?}$

Sustitución y resultado

$$v_A \sqrt{\frac{\dfrac{2}{1\,000 \text{ kg/ m}^3}\left(4.2 \times 10^4 \; N/m^2 \; - \; 3 \times 10^4 \; N/m^2\right)}{\left(\dfrac{\frac{\pi}{4}(0.1524 \text{ m})^2}{\frac{\pi}{4}(0.0762 \text{ m})^2}\right)^2 - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.002 \text{ m}^3\text{/kg} \times 1.2 \times 10^4 \text{ kg m/s}^2 \text{ m}^2}{15.99 - 1}} = \mathbf{1.26 \text{ m/s}}$$

Ejercicios propuestos

1.- Calcular el gasto de agua por una tubería, así como el flujo, al circular 4 m^3 en 0.5 minutos.

ρ_{H2O} = 1 000 kg/m^3

Respuesta:

G = 0.133 m^3/s

F = 133 kg/m^3

2.- Para llenar un tanque de almacenamiento de gasolina se envío un gasto de 0.1 m^3/s durante un tiempo de 200 s. ¿Qué volumen tiene el tanque?

Respuesta:

V = 20 m^3

3.- Calcular el tiempo que tardará en llenarse una alberca cuya capacidad es de 400 m^3 si se alimenta recibiendo un gasto de 10 ℓ/s. Dar la respuesta en minutos y horas.

Respuesta:

t = 666.66 minutos = 11.11 horas

4.- Determine el gasto de petróleo crudo que circula por una tubería de área igual a 0.05 m^2 de su sección transversal y la velocidad del líquido es de 2 m/s.

Respuesta:

G = 0.1 m^3/s

5.- ¿Cuál es el gasto de agua en una tubería que tiene un diámetro de 3.81 cm, cuando la velocidad del líquido es de 1.8 m/s?

Respuesta:

G = 0.002 m^3/s

6.- Calcular el diámetro que debe tener una tubería, para que el gasto sea de 0.02 m^3/s a una velocidad de 1.5 m/s.

Respuesta:

d = 0.13 m

7.- Por una tubería de 5.08 cm de diámetro, circula agua a una velocidad de 1.6 m/s. Calcula la velocidad que llevará el agua, al pasar por un estrechamiento de la tubería donde el diámetro es de 4 cm.

Respuesta:

v = 2.58 m/s

8.- Determinar la velocidad con la que sale un líquido por un orificio localizado en una profundidad de 2.6 m en un tanque de almacenamiento.

Respuesta:

v = 7.14 m/s

9.- Para medir la velocidad de la corriente en un río se introduce en él un tubo de Pitot, la altura a la que llega el agua dentro del tubo es de 0.2 m. ¿A qué velocidad va la corriente?

Respuesta:

v = 1.98 m/s

10.- En la parte más ancha de un tubo de Ventura hay un diámetro de 10.16 cm y una presión de 3×10^4 N/m^2. En el estrechamiento del tubo, el diámetro mide 5.08 cm y tiene una presión de 1.9×10^4 N/m^2.

a) ¿Cuál es la velocidad del agua que fluye a través de la tubería?

b) ¿Cuál es el gasto?

c) ¿Cuál es el flujo?

Respuesta:

a) v = 1.22 m/s

b) G = 0.0099 m^3/s

c) F = 9.99 kg/s

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

HIDROSTATICA

Densidad

En física el término **densidad** considera la cantidad de masa contenida en determinado volumen y se utiliza en términos absolutos o en términos relativos.
La *densidad relativa* expresa la relación entre la masa de una sustancia y la masa del mismo volumen de agua, resultando una magnitud adimensional. La *densidad absoluta* expresa la masa por unidad de volumen, que más apropiadamente se debería llamar masa específica. Cuando no se hace ninguna aclaración al respecto, el término *densidad* suele entenderse en el sentido de densidad absoluta.
Por definición, en el sistema métrico decimal la densidad del agua es la unidad. Su masa específica es de 1000 kg/m³, o de 1 kg/L (a las condiciones de 1 atm y 4 ºC).
La densidad puede obtenerse de varias formas. Para objetos macizos de densidad mayor que el agua, se determina primero su masa en una balanza, y después su volumen; este se puede calcular a través del cálculo si el objeto tiene forma geométrica, o sumergiéndolo en un recipiente calibrado, con agua, y leyendo el aumento de volumen que experimenta el líquido. La densidad es el resultado de dividir la masa por el volumen.
La densidad en liquidos puede ser medida con una herramienta llamada densímetro. Consiste en un tubo cerrado por los dos extremos; en uno de ellos tiene un lastre y en toda su longitud una escala graduada. Para medir la densidad se introduce el densímetro en el recipiente que contiene el líquido que se desea analizar y se lee directamente la densidad en la escala. Las condiciones para que se dé una lectura correcta son:
Temperatura de 20 °C del liquido, se introduce el densímetro hasta que quede inmóvil, se toma la lectura.

Unidades de densidad

Las unidades de densidad de masa que, hablando en términos estrictos, se denominan unidades de densidad, se utilizan para expresar la cantidad de masa contenida en la unidad de volumen. Algunas de las más usadas son:
Kilogramo por metro cúbico
Gramo por centímetro cúbico
Granos por galón
Libras por pie cúbico

Densidades medias de algunas sustancias

Sustancia	Densidad [kg/m³]
Aceite	920

Acero	7850
Agua	1000
Agua de mar	1027
Aire	1.3
Alcohol	780
Aluminio	2700
Carbono	2260
Caucho	950
Cuerpo humano	950
Diamante	3515
Gasolina	680
Hielo	920
Hierro	7800
Hormigón armado (concreto)	2400
Madera	900
Mercurio	13600
Oro	19600
Piedra pómez	700
Plata	10500
Platino	21400
Plomo	11300
Poliuretano	40
Sangre	1480 - 1600
Tierra (Planeta)	5515
Vidrio	2500

A pesar de su variabilidad dentro de cada especie, como consecuencia de la influencia de la humedad, esta característica es utilizada de forma complementaria para la identificación de las especies de madera. En los casos en los que la densidad es muy extrema (<0,35 ó > 0,9 g/cm^3) esta propiedad física es fundamental.

Peso espesifico

Pesos específicos comerciales

Corrientemente conocidos con el nombre de densidades comerciales, son unos valores aproximados que se utilizan para cálculos y operaciones comerciales. Corresponden, en general, a la madera seca al aire.
Entre ellos se admiten corrientemente los siguientes, expresados en kg/m3:

Resinosas 520
Frondosas tropicales para desenrollo 850
Frondosas tropicales de sierra 900

Estudios efectuados por diferentes autores, llegan a la conclusión de que el peso específico de la madera de verano, en las coníferas, es igual aproximadamente 2,5 veces el de la madera de primavera. Por consiguiente, el peso específico aparente de las coníferas depende mucho de las condiciones de crecimiento.

Medida de magnitudes

El peso se hace mediante una balanza de una sensibilidad suficiente para los fines a que se destina la magnitud peso, y de acuerdo con la norma correspondiente. La determinación del peso se hace mediante una balanza con precisión de 0,01g.
El peso húmedo se determina directamente, en primer lugar, y luego se corrige al valor de humedad del 12 %.
El peso anhidro se obtendrá desecando en estufa a 103 $\pm$ 2^{o}C, hasta peso constante, valor que nos señala que la madera no tiene más agua que ceder.
La determinación del volumen puede hacerse por dos métodos: el estereométrico o medida directa de las dimensiones de la probeta, o el de desplazamiento con líquidos o gases de peso específico conocido. El primero hace necesario una preparación cuidadosa de las probetas y que éstas no tengan ni fendas ni acebolladuras. Por otra parte, la medición precisa de las dimensiones es difícil y complicada. Por lo anteriormente expuesto, este método no se emplea corrientemente sino el de desplazamiento.
El método de desplazamiento consiste en esencia en desplazar por la probeta de madera un volumen de un líquido, que se mide lo más exactamente posible. Tienen en este método mucha importancia los fenómenos superficiales que puedan producirse entre el fluido que se desplaza y el cuerpo cuyo volumen se mide. En este sentido, el carácter higroscópico de la madera hace que el empleo del agua deba hacerse con mucha prudencia. El empleo de productos para impedir la absorción del agua por la madera, tales como grasas, aceites y pinturas, no mejora grandemente los inconvenientes de este método.
Generalmente, se suele utilizar como líquido de desplazamiento el mercurio para determinar el volumen aparente de la madera, y el helio, que tiene una molécula pequeña que no es absorbido ni retenido por la madera, para determinar el volumen real.
Método aproximado de determinación del peso específico. Método del prisma
Entre los métodos más sencillos y rápidos de determinación aproximada del peso específico se encuentra el método del prisma.

Se talla un prisma de madera, que se divide en diez partes iguales. Este prisma se introduce en un recipiente con agua determinándose el número de divisiones que quedan sumergidas, n. El cociente n/10 es el peso específico a la humedad H.

Historia Teorema de Torricelli

Los filósofos de la antigüedad, lejos de sospechar el peso del aire, lo consideraban como un cuerpo que por su naturaleza tendía a elevarse; explicándose la ascensión de los líquidos en las bombas por el *fuga vacui*, horror al vacío, que tiene la naturaleza.

Cuando los jardineros de Florencia quisieron elevar el agua con una bomba de hélice, apreciaron que no podían superar la altura de 32 pies (casi 11 m). Consultado Galileo, determinó éste que el horror de la naturaleza al vacío se limitaba con una fuerza equivalente al peso de 32 pies de agua (lo que viene a ser 1 atm de presión), y denominó a dicha altura *altezza limitatíssima.*
En 1643, Torricelli tomó un tubo de vidrio de aproximadamente un metro de longitud y lo llenó de plata viva (mercurio). Manteniendo el tubo cerrado con un dedo, lo invirtió e introdujo en una vasija con mercurio. Al retirar el dedo comprobó que el metal descendía hasta formar una columna cuya altura era 14 veces menor que la que se obtenía al realizar el experimento con agua. Como sabía que el mercurio era 14 veces más pesado que el agua, dedujo que ambas columas de líquido estaban soportadas por igual contrapeso, sospechando que sólo el aire era capaz de realizar dicha fuerza.

A la prematura muerte de Torricelli, llegaron sus experimentos a oídos de Pascal, a través del Padre Mersenne que los dio a conocer en París. Aunque aceptando inicialmente la teoría del horror al vacío, no tardó Pascal en cambiar de idea al observar los resultados de los experimentos que realizó. Empleando un tubo encorvado y usándolo de forma que la atmósfera no tuviera ninguna influencia sobre el líquido, observó que las columnas llegaban al mismo nivel. Sin embargo, cuando permitía la acción de la atmósfera, el nivel variaba.

Estos resultados le indujeron a abordar el experimento definitivo, consistente en transportar el barómetro a distintas altitudes y comprobar si era realmente el peso del aire el que determinaba la ascensión del líquido en el tubo. Al escribir a Perier, uno de sus parientes, el 15 de noviembre de 1647 acerca del experimento proyectado, decía:

“Si sucede que la altura de la plata viva es menor en lo alto de la montaña, que abajo, se deducirá necesariamente que la gravedad y presión del aire es la única causa de esta suspensión de la plata viva, y no el horror al vacío, porque es verdad que hay mucho más aire que pese al pie de la montaña que en su vértice.”

El 19 de septiembre de 1648, Pelier cumplió el deseo de su cuñado, y realizó el experimento ascendiendo a la cima del Puy-de-Dôme. Comparando la medida realizada en la cima, situada a un altura de 500 toesas (cerca de 1000 m), con la

de base, tomada por el padre Chastin, hallaron una diferencia de tres lineas y media entre ambas. La idea del horror vacui quedó definitivamente abandonaba; el aire pesaba.
Sin dudar del mérito de la realización del experimento, fue sin embargo Descartes quien, en carta escrita en 1631, 12 años antes del experimento de Torricelli, afirmaba ya que *"El aire es pesado, se le puede comparar a un vasto mantón de lana que envuelve la Tierra hasta más allá de las nubes; el peso de esta lana comprime la superficie del mercurio en la cuba, impidiendo que descienda la columna mercurial ..."*
Fue sin embargo a raíz de la demostración en 1654 por parte del burgomaestre e inventor Otón de Guericke que con su hemisferio de Magdeburgo cautivó al público y a otros personajes ilustres de la época a expandir y entender el concepto de presión atmosférica.

Unidades de presión

En el SI la unidad de presión es el pascal, se representa por Pa y se define como la presión correspondiente a una fuerza de un newton de intensidad actuando perpendicularmente sobre una superficie plana de un metro cuadrado. 1 Pa equivale, por tanto, a 1 N/m2.
Existen, no obstante, otras unidades de presión que sin corresponder a ningún sistema de unidades en particular han sido consagradas por el uso y se siguen usando en la actualidad junto con el pascal. Entre ellas se encuentran la atmósfera y el bar.
La atmósfera (atm) se define como la presión que a 0 ºC ejercería el peso de una columna de mercurio de 76 cm de altura y 1 cm2 de sección sobre su base.
Es posible calcular su equivalencia en N/m2 sabiendo que la densidad del mercurio es igual a 13,6 · 103 kg/m3 y recurriendo a las siguientes relaciones entre magnitudes:

Peso (N) = masa (kg) (9,8 m/s2)

Masa = volumen x densidad como el volumen del cilindro que forma la columna es igual a la superficie de la base por la altura, es decir:

1 atm = 1,013 · 105 Pa.

El bar es realmente un múltiple del pascal y equivale a 105 N/m2.

En meteorología se emplea con frecuencia el milibar (mb) o milésima parte del bar
1 mb = 102 Pa.

1 atm = 1 013 mb

Aplicación del principio de Arquímedes

Un globo de goma tiene 8 g de masa cuando está vacío. Para conseguir que se eleve se infla con gas ciudad. Sabiendo que la densidad del aire es de 1,29 kg/m3 y la del gas ciudad 0,53 kg/m3 determinar el volumen que, como mínimo, ha de alcanzar el globo para que comience a elevarse.
Para que el globo inicie el ascenso, la fuerza del empuje ha de ser superior a la del peso:

E > P

En virtud del principio de Arquímedes:

ya que en este caso el fluido desalojado es el aire.
Por otra parte, el peso P será la suma del peso del globo más el peso del gas ciudad que corresponde al volumen V, es decir:

El volumen mínimo será, por tanto, de 10,5 litros.

HIDRODINAMICA

Funcionamiento de un tubo de venturi

En el Tubo de Venturi el flujo desde la tubería principal en la sección 1 se hace acelerar a través de la sección angosta llamada garganta, donde disminuye la presión del fluido. Después se expande el flujo a través de la porción divergente al mismo diámetro que la tubería principal. En la pared de la tubería en la sección 1 y en la pared de la garganta, a la cual llamaremos sección 2, se encuentran ubicados ramificadores de presión. Estos ramificadores de presión se encuentran unidos a los dos lados de un manómetro diferencial de tal forma que la deflexión h es una indicación de la diferencia de presión $p_1 - p_2$. Por supuesto, pueden utilizarse otros tipos de medidores de presión diferencial.
La ecuación de la energía y la ecuación de continuidad pueden utilizarse para derivar la relación a través de la cual podemos calcular la velocidad del flujo. Utilizando las secciones 1 y 2 en la formula 2 como puntos de referencia, podemos escribir las siguientes ecuaciones:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad 1$$

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad 2$$

Estas ecuaciones son válidas solamente para fluidos incomprensibles, en el caso de los líquidos. Para el flujo de gases, debemos dar especial atención a la variación del peso específico g con la presión. La reducción algebraica de las ecuaciones 1 y 2 es como sigue:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) - h_l$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 2g\left[\left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right) + (z_1 - z_2) - h_l\right]$$

Pero $v_2^2 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$. Por consiguiente tenemos,

$$v_2^2\left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right] = 2g\left[\left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right) + (z_1 - z_2) - h_l\right]$$

$$v^2 = \sqrt{\frac{2g\left[\left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right) + (z_1 - z_2) - h_l\right]}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (3)$$

Se pueden llevar a cabo dos simplificaciones en este momento. Primero, la diferencia de elevación (z_1-z_2) es muy pequeña, aun cuando el medidor se encuentre instalado en forma vertical. Por lo tanto, se desprecia este termino. Segundo, el termino h_l es la perdida de la energía del fluido conforme este corre de la sección 1 a la sección 2. El valor h_l debe determinarse en forma experimental. Pero es más conveniente modificar la ecuación (3) eliminando h_1 e introduciendo un coeficiente de descarga C:

$$v_2 = C\sqrt{\frac{2g\left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (4)$$

La ecuación (4) puede utilizarse para calcular la velocidad de flujo en la garganta del medidor. Sin embargo, usualmente se desea calcular la velocidad de flujo del volumen.

Puesto que $Q = A_2 v_2$, tenemos:

$$Q = CA_2\sqrt{\frac{2g(p_1 - p_2)/\gamma}{1 - (A_2/A_1)^2}} \quad (5)$$

El valor del coeficiente C depende del número de Reynolds del flujo y de la geometría real del medidor. La figura 2 muestra una curva típica de C versus número de Reynolds en la tubería principal.

UNIDAD II.- CALOR Y TEMPERATURA

TERMOLOGÍA

La sensación de calor o de frío está estrechamente relacionada con nuestra vida cotidiana, sin embargo, el calor es algo más que eso. En el siglo XVIII los físicos lo consideraban como un fluido invisible sin sabor, olor ni peso; lo llamaban calórico y de él sólo conocían sus efectos: cuanto más caliente estaba un cuerpo, más fluido o calórico tenía. Cuando el calórico fluía en una sustancia, ésta se expandía debido a que ocupaba un lugar en el espacio, y cuando el calórico salía la sustancia se enfriaba y se contraía. Finalmente, consideraron que el calórico no podía ser creado ni destruido, razón por la cual no era posible formarlo a partir de alguna cosa ni podía ser sustituido por otra.

A fines del siglo XVIII Benjamín Thompson descubrió, al barrenar un cañón, que la fricción produce calor. Más adelante, Joule 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 estas investigaciones se desechó la Teoría del Calórico para explicar qué era el calor. Actualmente, se interpreta al calor como una energía en tránsito que fluye de cuerpos a mayor temperatura a los de menor temperatura.

Cuando tocamos un cuerpo lo podemos sentir caliente o río según la temperatura que tenga, así como la capacidad para conducir calor. Nuestro organismo no detecta la temperatura, sino pérdidas o ganancias de calor. Si sentimos que un cuerpo está muy frío es porque nuestro organismo le está transmitiendo mucho calor.

La temperatura es una magnitud física que indica qué tan caliente o fría está una sustancia y se mide con un termómetro.

Al suministrarle calor a una sustancia, no sólo se eleva la temperatura, también se producen alteraciones en varias de sus propiedades físicas. Por tanto, al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y si se trata de un gas, su presión varía.

La temperatura es una de las magnitudes físicas o parámetros que contribuyen a describir el estado de un sistema. Al conocer su valor y el de otros parámetros, tales como la presión o el volumen, se puede tener una valiosa información para predecir los cambios que se producirán en un sistema cuando interactúa con otro.

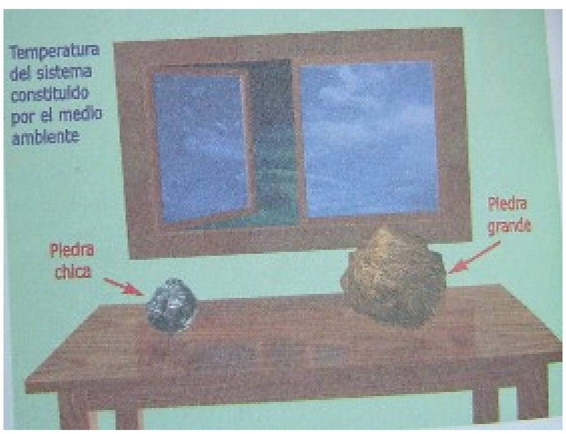
2.1. DIFERENCIA ENTRE CALOR Y TEMPERATURA

La temperatura y el calor están muy ligados, pero no son lo mismo. Cuando tocamos un cuerpo lo podemos sentir caliente o frío según la temperatura que tenga, así como de su capacidad para conducir el calor. Es por ello que, si coloca sobre una mesa un bloque de madera y una placa de metal, al tocar la placa de metal la siente más fría porque conduce mejor el calor de su cuerpo que la madera, no obstante, los dos tienen la misma temperatura. La magnitud física que indica qué tan caliente o fría es una sustancia respecto a un cuerpo que se toma como base o patrón es la temperatura.

Cuando se suministra calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, sintiéndose más caliente, también se producen alteraciones en varias de sus propiedades físicas. Por tanto, al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y si se trata de un gas, su presión varía.

La temperatura de un cuerpo o un Sistema es una propiedad intensiva, ya que no depende de la cantidad de materia ni de su naturaleza, sino del ambiente en el que se encuentren. Por tanto, una piedra, un trozo de metal o de madera, etc.; que se localizan en un mismo lugar, por ejemplo en una habitación, tendrán la misma temperatura.

Sin embargo, la temperatura sí depende del estado de agitación o movimiento desordenado de las moléculas, o sea, del valor de la energía cinética media o promedio de las moléculas del cuerpo o del sistema. Por ello, se considera que sus moléculas no tendrían energía cinética traslacional a la temperatura denominada cero absoluto y que corresponde a cero Kelvin o - 273ºC.



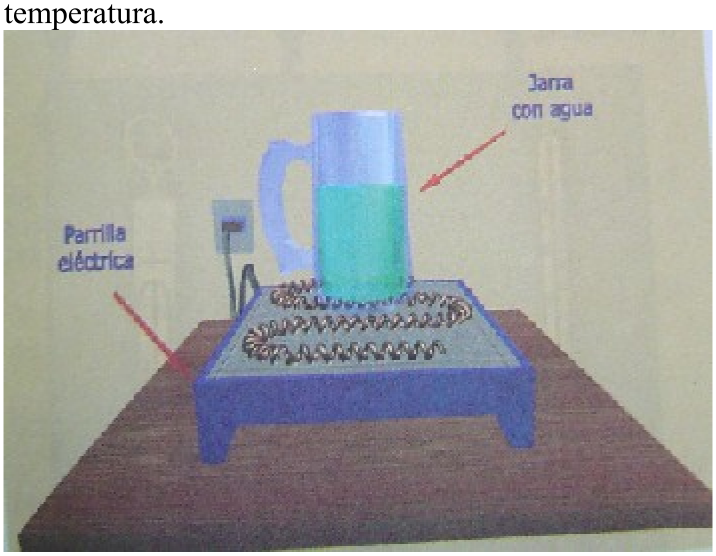
La temperatura de los cuerpos no depende de la cantidad de materia sino del lugar en que se encuentren, ya que la temperatura que alcancen será la misma que tenga el medio donde se ubiquen.

Es muy importante recordar que nuestro organismo no detecta la temperatura, sino pérdidas o ganancias de calor. Cuando sentimos que un cuerpo está muy frío es porque nuestro organismo le está transfiriendo mucho calor; sin embargo, otra persona que esté a menor temperatura, puede sentirlo sólo frío al transferirle una menor cantidad de calor.

Se le denomina calor, a la transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo o entre distintos cuerpos que se encuentran a diferente temperatura. El calor es energía en tránsito y siempre fluye de cuerpos de mayor temperatura a los de menor temperatura.

El calor no fluye desde un cuerpo de temperatura menor a otro de temperatura mayor a menos que se realice un trabajo, tal es el caso del refrigerados que revisaremos más adelante. Actualmente, los físicos señalan que un cuerpo no posee calor, sino que tiene energía interna, de tal manera que el calor es la energía calorífica que se transfiere de los cuerpos que están a mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta que los cuerpos tienen la misma temperatura. Después de que la transferencia de calor a un cuerpo o sustancia cesa, ya no se le denomina calor y se interpreta como la energía interna del cuerpo o sustancia de la que se trate.

La energía interna de un cuerpo o sustancia, se define como la suma de las energías cinética y potencial de todas las moléculas individuales que lo constituyen. Al suministrar calor a un cuerpo o sustancia, se provoca un aumento en la energía de agitación de sus moléculas, se produce entonces un incremento en la energía interna y por consiguiente, un aumento en la temperatura.



El calor es energía en tránsito y fluye de los cuerpos con mayor temperatura a los de menor temperatura, hasta que igualen sus valores.

El calor es la magnitud física o parámetro que describe las interacciones de un sistema con otro, dado que corresponde a la cantidad de energía que se transfiere de un sistema a otro.

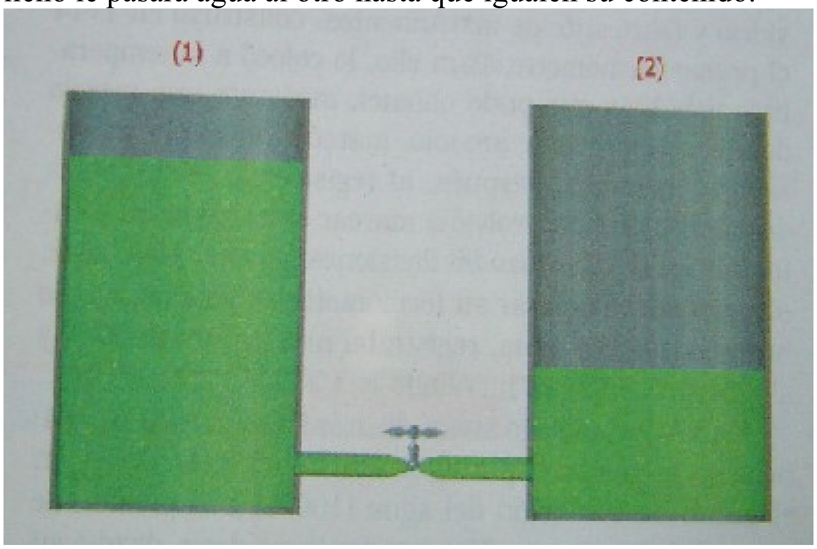
En conclusión. Todo cuerpo o sistema, debido a su temperatura, tiene la capacidad de transferir energía a otro cuerpo o sistema que esté a temperatura más baja.

No olvide que el medio ambiente es un sistema intercambiador de calor muy importante en nuestras actividades cotidianas, no sólo en el calor que cede a nuestro cuerpo en un día soleado sino el que nuestro cuerpo, como sistema, le cede al ambiente en un día frío; y si no usamos ropa gruesa que nos permita conservar parte del calor de nuestro cuerpo, podemos sufrir las consecuencias de una disminución de la temperatura normal llamada hipotermia.

Potencial término y energía calorífica

Si colocamos un cuerpo caliente junto a uno frío notaremos que al transcurrir el tiempo el primero se enfría y el segundo se calienta.

Cuando un cuerpo se encuentra demasiado caliente su temperatura o potencial término es alto, esto le permite ceder calor o energía calofírica a otro cuerpo de menor temperatura que se encuentre cercano a él, de esta manera ambos poseerán igual potencial térmico. Lo mismo sucede cuando se conectan dos tanques con agua, uno lleno y otro semivacío, el lleno le pasará agua al otro hasta que igualen su contenido.



Analogía hidráulica: el tanque (1) dejará pasar el agua al tanque (2) hasta que tengan el mismo nivel.

MEDIDA DE LA TEMPERATURA

Para medir la temperatura se utiliza el termómetro. Su funcionamiento se basa en el hecho que se presenta cuando se ponen en contacto dos cuerpos que están a distinta temperatura, es decir, están en equilibrio térmico.

El fenómeno de la dilatación de los fluidos se utiliza en la construcción de los termómetros. Existen diferentes tipos de termómetros y el más común es el de mercurio. Dicho instrumento consiste en un tubo capilar que lleva en la parte inferior un bulbo con mercurio, el cual al calentarse se dilata de manera directamente proporcional al aumento de la temperatura, por lo que el ascenso que experimenta el nivel del mercurio por el tubo capilar que lleva en la parte inferior un bulbo con mercurio, el cual al calentarse se dilata de manera directamente proporcional al aumento de la temperatura, por lo que el ascenso que experimenta el nivel del mercurio por el tuvo capilar es el mismo cada vez que se incrementa en un grado su temperatura. De igual modo, el mercurio se contrae en la misma proporción, cada vez que desciende un grado su temperatura. La escala de un termómetro de mercurio puede ser de 357ºC a - 39ºC. Cuando se requiere medir temperaturas menores de -39ºC hasta de -130ºC se utiliza el termómetro de alcohol. Para temperaturas aún menores, se usa el termómetro de tolueno o de éteres de petróleo.

La dilatación regular del mercurio se utiliza para la construcción de termómetros.

Cuando se necesita medir temperaturas altas se emplean los termómetros de resistencia. Su funcionamiento se basa en el hecho de que la resistencia eléctrica de un conductor metálico aumenta de manera directamente proporcional al aumento de su temperatura.

DIFERENTES ESCALAS TERMOMÉTRICAS: GRADOS CELSIUS, KELVIN Y FAHRENHEIT

El alemán Gabriel Fahrenheit (1686-1736) soplador de vidrio y fabricante de instrumentos, construyó en 1714 el primer termómetro. Para ello, lo colocó a la temperatura más baja que pudo obtener, mediante una mezcla de hielo y cloruro de amonio, marcó el nivel que alcanzaba el mercurio; después al registrar la temperatura del cuerpo humano volvió a marcar el termómetro y entre ambas señales hizo 96 divisiones iguales. Más tarde, observó que al colocar su termómetro en una mezcla de hielo en fusión y agua, registraba una lectura de 32ºF y al colocarlo en agua hirviendo leía 212ºF.

En 1742 el biólogo sueco Andrés Celsius (1701-1744) basó su escala en el punto de fusión del hielo (0ºC) y en el punto de ebullición del agua (100ºC) a la presión de una atmósfera, o sea, 760 mm de Hg, es decir, dividió su escala en 100 partes iguales cada una de 1ºC.

Años después el inglés William Kelvin (1824-1907) propuso una nueva escala de temperatura, en la cual el cero corresponde a lo que tal vez sea la menor temperatura posible llamada cero absoluto, en esta temperatura la energía cinética de las moléculas es cero. El tamaño de un grado de la escala Kelvin es igual al de un grado Celsius y el valor de cero grados en la escala de Celsius equivale a 273 K, tal como se muestra en la siguiente figura (No. 1).

Cuando la temperatura se da en Kelvin se dice que es absoluta y ésta es la escala aceptada por el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Existe un límite mínimo de temperatura: 0 K = -273ºC = -460ºF, pero no hay límite máximo de ella, pues en forma experimental se obtienen en los laboratorios temperaturas de miles de grados, mientras que en una explosión atómica se alcanzan temperaturas de millones de grados. Se supone que la temperatura en el interior del Sol alcanza los mil millones de grados.

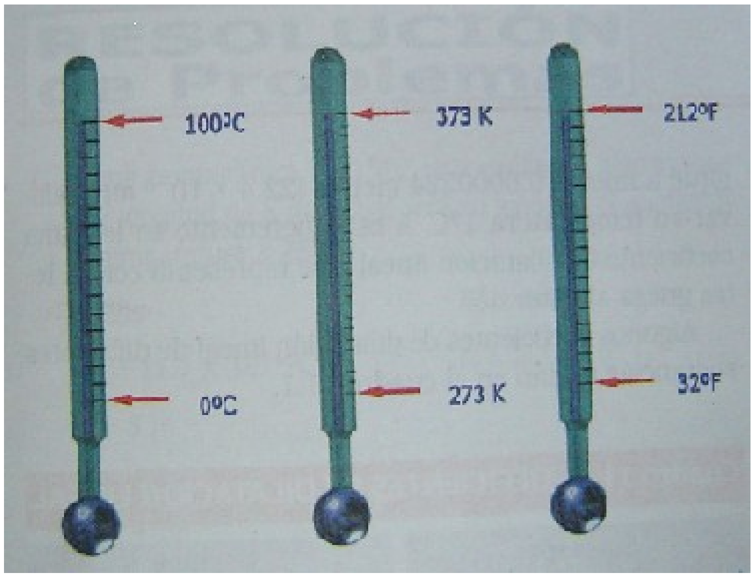


Fig. 1 Comparación de las escalas Celsius, Kelvin y Fahrenheit, para el punto de fusión y ebullición del agua. En el SI se usa al escala Kelvin para medir la temperatura.

Conversión de temperaturas de una escala a otra

Aunque la escala Kelvin es la usada por el SI para medir temperaturas, aún se emplea la escala Celsius o centígrada y la escala Fahrenheit, por tanto, es conveniente manejar sus equivalencias de acuerdo con las siguientes expresiones:

1.- Para convertir de grados Celsius a Kelvin:

$$K = ºC + 273$$

2.- Para convertir de Kelvin a grados Celsius:

$$ºC = K - 273$$

3.- Para convertir de grados Celsius a grados Fahrenheit:

$$ºF = 1.8ºC + 32$$

4.- Para convertir de grados Fahrenheit a grados Celsius:

$$ºC = \frac{ºF - 32}{1.8}$$

DILATACIÓN DE LOS CUERPOS

Los cambios de temperatura afectan el tamaño de los cuerpos, pues la mayoría de ellos se dilatan al calentarse y se contraen si se enfrían. Los gases se dilatan mucho más que los líquidos y éstos más que los sólidos.

En los gases líquidos las partículas chocan unas contra otras en forma continua; pero si se calientan, chocarán violentamente rebotando a mayores distancias y provocarán la dilatación. En los sólidos las partículas vibran alrededor de posiciones fijas; sin embargo, al calentarse aumentan su movimiento y se alejan de sus centros de vibración dando como resultado la dilatación. Por el contrario, al bajar la temperatura las partículas vibran menos y el sólido se contrae.

Para evitar que la dilatación levante las vías férreas siempre se deja un espacio libre entre los rieles.

Dilatación lineal y coeficiente de dilatación lineal

Una barra de cualquier metal al ser calentada sufre un aumento en sus tres dimensiones: largo, ancho y alto, por lo que su dilatación es cúbica. Sin embargo, en los cuerpos sólidos, como alambres, varillas o barras, lo más importante es el aumento de longitud que experimentan al elevarse la temperatura, es decir, su dilatación lineal.

Coeficiente de dilatación lineal

Es el incremento de longitud que presenta una varilla de determinada sustancia, con un largo inicial de un metro, cuando su temperatura se eleva un grado Celsius. Por ejemplo: una varilla de aluminio de un metro de longitud aumenta 0.0000224 metros (22.4 x 10-6m) al elevar su temperatura 1ºC. A este incremento se le llama coeficiente de dilatación lineal y se representa con la letra griega alfa (α).

Algunos coeficientes de dilatación lineal de diferentes sustancias se dan en el cuadro 11.1

Cuadro 11.1 COEFICIENTES DE DILATACIÓN LINEAL

Sustancia	α (1/ºC)
Hierro	11.7×10^{-6}
Aluminio	22.4×10^{-6}
Cobre	16.7×10^{-6}
Plata	18.3×10^{-6}
Plomo	27.3×10^{-6}
Níquel	12.5×10^{-6}
Acero	11.5×10^{-6}
Zinc	35.4×10^{-6}
Vidrio	7.3×10^{-6}

Para calcular el coeficiente de dilatación lineal se emplea la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{L_f - L_o}{L_o\,(T_f - T_o)}$$

donde: α = coeficiente de dilatación lineal en 1/ºC o enºC-1

L_f = longitud final medida en metros (m)
L_o = longitud inicial expresada en metros (m)
T_f = temperatura final medida en grados Celsius (ºC)
T_o = temperatura inicial expresada en grados Celsius (ºC)

Si conocemos el coeficiente de dilatación lineal de una sustancia y queremos calcular la longitud final que tendrá un cuerpo al variar su temperatura, despejamos la longitud final de la ecuación anterior:

$$L_f = [1 + \alpha\,(T_f - T_o)]$$

Consideraciones prácticas sobre la dilatación

Como la temperatura ambiente cambia en forma continua durante el día, cuando se construyen vías de ferrocarril, puentes de acero, estructuras de concreto armado, y en general cualquier estructura rígida, se deben dejar huecos o espacios libres que permitan a los materiales dilatarse libremente para evitar rupturas o deformaciones que pongan en peligro la estabilidad de lo construido. Por ello, se instalan en lugares convenientes las llamadas juntas de dilatación, articulaciones móviles que absorben las variaciones de longitud. En los puentes se usan rodillos en los cuales se apoya su estructura para que al dilatarse no se produzcan daños por rompimientos estructurales resultado de los cambios de temperatura y de la dilatación no controlada. También en la fabricación de piezas par maquinaria, sobre todo en los móviles, se debe considerar la dilatación con el objetivo de evitar desgastes prematuros o rompimientos de partes.

Dilatación cúbica y coeficiente de dilatación cúbica

Dilatación cúbica

Implica el aumento en las dimensiones de un cuerpo: largo, ancho y alto, lo que significa un incremento de volumen. La dilatación cúbica se diferencia de la dilatación lineal porque además implica un incremento de volumen.

Coeficiente de dilatación cúbica

Es el incremento de volumen que experimenta un cuerpo de determinada sustancia, de volumen igual a la unidad, al elevar su temperatura un grado Celsius. Este coeficiente se representa con la letra griega beta (β). Por lo general, el coeficiente de dilatación cúbica se emplea para los líquidos. Sin embargo, si se conoce el coeficiente de dilatación lineal de un sólido, su coeficiente de dilatación cúbica será tres veces mayor.

$$\beta = 3\alpha$$

Por ejemplo: el coeficiente de dilatación lineal del hierro es 11.7 x 10 -6 ºC-1, por tanto, su coeficiente de dilatación cúbica es:

$\beta = 3\alpha = 3 \times 11.7 \times 10^{-6}\,°C^{-1}$
$\quad = 35.1 \times 10^{-6}\,°C^{-1}$

En el recuadro 11.2 se dan algunos valores de coeficientes de dilatación cúbica para diferentes sustancias. Al conocer el coeficiente de dilatación cúbica de una sustancia se puede calcular el volumen que tendrá al variar su temperatura con la siguiente expresión:

$$V_f = V_o\,[1 + \beta\,(T_f - T_o)]$$

donde: V_f = volumen final determinado en metros cúbicos (m3)
V_o = volumen inicial expresado en metros cúbicos (m3)
β = coeficiente de dilatación cúbica determinado en 1/ºC o ºC-1
T_f = temperatura final medida en grados Celsius (ºC)
T_o = temperatura inicial medida en grados Celsius (ºC)

Notas: 1. En el caso de sólidos huecos la dilatación cúbica se calcula considerando al sólido como si estuviera lleno del mismo material, es decir, como si fuera macizo.

2. Para la dilatación cúbica de los líquidos debemos tomar en cuenta que cuando se ponen a calentar, también se calienta el recipiente que los contiene, el cual al dilatarse aumenta su capacidad. Por ello, el aumento real del volumen del líquido, será igual al incremento de volumen del recipiente más el aumento del volumen del líquido en el recipiente graduado.

Cuadro 11.2 COEFICIENTES DE DILATACIÓN CÚBICA

Sustancia	β (°C^{-1})
Hierro	35.1×10^{-6}
Aluminio	67.2×10^{-6}
Cobre	50.1×10^{-6}
Acero	34.5×10^{-6}
Vidrio	21.9×10^{-6}
Mercurio	182×10^{-6}
Glicerina	485×10^{-6}
Alcohol etílico	746×10^{-6}
Petróleo	895×10^{-6}
Gases a 0°C	1/273

Dilatación irregular del agua

Por regla general, un cuerpo se dilata cuando aumenta su temperatura. Sin embargo, hay algunas sustancias que en lugar de dilatarse se contraen, tal es el caso del agua: un gramo de agua a 0ºC ocupa un volumen de 1.00012 cm3, si se calienta, en lugar de dilatarse se contrae, por lo que a la temperatura de 4ºC el agua tiene su volumen mínimo de 1.00000 cm3 y alcanza su densidad máxima, si se sigue calentando comienza a aumentar su volumen.

Durante el invierno los peces y otras especies acuáticas conservan la vida gracias a esa dilatación irregular. A principios de la estación la superficie de los lagos y estanques se enfría; al llegar el agua a 4ºC aumenta su densidad, razón por la cual se va al fondo y es sustituida por otra más caliente estableciéndose así una recirculación hasta que toda el agua tiene una temperatura de 4ºC. Si la temperatura continúa enfriando la superficie, entonces se forma una capa de hielo flotante cuya densidad es menor a la del agua. Ello evita el enfriamiento del resto del agua, con lo cual la vida sigue su curso a una temperatura mínima de 4ºC.

Dilatación irregular del agua

Por regla general, un cuerpo se dilata cuando aumenta su temperatura. Sin embargo, hay algunas sustancias que en lugar de dilatarse se contraen, tal es el caso del agua: un gramo de agua a 0ºC ocupa un volumen de 1.00012 cm3, si se calienta, en lugar de dilatarse se contrae, por lo que a la temperatura de 4ºC el agua tiene su volumen mínimo de 1.00000

cm^3 y alcanza su densidad máxima, si se sigue calentando comienza a aumentar su volumen.

Durante el invierno los peces y otras especies acuáticas conservan la vida gracias a esa dilatación irregular. A principios de la estación la superficie de los lagos y estanques se enfría; al llegar el agua a 4ºC aumenta su densidad, razón por la cual se va al fondo y es sustituida por otra más caliente estableciéndose así una recirculación hasta que toda el agua tiene una temperatura de 4ºC. Si la temperatura continúa enfriando la superficie, entonces se forma una capa de hielo flotante cuya densidad es menor a la del agua. Ello evita el enfriamiento del resto del agua, con lo cual la vida sigue su curso a una temperatura mínima de 4ºC.

Dilatación de los gases

El coeficiente de dilatación cúbica es igual para todos los gases. Es decir, cualquier gas, al ser sometido a una presión constante, por cada grado Celsius que cambie su temperatura variará 1/273 el volumen que ocupaba a 0ºC.

$$\beta = 1/273 \text{ para cualquier gas}$$

En otras palabras, si tomamos 273 litros de cualquier gas, por ejemplo oxígeno a 0ºC, y sin cambiar la presión (proceso isobárico), lo calentamos 1ºC, el nuevo volumen será de 274 litros. Un incremento de 2ºC lo aumentará a 275 litros. Si lo calentamos 3ºC el gas ocupará un volumen de 276 litros y así sucesivamente.

FORMAS DE PROPAGACIÓN DEL CALOR

Si dos cuerpos se ponen en contacto y no manifiestan tendencia a calentarse o enfriarse, es porque su temperatura y, por tanto, la energía cinética media de sus moléculas es igual; pero cuando diversas partes de un mismo cuerpo, o varios cuerpos en contacto, están más calientes, todos tenderán a alcanzar la misma temperatura y el calor se propagará de un punto a otro.

El calor o energía calorífica siempre se propaga de los cuerpos calientes a los fríos, de tres maneras diferentes:

a) Conducción.

b) Convección.

c) Radiación.

Conducción

La conducción es la forma de propagación del calor a través de un cuerpo sólido, debido al choque entre moléculas.

Cuando el extremo de una varilla metálica se pone en contacto con el fuego, al cabo de cierto tiempo el otro extremo también se calienta. Esto se debe a que las moléculas del extremo calentado por el fuego vibran con mayor intensidad, es decir, con mayor energía cinética. Una parte de esa energía se transmite a las moléculas cercanas, las cuales al chocar unas con otras comunican su exceso de energía a las contiguas, así su temperatura aumenta y se distribuye en forma uniforme a lo largo de la varilla. Esta transmisión de calor continuará mientras exista una diferencia de temperatura entre los extremos, y cesará totalmente cuando sea la misma en todas las partes (figura No. 2).

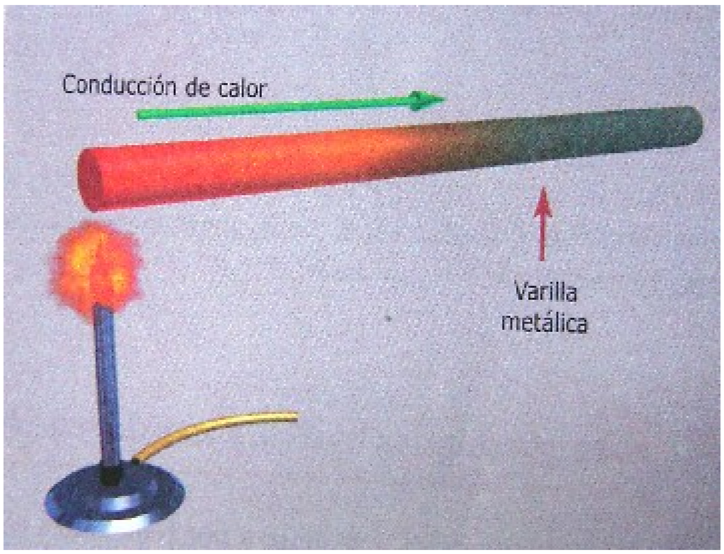


Fig. 2 Transmisión del calor por conducción a través de un cuerpo sólido.

Los metales son buenos conductores del calor; y el corcho, la madera, el plástico, la lana, el aire, la porcelana, el vidrio y el papel son malos conductores del mismo. En el vacío no se propaga el calor por conducción.

Los sartenes, ollas, calderas y demás objetos que requieren ser calentados con rapidez, se fabrican de metal, y los malos conductores son usados como aislantes del frío o del calor. Por ejemplo en: mangos de sartenes cucharas, ollas, revestimientos para calentadores, refrigeradores y tuberías, o bien, ropa de invierno como abrigos y chamarras.

Un termo es un recipiente utilizado para conservar los líquidos calientes o fríos y su construcción se basa en dos paredes entre las cuales existe un vacío que evita la transmisión de calor por conducción.

Convección

La convección es la propagación del calor ocasionada por el movimiento de la sustancia caliente.

Al poner agua en un vaso de precipitados y calentarla posteriormente, observamos que transcurrido cierto tiempo comienza un movimiento en el seno (parte interna) del líquido. Esto se debe a que al recibir calor el líquido del fondo, la temperatura sube y provoca su dilatación, aumentando el volumen y en consecuencia disminuye la densidad de esa porción, por lo que sube a la superficie y es reemplazada por agua más fría y con mayor densidad. Este proceso se repite con la circulación de masas de agua más caliente hacia arriba y las de agua más fría hacia abajo, provocándose las llamadas corrientes de convección (figura No 3)

El calentamiento en los líquidos y gases es por convección. Los vientos son corrientes de convección del aire atmosférico, debido a las diferencias de temperatura y densidad que se producen en la atmósfera.

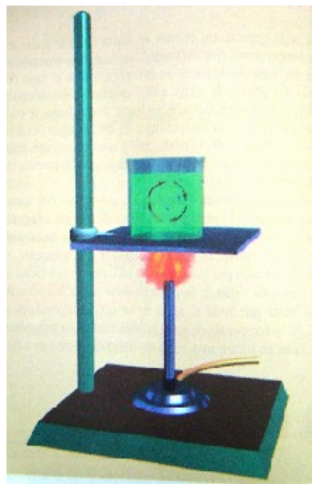


Fig. 3 Calentamiento del agua por corrientes de convección.

Radiación

La radiación es la propagación del calor por medio de ondas electromagnéticas esparcidas, incluso en el vacío, a una velocidad de 300 mil km/s.

El calor que nos llega del Sol es por radiación, pues las ondas caloríficas atraviesan el vacío existente entre la Tierra y el Sol. A las ondas caloríficas también se les llama rayos infrarrojos, en virtud de que su longitud de onda es menor si se compara con la del color rojo.

Todos los cuerpos calientes emiten radiaciones caloríficas, es decir, ondas electromagnéticas de energía proporcional a su temperatura. Cuando la radiación de un cuerpo caliente llega a un objeto, una parte se absorbe y otra se refleja. Los colores oscuros son los que absorben más las radiaciones. Por ello, en los climas cálidos se usan con frecuencia ropas de colores claros para reflejar gran parte de las ondas infrarrojas y luminosas que provienen del Sol.

ENERGÍA SOLAR, SU MEDIDA Y TRANSFORMACIÓN

La energía radiante del Sol se genera por reacciones termonucleares de fusión. La fusión nuclear se produce debido a la unión de dos o más núcleos de átomos ligeros en un solo núcleo de mayor masa. Siempre que dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado, la masa del producto es menor que la suma de los primeros. La diferencia de masa, es decir, la parte de materia faltante, se ha convertido en energía.

Intensidad de la radiación solar

La energía radiante que nos llega del Sol nos proporciona energía calorífica, ésta se aprovecha para calentar agua destinada para uso doméstico en algunos edificios o casas, y también para el funcionamiento de diversos tipos de motores provistos de celdas solares. Aproximadamente, cada centímetro cuadrado de la superficie de la Tierra que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares, recibe 1.4 kilocalorías por minuto, equivalentes a 14 000 calorías (14 kcal = 58.8 kJ) por minuto, en una superficie de 1 m2. Así podemos definir la intensidad de la radiación solar como la potencia de la radiación recibida del Sol en un área de 1 m2. De donde:

$$\text{Intensidad de la radiación solar} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}}$$

Expresada en kW/m^2

Como la potencia es igual a la energía liberada dividida entre el tiempo tenemos:

$$\text{Potencia} = \frac{58.8 \text{ kJ}}{60 \text{ s}} = 0.98 \text{ kW}$$

Para determinar la intensidad de la radiación solar, dividimos la potencia entre el área, es decir, entre 1 m2. Veamos.

$$\text{Intensidad de la radiación solar} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Área}} = \frac{0.98 \text{ kW}}{1 \text{ m}^2} = \frac{0.98\ kW}{\text{m}^2}$$

Cabe señalar que la intensidad de la energía solar que recibe cada m^2 de la parte externa de la atmósfera terrestre que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares, tienen un valor de 1.4 kW/m^2, pero sólo llegan a la superficie de la Tierra 0.98 kW/m^2, pues 0.42 kW/m^2 los absorbe la atmósfera.

Si alrededor del mediodía se colocan en una mesa dos latas, una pintada interiormente de negro y otra de blanco conteniendo la misma cantidad de agua, por ejemplo 500 ml (0.5 kg), y se exponen directamente a los rayos solares durante unos 10 minutos, al medir la temperatura en cada lata con un termómetro, se observará que en la pintada de negro es un poco mayor. Esto se debe a que absorbe mejor la energía radiante del Sol que incide en ella, mientras que la lata pintada de blanco la refleja.

Una lata pintada interiormente de negro se calienta más que una lata pintada de blanco, ya que absorbe mejor la energía radiante del Sol.

Transformación de la energía solar

Actualmente, el aprovechamiento de la energía solar por el hombre está en pleno desarrollo, pues además de los usos señalados, también se están construyendo destiladores solares para obtener agua potable a partir del agua de los mates (figura No 4). Se han construido desecadores solares de frutos y pescados, así como baterías solares con placas semiconductoras que transforman la energía luminosa del Sol en energía eléctrica. Hoy, las baterías solares se utilizan en motores para lograr la locomoción de autos eléctricos, en el funcionamiento de receptores de radio, de calculadoras de bolsillo y en algunos dispositivos eléctricos de las naves espaciales, entre otros usos.

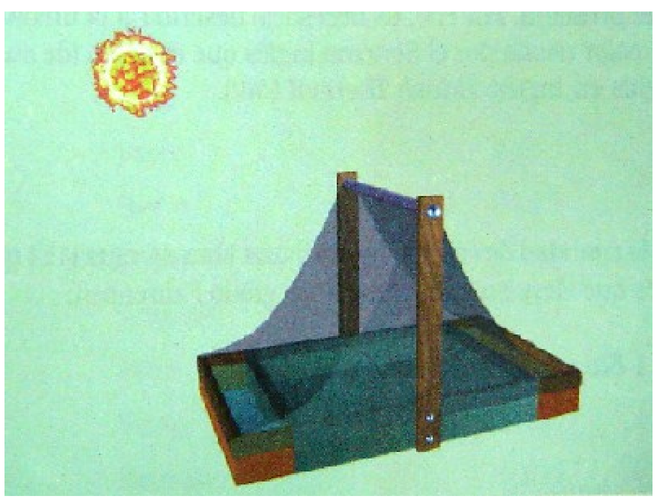


Fig. 4 En los destiladores solares se utiliza la energía calorífica proveniente del Sol, para obtener agua potable a partir del agua salada de los mares.

UNIDADES PARA MEDIR EL CALOR

Como ya señalamos, el calor es una forma de energía llamada energía calorífica. Por tanto, las unidades para medir el calor son las mismas del trabajo mecánico y de la energía:

a) Sistema Internacional de Unidades (SI):

joule = newton metro = *N*m = *J*

b) Sistema CGS:

ergio = dina centímetro = dina cm

Recordemos que 1 *J* = 1 x 107 *erg.*

Aunque existen las unidades anteriores, aún se utilizan unidades como: la caloría y el *Btu* que a continuación describiremos.

Caloría

Es la cantidad de calor aplicado a un gramo de agua para elevar su temperatura 1ºC.

Kilocaloría

Es un múltiplo de la caloría y equivale a:

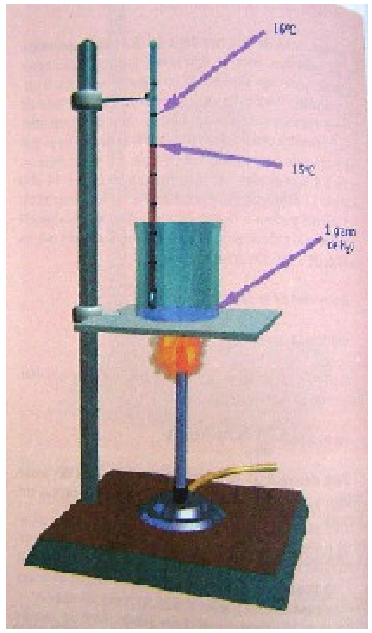
1 *kcal* = 1 000 *cal*

Como se señaló en la segunda unidad aún se usa mucho el Sistema Inglés a pesar de los inconvenientes que presenta. Por ello, es necesario describir a la unidad de calor usada por el Sistema Inglés que es el *Btu* (de sus siglas en inglés: *Britsh Thermal Unit).*

Btu

Es la cantidad de calor aplicada a una libra de agua (454 g), para que eleve su temperatura un grado Fahrenheit:

1 *Btu* = 252 *cal* = 0.252 *kcal*



Para que un gramo de agua aumente su temperatura un grado Celsius, se debe suministrar una caloría de energía térmica.

La equivalencia entre joules y calorías, es la siguiente:

1 joule = 0.24 *cal*

1 caloría = 4.2 *J*

CAPACIDAD CALORÍFICA

A partir de experimentos se ha observado que al suministrar la misma cantidad de calor a dos sustancias diferentes, el aumento de temperatura no es el mismo. Por consiguiente, para conocer el aumento de temperatura que tiene una sustancia cuando recibe calor, emplearemos su capacidad calorífica, la cual se define como la relación existente entre la cantidad de calor ΔQ que recibe y su correspondiente elevación de temperatura ΔT.

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

Como el calor puede estar expresado en calorías, *kcal,* joule, *erg* o *Btu;* y la temperatura en ºC, K, o ºF, las unidades de la capacidad calorífica pueden ser en: cal/ºC, *kcal/*ºC, *J/*ºC, *J/K, erg/ºC, Btu/ºF.*

En la determinación de la capacidad calorífica de una sustancia debe especificarse si se hace a presión o a volumen constante y se indicará de la siguiente manera: *C*p si es a presión constante, Cv si es volumen constante. La capacidad calorífica de una sustancia tiene un valor mayor si se lleva a cabo a presión constante. Toda vez que al aplicar presión constante a una sustancia, ésta sufre un aumento en su volumen, lo que provoca una disminución en su temperatura y, consecuentemente, necesitará más calor para elevarla. A volumen constante, todo el calor suministrado a la sustancia pasa a aumentar la energía cinética de las moléculas, por tanto, la temperatura se incrementa con mayor facilidad.

Es evidente que mientras más alto sea el valor de la capacidad calorífica de una sustancia, requiere mayor cantidad de calor para elevar su temperatura.

CALOR ESPECÍFICO

Puesto que la capacidad calorífica de una sustancia es la relación entre el calor recibido y su variación de temperatura; si calentamos diferentes masas de una misma sustancia, observaremos que su capacidad calorífica es distinta. Por ejemplo, al calentar dos trozos de hierro, uno de dos kg y otro de diez kg, la relación $\Delta Q / \Delta T = C$ es diferente ente los dos trozos, aunque se trata de la misma sustancia. Pero si dividimos el valor de la capacidad calorífica de cada trozo de hierro entre su masa, encontraremos que la relación: capacidad calorífica/masa, o bien, *C/m* para cada trozo es la misma. De donde: para un mismo material independientemente de su masa *C/m = constante*. A esta relación se le nombra calor específico y es una propiedad característica de la materia.

Por definición: el calor específico *Ce* de una sustancia es igual a la capacidad calorífica *C* de dicha sustancia entre su masa *m*.

$$Ce = \frac{C}{m}, \text{ como } C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

$$Ce = \frac{\Delta Q}{m\Delta T} \ldots \quad Q = mCe\,\Delta T$$

En términos prácticos, el calor específico se define como la cantidad de calor que se necesita un gramo de una sustancia para elevar su temperatura un grado Celsius.

En el cuadro 11.3 se dan valores del calor específico para algunas sustancias. En el caso del agua su valor es de 1 *cal/*gºC, esto quiere decir que un gramo de agua aumenta su temperatura un grado Celsius cuando se le suministra una cantidad de calor igual a una caloría.

Cuadro 11.3 CALORES ESPECÍFICOS (a presión constante)	
Sustancia	Ce en cal/g°C
Agua	1.00
Hielo	0.50
Vapor	0.48
Hierro	0.113
Cobre	0.093
Aluminio	0.217
Plata	0.056
Vidrio	0.199
Mercurio	0.033
Plomo	0.031

Según el cuadro 11.3 el agua tiene mayor calor específico, lo cual significa que necesita más calor para elevar su temperatura. Por ejemplo, cuando se ponen a calentar por separado la misma masa de dos sustancias diferentes, como el agua y la plata, se observará que al aplicarles cantidades iguales de calor, la plata se calentará aproximadamente 18 veces más rápido en comparación con el agua, por tanto, cuando ésta suba 1ºC de temperatura la plata subirá 18ºC (figura No 5).

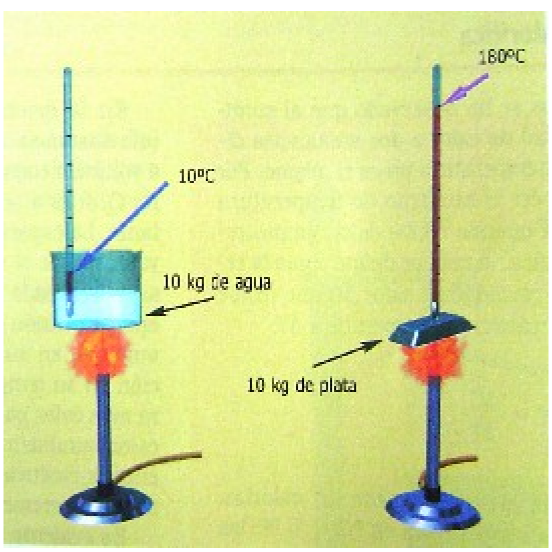


Fig. 5 Al aplicar el mismo calor a dos masas iguales de agua y plata, ésta se calienta 18 veces más rápido que el agua, pues es menor su calor específico.

CALOR LATENTE

Cuando una sustancia se funde o se evapora absorbe cierta cantidad de calor llamada calor latente, este término significa oculto, pues existe aunque no se incremente su temperatura ya que mientras dure la fusión o la evaporación de la sustancia no se registrará variación en la misma. En tanto, el calor sensible es aquel que al suministrarse a una sustancia eleva su temperatura.

Calor latente de fusión

Para que un sólido pase al estado líquido debe absorber la energía necesaria a fin de destruir las uniones entre sus moléculas. Por lo tanto, mientras dura la fusión no aumenta la temperatura. Ejemplo: para fundir el hielo o congelar el agua sin cambio en la temperatura, se requiere un intercambio de 80 calorías por gramo. El calor requerido para este cambio en el estado físico del agua sin que exista variación en la temperatura, recibe el nombre de calor latente de fusión o simplemente calor de fusión del agua. Esto significa que si sacamos de un congelador cuya temperatura es de -6ºC un pedazo de hielo de masa igual a 100 g y lo ponemos a la intemperie, el calor existente en el ambiente elevará la temperatura del hielo, y al llega a 0ºC y seguir recibiendo calor se comenzará a fundir. A partir de este momento todo el calor recibido servirá para que la masa de hielo se transforme en agua. Como requiere 80 calorías por cada gramo, necesitará recibir 8 mil calorías del ambiente para fundirse totalmente. Cuando esto suceda, el agua se encontrará aún a 0ºC y su temperatura se incrementará sólo si continúa recibiendo calor, hasta igualar su temperatura con la del ambiente.

El calor de fusión es una propiedad característica de cada sustancia, pues según el material de que esté hecho el sólido requerirá cierta cantidad de calor para fundirse. Por definición: el calor latente de fusión de una sustancia es la cantidad de calor que requiere ésta para cambiar 1 g de sólido a 1 g de líquido sin variar su temperatura.

$$\lambda f = \frac{Q \ldots Q\ m\lambda f}{m}$$

Donde: λf = calor latente de fusión en *cal/*g

Q = calor suministrado en calorías (*cal)*

m = masa de la sustancia en gramos (g)

Como lo contrario de la fusión es la solidificación, la cantidad de calor requerida por una sustancia para fundirse, es la misma que cede cuando se solidifica. Por tanto, con respecto a una sustancia el calor latente de fusión es igual al calor latente de solidificación.

En el cuadro 11.4 se dan algunos valores del calor latente de fusión para diferentes sustancias.
Calor latente de vaporización

A una presión determinada todo líquido calentado hierve a una temperatura fija que constituye su punto de ebullición. Éste se mantiene constante independientemente del calor suministrado al líquido, pues si se le aplica mayor cantidad de calor, habrá mayor desprendimiento de burbujas sin cambio en la temperatura del mismo.

Cuando se produce la ebullición se forman abundantes burbujas en el seno del líquido, las cuales suben a la superficie desprendiendo vapor. Si se continúa calentando un líquido en ebullición, la temperatura ya no sube, esto provoca la disminución de la cantidad del líquido y aumenta la del vapor. Al medir la temperatura del líquido en ebullición y la del vapor se observa que ambos estados tienen la misma temperatura, es decir, coexisten en equilibrio termodinámico.

A presión normal (1 *atm* = 760 mm de Hg), el agua ebulle y el vapor se condensa a 100ºC, a esta temperatura se le da el nombre de punto de ebullición del agua. Si se desea que el agua pase de líquido a vapor o viceversa sin variar su temperatura, necesita un intercambio de 540 calorías por cada gramo. Este calor necesario para cambiar de estado sin variar de temperatura se llama calor latente de vaporización del agua o simplemente calor de vaporización. Por definición: el calor latente de vaporización de una sustancia es la cantidad de calor que requiere para cambiar 1 g de líquido en ebullición a 1 g de vapor, manteniendo constante su temperatura.

$$\lambda v = \frac{Q \;...\; Q = m\lambda v}{m}$$

donde: λv = calor latente de vaporización en *cal/*g

Q = calor suministrado en calorías (*cal)*

m = masa de la sustancia en gramos (g)

Como lo contrario de la evaporación es la condensación, la cantidad de calor requerida por una sustancia para evaporarse es igual a la que cede cuando se condensa, por tanto, en ambos el calor es igual al calor latente de vaporización para dicha sustancia.

Cuadro 11.5 CALOR LATENTE DE VAPORIZACIÓN (a 1 atmósfera de presión)

Sustancia	λ_v en *cal/g*
Agua	540
Nitrógeno	48
Helio	6
Aire	51
Mercurio	65
Alcohol etílico	204
Bromo	44

CALOR CEDIDO Y ABSORBIDO POR LOS CUERPOS

Uso del calorímetro

Cuando un cuerpo caliente se pone en contacto con uno frío, existe un intercambio de energía calorífica del cuerpo caliente al frío hasta que igualan su temperatura. En un intercambio de calor, la cantidad del mismo permanece constante, pues el calor transmitido por uno o más objetos calientes será el que reciba uno o más objetos fríos. Esto da origen a la llamada Ley del Intercambio de Calor, que dice: en cualquier intercambio de calor efectuado, el calor cedido es igual al absorbido. En otras palabras:

Calor perdido = calor ganado

Cuando se realizan experimentos cuantitativos de intercambio de calor en el laboratorio, se deben evitar al máximo las pérdidas de éste, así nuestros cálculos serán confiables. Por ello, es común utilizar un calorímetro. El más usual es el de agua, el cual consta de un recipiente externo de aluminio que en su interior tiene otro del mismo material, aislado con el propósito de evitar pérdidas de calor. Tiene además un agitador, un termómetro y una tapa (figura No. 6).

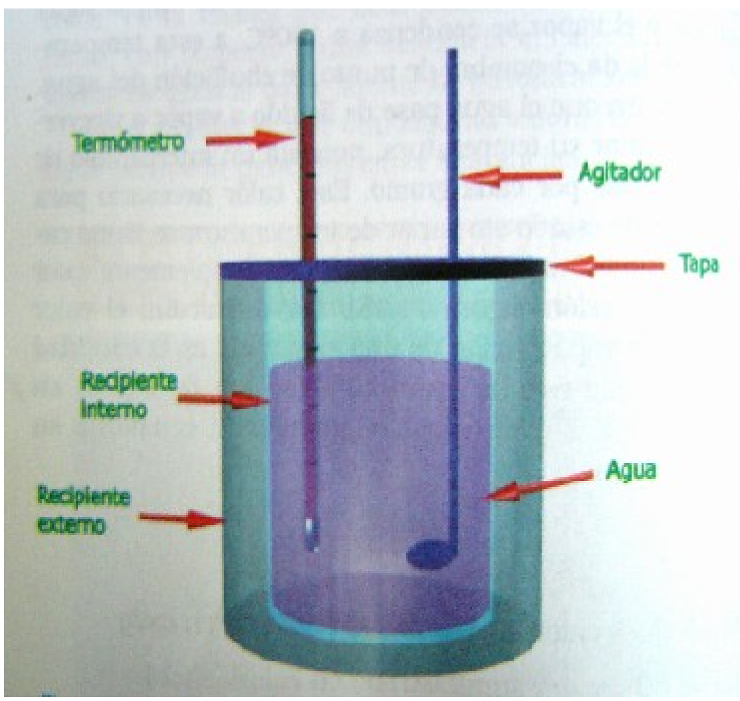


Fig. 6 Calorímetro de agua

Por el llamado método de las mezclas el calorímetro de agua permite determinar el calor especificado de algunas sustancias, para ello primero se le pone una masa determinada de agua a fin de conocer su temperatura. Después se determina la masa de la sustancia de la cual se va a calcular el calor específico y se calienta a una temperatura conocida (por ejemplo, e puede sumergir en agua previamente calentada a una cierta temperatura), para evitar su enfriamiento se introduce inmediatamente en el agua del calorímetro y se agita hasta que la temperatura indicada en el termómetro no varíe; esto significa que existe un equilibrio térmico en todas las partes. Al medir el aumento de temperatura en el agua del calorímetro se puede calcular cuál fue la cantidad de calor cedido al agua y al recipiente interior por la sustancia, y encontrar finalmente el calor específico de la misma mediante la sustitución de datos en la fórmula respectiva.

LOS GASES Y SUS LEYES

Un gas se caracteriza porque sus moléculas están muy separadas unas de otras, razón por la cual carecen de forma definida y ocupan todo el volumen del recipiente que los contiene. Son fluidos como los líquidos pero se diferencian de éstos por ser sumamente compresibles debido a la mínima fuerza de cohesión entre sus moléculas. De acuerdo con la Teoría Cinética Molecular, 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 lo contiene. Cuando la temperatura de un gas aumenta, se incrementa la agitación de sus moléculas y en consecuencia se eleva la presión. Pero, si la presión permanece constante, entonces aumentará el volumen ocupado por el gas. Si un gas se comprime, se incrementan los choques entre sus moléculas y se eleva la cantidad de calor desprendida, como resultado de un aumento en la energía cinética de las moléculas. Todos los gases pueden pasar al estado líquido siempre y cuando se les comprima a una temperatura inferior a su temperatura crítica. La temperatura crítica de un gas es aquella temperatura por encima de la cual no puede ser licuado independientemente de que la presión aplicada sea muy grande. Los gases licuados tienen muchas aplicaciones, tal es el caso del oxígeno líquido utilizado en la soldadura autógena o el hidrógeno líquido que sirve como combustible de las naves espaciales. Los gases cuyo punto de ebullición se encuentra cercano a la temperatura del medio ambiente, generalmente se conservan a alta presión en recipientes herméticamente cerrados, como son los tanques estacionarios o móviles en los que se almacena gas butano de uso doméstico, o el gas de los encendedores comerciales de cigarrillos.

Concepto de gas ideal

Un gas ideal es un gas hipotético 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 el 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.

Teoría cinética de los gases

La Teoría Cinética de los Gases parte de la suposición de que las moléculas de un gas están muy separadas y se mueven en línea recta hasta que al encontrarse con otra molécula se colisionan con ella o con las paredes del recipiente que las contiene.

Sus consideraciones principales son:

1. Los gases están constituidos por moléculas de igual tamaño y masa para un mismo gas, pero serán diferentes si se trata de gases distintos.

2. Las moléculas de un gas contenido en un recipiente se encuentran en constante movimiento, razón por la cual chocan entre sí o contra las paredes del recipiente que las contiene.

3. Las fuerzas de atracción intermoleculares son despreciables, pues la distancia entre molécula y molécula es grande y comparada con sus diámetros moleculares.

4. El volumen que ocupan las moléculas de un gas es despreciable en comparación con el volumen total del gas.

Ley de Boyle

El inglés Robert Boyle (1627-1691) es considerado el padre de la química moderna. Fue el iniciador de las investigaciones respecto a los cambios en el volumen de un gas, como consecuencia de las variaciones en la presión aplicada, y enunció la siguiente ley que lleva su nombre:

> Ley de Boyle: a una temperatura constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera inversamente proporcional a la presión absoluta que recibe.

Lo anterior quiere decir que cuando un gas ocupa un volumen de un litro a una atmósfera de presión, si la presión aumenta a dos atmósferas, el volumen del gas será ahora de medio litro (figura No 7). Por tanto, esta ley también significa que la presión (*P)* multiplicada por el volumen (*V)* es igual a una constante (*k)* para una determinada masa de un gas a una temperatura constante. De donde, la Ley de Boyle se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$PV = k$$

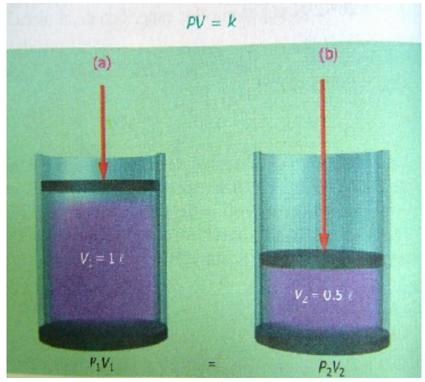


Fig. 7 Demostración de la Ley de Boyle: al aumentar la presión disminuye el volumen de un gas.

De acuerdo con la figura 7, tenemos que en (a) existe un estado 1 de presión y volumen:

$P1V1 = k$

Donde: 1 *atm* x 1 l = 1 *atm* l

En (b) existe un estado 2 de presión y volumen:

$P_2V_2 = k$

Donde: 2 *atm* x 0.5 l = *atm* l

Por tanto:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Esta ecuación relaciona los dos estados de presión y volumen para una misma masa de un gas a igual temperatura.

Ley de Charles

En 1785 el científico francés Jacques Charles fue el primero en hacer mediciones acerca de los gases que se expanden al aumentar su temperatura y enunció una ley que lleva su nombre:

> Ley de Charles: a una presión constante y para una masa dada de un gas, el volumen del gas varía de manera directamente proporcional a su temperatura absoluta.

La ley de Charles se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{V}{T} = K'$$

De acuerdo con la figura No 8, vemos que a una temperatura de 0 K, es decir, en el cero absoluto de temperatura y equivalencia a -263ºC, el volumen de un gas es nulo, lo cual significa que todo el movimiento de las moléculas ha cesado. En el cero absoluto de temperatura, la ausencia de volumen del gas y del movimiento de sus partículas implica el estado mínimo de energía y, por consiguiente, la mínima temperatura posible.

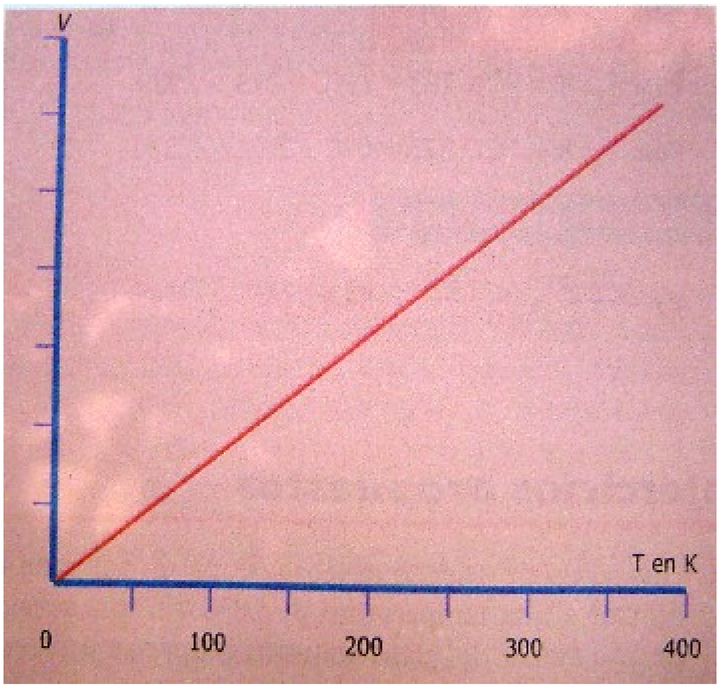


Fig. 8 El volumen de un gas aumenta a medida que se incrementa su temperatura absoluta.

Al considerar a un gas bajo dos diferentes condiciones de volumen y temperatura tenemos:

$\frac{V_1}{T_1} = k'$ (para un estado1 de volumen y temperatura)

$\frac{V_2}{T_2} = K'$ (para un estado 2 de volumen y temperatura)

donde: $$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Esta ecuación relaciona los dos estados de volumen y temperatura de un gas, para una masa y presión constantes.

Ley de Gay-Lussac

El científico francés Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) encontró la relación existente entre la temperatura y la presión de un gas cuando el volumen del recipiente que lo contiene permanece constante. Como resultado de ello, enunció la siguiente ley que lleva su nombre:

Ley de Gay-Lussac: a un volumen constante y para una masa determinada de un gas, la presión absoluta que recibe el gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

Lo anterior significa que si la temperatura de un gas aumenta, también aumenta su presión en la misma proporción, siempre y cuando el volumen del gas permanezca constante. En forma matemática esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{P}{T} = k''$$

Si consideramos a un gas bajo dos diferentes condiciones de presión y temperatura tenemos:

$\frac{P_1}{T_1} = k''$ (para un estado 1 de presión y temperatura)

$\frac{P_2}{T_2} = k''$ (para un estado 2 de presión y temperatura)

donde:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Esta ecuación relaciona los dos estados de presión y temperatura de un gas, para una masa y volumen constantes.

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.

No obstante, se debe buscar una relación real que involucre los cambios de presión, volumen y temperatura sufridos por un gas en cualquier proceso en que se encuentre. Esto se logra mediante la expresión:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

La relación anterior recibe el nombre de Ley General del Estado Gaseoso y resulta de gran utilidad cuando se desea conocer alguna de las variables involucradas en el proceso, como la presión, el volumen o la temperatura de una masa dada de un gas del cual se conocen los datos de su estado inicial y se desconoce alguno de ellos en su estado final. Por tanto, la Ley General del Estado Gaseoso establece que para una masa dada de un gas su relación PV/T siempre será constante.

La constante universal de los gases

Como ya hemos estudiado, sabemos que:

Donde: P = presión absoluta a la que se encuentra el gas.

V = volumen ocupado por el gas

n = número de moles del gas que se calcula dividiendo su masa entre su peso molecular:

$$n = \frac{m}{PM}$$

R = es la constante universal de los gases y su valor depende de las unidades usadas.

La ecuación 5 es una de las más utilizadas en fisicoquímica, ya que permite realizar varios cálculos al conocer el valor de R, pues establece una relación entre la presión, el volumen, la temperatura y el número de moles de un gas.

Para calcular el valor de R consideramos que un *mol* de cualquier gas ideal y en condiciones normales de presión y temperatura, es decir, una atmósfera y 273 k, ocupa un volumen de 22.413 litros. Por tanto, al despejar R de la ecuación 5 tenemos:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1\ atm\ x\ 22.423\ \mathrm{l}}{1\ mol\ x\ 273\ \mathrm{K}} = 0.0821\ atm\ \mathrm{l}/mol\ \mathrm{K}$$

Equivalente a:

$$R = 8.32\ J/mol\ \mathrm{K}$$

UNIDAD II
RESOLUCION DE EJERCICIOS DE TEMPERATURA Y CALOR

DILATACIÓN LINEAL

Problemas Resueltos

1. A una temperatura de 15 ºC una varilla de hierro tiene una longitud de 5 m. ¿Cuál será su longitud al aumentar la temperatura a 25 ºC?

Datos

$a_{Fe} = 11.7\, x 10^{-60} C^{-1}$

$L_0 = 5\, m$

$T_0 = 15\,^{o}C$

$T_f = 25\,^{o}C$

$L_f = ?$

Formulas

$L_f = L_0 \left[1 + a\,(T_f - T_0) \right]$

Sustitución y resultado

$$L_f = 5\, m\, [1 + 0.0000117\,^{o}C^{-1}\,(25\,^{o}C - 15\,^{o}C)]$$
$$= 5.000585\, m$$

Se dilato 0.000585 *m*

2. ¿Cuál es la longitud de un cable de cobre al disminuir la temperatura a 14 ºC, si con una temperatura de 42 ºC mide 416 m?

Datos

$L_f = ?$

$T_f = 14\,ºC$

$T_0 = 42\,^{o}C$

$L_0 = 416\, m$

$a_{Cu} = 16.7\, x 10^{-60} C^{-1}$

Formulas

$L_f = L_0\, [1 + a\,(T_f - T_0)]$

Sustitución y resultado

$$L_f = 416\, m\, [1 + 0.000167^{o} C^{-1} (14^{o}C - 42^{o}C)]$$
$$= 415.80547\, m$$

Se contrajo 0.19453 *m*

Ejercicios Propuestos

1. Un puente de acero de 100 m de largo a 8ºC, aumenta su temperatura a 24ºC. ¿Cuánto medirá su longitud?
   Respuesta:
   L_f = 100.0184 m

2. ¿Cuál es la longitud de un riel de hierro de 50 m a 40ºC, si desciende la temperatura a 6ºC? ¿Cuánto se contrajo?
   Respuestas:
   $L_f = 49.980011$ m
   Se contrajo 0.01998 m

Dilatación cúbica

1. Una barra de aluminio de 0.01 m^3 a 16ºC se calienta a 44ºC.
   Calcular:
   a) ¿Cuál será el volumen final?
   b) ¿Cuál fue su dilatación cúbica?

Datos

$\beta = 67.2\,x\,10^{-6}\,{}^{o}C^{-1}$

$V_0 = 0.01\,m^3$

$T_0 = 16^o C$

$T_f = 44^o C$

$a) V_f = ?$

$b) \Delta V = ?$

Formulas

$a) V_f = V_0\,[1\,\beta\,(T_f - T_0)]$

$b) \Delta V = V_f - V_0$

Sustitución y resultados:

$$a) V_f = 0.01\,m^3\,[1 + 0.0000672^o C^{-1}\,(44^o C - 16^o C)]$$
$$= 0.0100188\,m^3$$
$$b) \Delta V = V_f - V_0 = 0.0100188\,m^3 = 0.0000188\,m^3$$
$$= 1.88\,x\,10^{-5}\,m^3$$

2. Una esfera hueca de acero a 24ºC tiene un volumen de 0.2 m^3, calcular:
   a) ¿Qué volumen tendrá a – 4ºC en m^3 y en litros?
   b) ¿Cuánto disminuyo su volumen en litros?

Datos

$\beta = 34.5\,x\,10^{-6}\,{}^{o}C^{-1}$

$V_0 = 0.2\,m^3$

$T_0 = 24^o C$

$a) V_f = ?$

$T_f = -4^o C$

$b) \Delta V = ?$

Formulas

$a) V_f = V_0\,[1 + \beta\,(T_f - T_0)]$

$b) \Delta V = V_f - V_0$

Sustitución y resultados

$$a) V_f = 0.2\, m^3\, [1 + 0.0000345\, (-4^{\circ} C - 24^{\circ} C)]$$
$$= 0.1998068\, m^3$$
Conversion de unidades :
$$0.1998068\, m^3\ x\, \frac{1000\, l}{1\, m^3}$$
$$V_f = 199.8068\, l$$

$$b) 0.2\, m^3\ x\, \frac{1000\, l}{1\, m^3} = 200\, l$$
$$\Delta V = 199.8068\, l - 200\, l = -\, 0.1932\, l$$

3. ¿Cuál será el volumen final de 2 litros de alcohol etílico, si sufre un calentamiento de 18ºC a 45ºC? Diga también cuanto vario su volumen en litros y en cm^3.

Datos

$\beta = 746\, x 10^{-6\, \circ} C^{-1}$

$V_f = ?$

$V_0 = 2\, l$

$T_0 = 18^{\circ} C$

Δ *en litros y en* $cm^3 = ?$

$T_f = 45^{\circ} C$

Formulas

$a) V_f = V_0\, [1 + \beta\, (T_f - T_0)]$

$b) \Delta V = V_f - V_0$

Sustitución y resultado

$$V_f = 2\, l\, [1 + 0.0000746^{\circ} C^{-1}\, (45^{\circ} C - 18^{\circ} C)]$$
$$= 2.040284\, l$$
$$\Delta V = 2.040284\, l - 2\, l = 0.040284\, l$$
Conversion de unidades :
$$0.040284\, l\ x\, \frac{1000\, cm^3}{1\, l}$$
$$\Delta V = 40.284\, cm^3$$

4. A una temperatura de 15ºC un matraz de vidrio con capacidad de 1 litro se llena de mercurio y se calienta ambos a 80ºC,
   Calcular:

   a) ¿Cuál es la dilatación cúbica del matraz?
   b) ¿Cuál es la dilatación cúbica del mercurio?
   c) ¿Cuánto mercurio se derramara en litros y en cm^3?

Datos

Formulas

$\beta_{vidrio} = 219\,x\,10^{-6}\,{}^{o}C^{-1}$
$\beta_{Hg} = 182\,x\,10^{-6}\,{}^{o}C^{-1}$
$V_0 = 1\,l$
$T_0 = 15^{o}C$
$T_f = 80^{o}C$
$a)\Delta V_{matraz} = ?$
$b)\Delta V_{Hg} = ?$
$c)Hg\ derramado = ?$

$a)V_f = V_0\,[1 + \beta\,(T_f - T_0)]$
$b)\Delta V = V_f - V_0$

SUSTITUCION Y RESULTADO

$a) dilatacion\ cubica\ del\ matraz$
$V_f = 1l\,[0.0000219^{o}C^{-1}\,(80^{o}C - 15^{o}C)]$
$= 1.0014235\,l$
$\Delta V = 1.0014235\,l - 1\,l = 0.0014235\,l$

$b) dilatacion\ cubica\ del\ mercurio$
$V_f = 1l\,[[0.000182^{o}C^{-1}\,(80^{o}C - 15^{o}C)] = 1.01183\,l$
$\Delta V = 1.01183\,l - 1 = 0.01183\,l$

$c)$ *mercurio derramado en* l *y en* cm^3. *Puesto que el vidrio se dilato a* $0.0014235\,l$ *y el mercurio* $0.01183\,l$, *la diferencia entre los dos volumenes equivaldra al mercurio derramado*:
$0.01183\,l - 0.0014235\,l = 0.0104065\,l$

Conversion de unidades:
$$0.0104065\,l\ x\,\frac{1000\,cm^3}{1\,l} = 10.4065\,cm^3$$

Ejercicios propuestos

1. Un tubo de cobre tiene un volumen de 0.009 m^3 a 10ºC y se calienta a 200ºC. Calcular:
   a) ¿Cuál es su volumen final?
   b) ¿Cuál es su dilatación cúbica en m^3 y en litros?
   Respuestas:
   $a)V_f = 0.0090856\,m^3 = 9.0856\,x\,10^{-3}\,m^3$
   $b)\Delta V = 0.0000856\,m^3 = 0.0856\,l$

2. Una barra de aluminio tiene un volumen de 500 cm^3 a 90ºC. Calcular:
   a) ¿Cuál será su volumen a 20ºC?
   b) ¿Cuánto disminuyo su volumen?
   Respuestas:
   $a) V_f = 497.648\, cm^3$
   $b) \Delta V = 2.352\, cm^3$
3. Calcular el volumen final de 5.5 litros de glicerina si se calienta de 4ºC a 25ºC. Determine también la variación de su volumen en cm^3.
   Respuestas:
   $a) V_f = 5.560175\, l$
   $b) \Delta V = 56.0175\, cm^3$
4. Un tanque de hierro de 200 litros de capacidad a 10ºC, se llena totalmente de petróleo, si se incrementa la temperatura de ambos hasta 38ºC, calcular:
   a) ¿Cuál es la dilatación cúbica del tanque?
   b) ¿Cuál es la dilatación cúbica del petróleo?
   c) ¿Cuánto petróleo se derramara en litros y en cm^3?
   Respuestas:
   a) 0.19656 l
   b) 5.012 l
   c) 4.81544 l = 4815.44 cm^3.

Calor Específico

Problemas Resueltos

1. ¿Qué cantidad de calor se debe aplicar a una barra de plata de 12 Kg. para que eleve su temperatura de 22ºC a 90ºC?

Datos

$Q = ?$

$m = 12\, kg = 12\,000\, g$

$T_0 = 22^o C$

$T_f = 90^o C$

$Ce_{Ag} = 0.056\, Cal / g^o C$

Formulas

$Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

Q = 12 000 g x 0.056 cal/gºC (90ºC – 22ºC)
= 45 696 cal

2. 600 g de hierro se encuentran a una temperatura de 20ºC. ¿Cuál será su temperatura final si le suministran 8000 calorías?

Datos

Formulas

$m = 600\ g$
$T_0 = 20^{o}C$
$T_f = ?$
$Q = 8\,000\ cal$
$Ce_{Fe} = 0.113\ cal/g^{o}C$

$Q = mCe\,(T_f - T_0)$
despejando a T_f *por pasos*

$$T_f - T_0 = \frac{Q}{mCe}$$

$$\therefore T_f = \frac{Q}{mCe} + T_0$$

Sustitución y resultado

$$T_f = \frac{8\,000\ cal}{600\ g\ x\ 0.113\ cal/g^{o}C} + 20^{o}C$$
$$= 117.99^{o}C + 20^{o}C = 137.99^{o}C$$

3. ¿Qué cantidad de calor se necesita suministrar a 500 g de agua para que eleve su temperatura de 10ºC a 80ºC?

Datos
$Q = ?$
$m = 500\ g$
$T_0 = 10^{o}C$
$T_f = 80^{o}C$
$Ce_{H_2o} = 1\ cal/g^{o}C$

Formulas
$Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

Q = 500 g x 1 cal/gºC (80ºC – 10ºC) = 35 000 cal

4. ¿Cuantas calorías se deben suministrar para que un trozo de hierro de 0.3 Kg. eleve su temperatura de 20ºC a 100ºC?

Datos
$Q = ?$
$m = 0.3\ kg = 300\ g$
$T_0 = 20^{o}C$
$T_f = 100^{o}C$
$Ce_{Fe} = 0.113\ cal/g^{o}C$

Formulas
$Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

Q = 300 g x 0.113 cal/gºC x 80ºC = 2 712 cal

5. Determine el calo específico de una muestra metálica de 100 g que requiere 868 calorías para elevar su temperatura de 50ºC a 90ºC. Consulte el cuadro 11.3m a fin de identificar de que sustancia se trata.

Datos

Formulas

$Ce = ?$

$m = 100\ g$

$Q = 868\ cal$

$\Delta T = 90º C - 50º C = 40º C$

$$Ce = \frac{Q}{m\Delta T}$$

Sustitución y resultado

$$Ce = \frac{868\ cal}{100\ g\ x\ 40º C} = 0.217\ cal/gº C$$

Al consultar el cuadro de metal encontraremos que la muestra metálica es de aluminio.

6. Determinar la cantidad de calor que cede al ambiente una barra de plata de 600 g al enfriarse de 200ºC a 50ºC

Datos

$Q = ?$

$m = 600\ g$

$T_0 = 200º C$

$T_f = 50º C$

$Ce_{Ag} = 0.056\ cal/gº C$

Formulas

$Q = mCe\Delta T$

Sustitución y resultado

$$Q = 600\ g\ x\ 0.056\ cal/gº C\ (50º C - 200º C)$$
$$= -5040\ cal$$

Nota: El signo (-) indica que la temperatura del cuerpo disminuyo.

Ejercicios propuestos

1. ¿Qué cantidad de calor se debe aplicar a un trozo de plomo de 850 g para que eleve su temperatura de 18ºC a 120ºC?
   Dato: Ce_{Pb} = 0.031 cal/gºC
   Respuesta:
   Q = 2687.7 cal

2. La temperatura inicial de una barra de aluminio de 3 Kg. es de 25ºC. ¿Cuál será su temperatura final si al ser calentada recibe 12000 calorías?
   Dato: Ce_{Al} = 0.217 cal/gºC
   Respuesta:
   T_f = 43.43ºC

3. ¿Qué cantidad de calor necesitan 60 g de agua para que su temperatura aumente de 25ºC a 100ºC?
   Respuesta:
   Q = 4500 cal

4. Determinar las calorías requeridas por una barra de cobre de 2.5 Kg. para que su temperatura aumente de 12ºC a 300ºC
   Respuesta:
   Q = 66960 cal

5. Determine el calor específico de una muestra metálica de 400 g, si al suministrarse 620 calorías aumento su temperatura de 15ºC a 65ºC. Consulte el cuadro 11.3 e identifique de que sustancia se trata.
   Respuestas:
   Ce = 0.031 cal/gºC
   La muestra es de plomo

6. 2 Kg. de agua se enfrían de 100ºC a 15ºC. ¿Qué cantidad de calor cedieron al ambiente?
   Respuesta:
   Q = 170000 cal

Uso del Calorímetro

1. Un trozo de de hierro de 316.93 g se pone a calentar en un vaso de precipitados con agua hasta que alcanza una temperatura de 90ºC. Se introduce inmediatamente en el recipiente interior del calorímetro de aluminio cuya masa es de 150 g que contiene 300 g de agua a 18ºC. Se agita la mezcla y la temperatura aumenta hasta 25ºC. ¿Cuál es el calor específico del hierro?
   Datos

$$m_{Fe} = 316.93\ g$$
$$T_{Fe} = 90^{o}\,C$$
$$m_{Al} = 150\ g$$
$$Ce_{Al} = 0.217\ cal/g^{o}\,C$$
$$Ce_{H_2O} = 1.0\ cal/g^{o}\,C$$
$$m_{H_2O} = 300\ g$$
$$T_0 = 18^{o}\,C$$
$$T_f = 25^{o}\,C$$
$$Ce_{Fe} = ?$$

Calor perdido por el hierro = calor ganado por el agua y el aluminio.

$$Q_{Fe} = Q_{H_2O} + Q_{Al}$$
$$como\ Q = mCe\Delta T\ tenemos:$$
$$m_{Fe}Ce_{Fe}\,(T_{Fe} - T_f) = m_{H_2O}Ce_{H_2O}\,(T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}\,(T_f - T_0)$$

Sustitución y resultado

$$316.93\ g\ Ce_{Fe}\ (90^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$
$$= 300\ g\ x\,1\,cal/g^{\circ}C\ (25^{\circ}C - 18^{\circ}C) + 150\ g\ x\,0.217\,cal/g^{\circ}C\ (25^{\circ}C - 18^{\circ}C)$$
$$= 20600.45\ g^{\circ}C\ (Ce_{Fe})$$
$$= 2100\,cal + 227.85\,cal$$
$$Ce_{Fe} = \frac{2327.85\,cal}{20600.45\ g^{\circ}C} = 0.113\,cal/g^{\circ}C$$

2. Se introducen 140 g de una aleación a una temperatura de 93ºC en un calorímetro de aluminio de 50 g que contiene 200 g de agua a 20ºC. Se agita la mezcla y la temperatura se estabiliza a los 24ºC. ¿Cuál es el calor especifico de la aleación? (Consultar en el cuadro 11.3 los valores de los calores específicos que se requieran).
   Datos:
   $m_{aleac} = 140\ g$
   $T_{aleac} = 93^{\circ}C$
   $m_{Al} = 50\ g$
   $m_{H_2O} = 200\ g$
   $T_0 = 20^{\circ}C$
   $T_f = 24^{\circ}C$
   $Ce_{aleac} = ?$

3. Calor perdido por la aleación = calor ganado por el agua y el aluminio.

$$Q_{aleac} = Q_{H_2O} + Q_{Al} = m_{aleac}Ce_{aleac}$$
$$(T_{aleac} - T_f) = m_{H_2O}Ce_{H_2O}\ (T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}\ (T_f - T_0)$$

Sustitución y resultado

$$140\ g\ Ce_{aleac}\ (93^{\circ}C - 24^{\circ}C)$$
$$= 200\ g\ x\,1\,cal/g^{\circ}C\ (24^{\circ}C - 20^{\circ}C) + 50\ g\ x\,0.217\,cal/g^{\circ}C\ (24^{\circ}C - 20^{\circ}C)$$
$$= 9660\ g^{\circ}C\quad Ce_{aleac}$$
$$= 800\,cal + 43.4\,cal$$
$$Ce_{aleac} = \frac{843.4\,cal}{9660\ g^{\circ}C} = 0.087\,cal/g^{\circ}C$$

4. Determinar cual es la temperatura final de 900 g de agua a 17ºC contenida en un calorímetro de aluminio que tiene una masa de 300 g, después de introducir en ella un trozo de plomo de 400 g previamente calentado a 100ºC.
   Datos:

$T_f = ?$

$m_{H_2O} = 900\ g$

$T_0 = 17^o C$

$m_{Al} = 300\ g$

$m_{pb} = 400\ g$

$T_{pb} = 100^o C$

$Ce_{H_2O} = 1\ cal / g^o C$

$Ce_{Al} = 0.217\ cal / g^o C$

$Ce_{pb} = 0.031\ cal / g^o C$

Solución:

El calor perdido por le plomo = calor ganado por el agua y el aluminio.

$$Q_{pb} = Q_{H_2O} + Q_{Al}$$

$$m_{pb}Ce_{pb}\ (T_{pb} - T_f)$$
$$= m_{H_2O}Ce_{H_2O}\ (T_f - T_0) + m_{Al}Ce_{Al}\ (T_f - T_0)$$

$con\ \ (T_f - T_0)\ como\ \ factor\ comun:$

$$m_{pb}Ce_{pb}\ (T_{pb} - T_f) = (m_{H_2O}Ce_{H_2O} + m_{Al}Ce_{Al})\ (T_f - T_0)$$

Sustitución y resultado

$$400\ g\ x\ 0.031\ cal / g^o C\ (100^o C - T_f)$$
$$= (900\ g\ x\ 1\ cal / g^o C + 300\ g\ x\ 0.217\ cal / g^o C)\ (T_f - 17^o C)$$

$Multiplicando\ tenemos:$

$$12.4\ cal /^o C\ (100^o C - T_f)$$
$$= (900\ cal / g^o C + 65.1\ cal /^o C)\ (T_f - T17^o C)$$

$Multiplicando\ tenemos:$

$$1240\ cal - (12.4\ cal /^o C)\ (T_f)$$
$$= [(965.1\ cal /^o C)\ (T_f)] - 16406.7\ cal$$

$Al\ sumar\ cantidades\ con\ T_f\ \ y\ \sin T_f\ :$

$$1240\ cal + 16406.7\ cal$$
$$= 965.1\ cal /^o C\ T_f + [(12.4\ cal /^o C)\ (T_f)]$$
$$= 17.646.7\ cal = (977.5\ cal /^o C)\ (T_f)$$

$Despejando\ a\ T_f\ :$

$$T_f = \frac{17646.7\ cal}{977.5\ cal /^o C} = 18.05^o C$$

5. Una barra caliente de cobre cuya masa es de 1.5 Kg. se introduce en 4 Kg. de agua, elevando su temperatura de 18ºC a 28ºC. ¿Qué temperatura tiene la barra de cobre?
   Datos:
   $m_{Cu} = 1.5\,kg$
   $m_{H_2O} = 4\,kg$
   $T_0 = 18^{o}\,C$
   $T_f = 28^{o}\,C$
   $T_{cu} = ?$
   $Ce_{Cu} = 0.093\,cal/g^{o}\,C$
   $Ce_{H_2O} = 1\,cal/g^{o}\,C$

   Solución:
   Calor perdido por el cobre = calor ganado por el agua
   $Q_{Cu} = Q_{H_2O}$
   $m_{Cu}Ce_{Cu}(T_{Cu} - T_f) = m_{H_2O}Ce_{H_2O}\,(T_f - T_0)$

   Sustitución y resultado

   $1500\,g\;x\,0.093\,cal/g^{o}\,C\,(T_{Cu} - 28^{o}\,C)$
   $= 4000\,g\;x\,1\,cal/g^{o}\,C\,(28^{o}\,C - 18^{o}\,C)$
   $= 139.5\,cal/^{o}\,C\,(T_{Cu} - 28^{o}\,C) = 40000\,cal$
   $139.5\,cal/^{o}\,C\,T_{Cu} = 40000\,cal + 3906\,cal$
   Despejando a T_{Cu}
   $$T_{Cu} = \frac{43906\,cal}{139.5\,cal/^{o}\,C} = 314.7^{o}\,C$$

Ejercicios propuestos

1. Una barra de plata de 335.2 g con una temperatura de 100ºC se introduce en un calorímetro de aluminio de 60 g de masa que contiene 450 g de agua a 23ºC. Se agita la mezcla y la temperatura se incrementa hasta 26ºC ¿Cuál es el calor especifico de la plata?
   Respuesta:
   Ce_{Ag} = 0.056 cal/gºC

2. Un calorímetro se aluminio de 55 g de masa contiene 300 g de agua a una temperatura de 21ºC. Si en el se introdujeron 160g de una aleación a 85ºC, ¿cuál es su calor especifico si la temperatura del agua se incremento hasta 25ºC?
   Respuesta:
   Ce_{aleac} = 0.13 cal/gºC

3. Un recipiente de aluminio de 150 g contiene 200 g de agua a 10ºC. Determinar la temperatura final del recipiente y del agua, si se introduce en esta un trozo de cobre de 60 g a una temperatura de 300ºC

Respuesta:
$T_{Fe} = 115.47ºC$

Problemas resueltos: Ley de Boyle

1. un gas ocuapa un volumen de 200cm3 a una presion de 760 mm de Hg ¿Cuál sera su volumen si la presion recibida aumenta a 900 mm de Hg?

   Datos

   $V_1 = 200cm^3$
   $P_1 = 760mmdeHg$
   $V_2 = ?$
   $P_2 = 900mmdeHg$

   Formulas

   $$P_1V_1 = P_2V_2 \therefore V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2}$$

   Sustitución y resultado

   $$V_2 = \frac{760mmdeHg \times 200cm^3}{900mmdeHg} = 768.89cm^3$$

2. Calcular el volumen de un gas al recibir una presion de 2 atmósferas, si su volumen es de 0.75 litros a una presion de 1.5 atmósferas

   Datos

   $V_1 = ?$
   $P_1 = 2atm$
   $V_2 = 0.75\ell$
   $P_2 = 1.5atm$

   Formulas

   $$P_1V_1 = P_2V_2$$
   $$\therefore V_1 = \frac{P_2V_2}{P_1}$$

   Sustitución y resultado

   $$V_2 = \frac{1.5atm \times 0.75\ell}{2atm} = 0.56\ell$$

Ejercicios propuestos

1. Determinar l volumen que ocupará un gas a una presion de 587 mm de Hg si a una presion de 690 mm de Hg su volumen es igual a 1500cm3

Respuesta:
V_1= 1763.2 cm^2

2. Un gas recibe una presion de 2 atmósferas y ocupa un volumen de 125 cm3. calcular la presion que debe soportar para que su volumen sea de 95 cm3

Respuesta:
P_2= 2.63 atm

Ley de Charles

Ejercicios Resueltos

1. Se tiene un gas a una temperatura de 25ºC y con un volumen de 70 cm^3 a una presión de 586 mm de Hg. ¿Qué volumen ocupara este gas a una temperatura de 0ºC si la presión permanece constante?

Datos

$T_1 = 25^\circ C$

$V_1 = 70\, cm^3$

$V_2 = ?$

$T_2 = 0^\circ C$

$P = cte.$

Formulas

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \therefore$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

Conversión de unidades

$Para\ T_1 : K = {}^\circ C + 273 = 25^\circ C + 273 = 298\, K$

$Para\ T_2 : K = {}^\circ C + 273 = 0^\circ C + 273 = 273\, K$

Sustitución y resultado

$$V_2 = \frac{70\, cm^3\ x\ 273\, K}{298\, K} = 64.13\, cm^3$$

2. Una masa determinada de nitrógeno gaseoso ocupa un volumen de 0.03 *l* a una temperatura de 23ºC y a una presión de una atmósfera, calcular su temperatura absoluta si el volumen que ocupa es de 0.02 *l* a la misma presión.

Datos

$V_1 = 0.03\, l$

$T_1 = 23^\circ C$

$T_2 = ?$

$V_2 = 0.02\, l$

$P = cte.$

Formulas

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \therefore$$

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1}$$

$Despejando\ T_2\ por\ pasos$

$$V_1\, T_2 = V_2\, T_1 \therefore T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1}$$

Conversión de la temperatura en ºC a temperatura absoluta, es decir, a °K

$para\ T_1 : K = {}^\circ C + 273 = 23^\circ C + 273 = 296\, K$

Sustitución y resultado

$$T_2 = \frac{0.02\,l\ x\ 296\ K}{0.03\,l} = 197.3$$

Ejercicios propuestos

1. Una masa de oxigeno gaseoso ocupa un volumen de 50cm^3 a una temperatura de 18ºC y a una presión de 690 mm de Hg. ¿Qué volumen ocupara a una temperatura de 24ºC si la presión recibida permanece constante?
   Respuesta:
   $V_2 = 51.03\ cm^3$
2. Calcular la temperatura absoluta a la cual se encuentra un gas que ocupa un volumen de 0.4 l a una presión de una atmósfera, si a una temperatura de 45ºC ocupa un volumen de 1.2 l a la misma presión.
   Respuesta:
   $T_1 = 106\ K$

Problemas de la Ley de Gay – Lussac

Ejercicios Resueltos

1. Una masa dada de gas recibe una presión absoluta de 2.3 atmósferas, su temperatura es de 33ºC y ocupa un volumen constante y su temperatura aumenta a 75ºC, ¿Cuál será la presión absoluta del gas?

Datos

$P_1 = 2.3\,atm$

$T_1 = 33^{o}\,C + 273 = 306\,K$

$T_2 = 75^{o}\,C + 273 = 348\,K$

$P_2 = ?$

$V = cte.$

Formulas

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \therefore$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

Sustitución y resultado

$$P_2 = \frac{2.3\,atm\ x\ 348\,K}{306\,K} = 2.6\,atm$$

2. En un cilindro metálico se encuentra un gas que recibe una presión atmosférica de 760 mm de Hg., y cuando su temperatura es de 16ºC con el manómetro se registra una presión de 1650 mm de Hg. Si al exponer el cilindro a la intemperie eleva su temperatura a 45ºC debido a los rayos solares, calcular: a) ¿Cuál es la presión absoluta que tiene el gas encerrado en el tanque? b) ¿Cuál es la presión manométrica?

Datos

Formulas

$P_{atm} = 760\ mm\ de\ Hg$

$P_{1manom} = 1650\ mm\ de\ Hg$

$T_1 = 16º\,C + 273 = 289\ K$

$T_2 = 45º\,C + 273 = 318\ K$

$a) P_{2abs} = ?$

$b) P_{2manom} = ?$

$V = cte.$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \therefore$$

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}$$

Solución:

a) Como la presión absoluta del gas es igual a la presión atmosférica mas la presión manométrica tenemos:

$$P_{1abs} = 760\ mm\ de\ Hg + 1650\ mm\ de\ Hg$$
$$= 2410\ mm\ de\ Hg$$

Por lo tanto, la presión absoluta P_{2abs} será:

$$P_{2abs} = \frac{2410\ mm\ de\ \mathrm{Hg}\ x\ 318\ K}{289\ K} = 2651.8\ mm\ de\ Hg$$

b) La presión manométrica será igual a la presión absoluta menos la presión atmosférica, es decir:

$$P_{2manom} = P_{2abs} - P_{atm}$$
$$= 2651.8\ mm\ de\ Hg - 760\ mm\ de\ Hg$$
$$= 1891.8\ mm\ de\ \mathrm{Hg}$$

Ejercicios propuestos

1. Un gas encerrado en un recipiente mantiene una temperatura de 22ºC y tiene una presión absoluta de 3.8 atmósferas. ¿cuál es la temperatura del gas si su presión absoluta es de 2.3 atmósferas?
   Respuesta:
   $T_2 = 178.55$ K

2. Un balón de fútbol recibe una presión atmosférica de 78000 N/m^2 y se infla a una presión manométrica de 58800 N/m^2, registrando una temperatura de 19ºC. Si el balón recibe un incremento en su temperatura a 25ºC debido a los rayos solares, calcular:
   a) ¿Cuál será su presión absoluta?
   b) ¿Cuál será su presión manométrica?
   Respuestas:
   $a) P_{2abs} = 139\,610.96\ N/m^2$
   $b) P_{2manom} = 61610.96\ N/m^2$

Ley general del estado gaseoso

Ejercicios Resueltos

1. Una masa de hidrogeno gaseoso ocupa un volumen de 2 litros a una temperatura de 38ºC y aun a presión absoluta de 696 mm de Hg. ¿Cuál será su presión absoluta si su temperatura aumenta a 60ºC y su volumen es de 2.3 litros?

Datos

$V_1 = 2\,l$

$T_1 = 38^o C + 273 = 311\,K$

$P_1 = 696\,mm\ de\ Hg$

$V_2 = 2.3\,l$

$T_2 = 60^o C + 273 = 333\,K$

$P_2 = ?$

Formulas

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

despeje por pasos

$$P_1 V_1 T_2 = P_2 V_2 T_1 \therefore$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1 T}{V_2 V_1}$$

Sustitución y resultado

$$P_2 = \frac{696\,mm\ de\ Hg\ x\ 2\,l\ x\ 333\,K}{2.3\,l\ x\ 311\,K} = 648.03\,mm\ de\ Hg$$

2. Calcular el volumen que ocupara un gas en condiciones normales si a una presión de 858 mm de Hg. y 23ºC su volumen es de 230 cm^3

Datos

$P_1 = 858\,mm\ de\ Hg$

$T_1 = 23^o C + 273 = 296\,K$

$V_1 = 230\,cm^3$

$V_2 = ?$

Formulas

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \therefore$$

$$V_2 = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$$

Solución:

Como las condiciones normales se consideran a una temperatura de 0ºC, es decir 273 K, y a una presión de una atmósfera igual a 760 mm de Hg. tenemos que P_2 = 760 mm de Hg. y T_2 = 273 K. Sustitución y resultado:

$$V_2 = \frac{858\,mm\ de\ Hg\ x\ 230\,cm^3\ x\ 273\,K}{760\,mm\ de\ Hg\ x\ 296\,K} = 239.48\,cm^3$$

Ejercicios propuestos

1. Determinar el volumen ocupado por un gas que se encuentra a una presión absoluta de 970 mm de Hg. y a una temperatura de 57ºC, si al encontrarse a una presión absoluta de 840 mm de Hg. y a una temperatura de 26ºC su volumen es de 0.5 litros.
   Respuesta:
   V = 0.48 l

2. A un gas que esta dentro de un recipiente de 4 litros se le aplica una presión absoluta de 1020 mm de Hg. y su temperatura es de 12ºC. ¿Cuál será su temperatura si ahora recibe una presión absoluta de 920 mm de Hg. y su volumen es de 3.67 litros?

Respuesta:

$T_2 = 235.85$ K

Una masa de hidrogeno gaseoso ocupa un volumen de 200 litros en un tanque a presión de 0.8 atmósferas y a una temperatura de 22ºC

Calcular:

a) ¿Cuántos moles de hidrogeno se tienen?
b) ¿A que masa equivale el numero de moles contenidos en el tanque?

Datos

$V = 200\, l$

$P = 0.8\, atm$

$T = 22^{o}\, C + 273 = 295\, K$

$n = ?$

$R = 0.0821\, atm\, l / mol\, K$

Formulas

$a) PV = nRT \therefore$

$n = \dfrac{PV}{RT}$

$b) n = \dfrac{m}{PM}$

$m = nPM$

Solución:

$$a)\ n = \frac{0.8\, atm\ x\ 200\, l}{0.0821 \dfrac{atm\, l}{mol\, K}\ x\ 295\, K} = 6.606\, mol$$

$b) Como\ el\ peso\ molecular\ (PM)\ del\ hidrogeno, cuya\ molecula\ es\ diatomica\ (H_2), es\ igual\ a\ 2\ g/mol, tenemos\ que:$

$$m = nPM = 6.606\, mol\ x\ 2 \frac{g}{mol} = 13.2\ g\ de\ H_2$$

Ejercicio propuesto

Una masa de oxigeno gaseoso ocupa un volumen de 70 litros en un recipiente que se encuentra a una presión de 1.5 atmósferas y a una temperatura de 298 K. Determinar:

a) ¿Cuántos moles de oxigeno se tienen?
b) ¿Qué masa en gramos de oxigeno contiene el recipiente?

Dato: Peso atómico del oxigeno: 16

Respuestas:

$a)\ n_{O_2} = 4.292\, moles$

$b) m = 137.34\ g\ de\ O_2$

UNIDAD III: ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

3.1. ELECTROSTÁTICA Y ELECTRODINÁMICA

La electrostática se encarga del estudio de las cargas eléctricas, las fuerzas que se ejercen entre ellas y su comportamiento en los materiales

Las fuerzas eléctricas provienen de las partículas que componen los átomos, esto es los protones (con carga +), los electrones (con carga -) y los neutrones (con carga neutra, por lo que no atrae ni rechaza a los electrones ó a los protones).

La carga permite que exista el comportamiento de atracción y repulsión. La regla fundamental y básica que subyace a todo fenómeno eléctrico nos dice:

"LAS CARGAS ELÉCTRICAS IGUALES SE REPELEN; LAS CARGAS OPUESTAS SE ATRAEN".

- Ión: Este nombre lo recibe cualquier átomo con carga, puede ser negativo (si ha ganado electrones), ó positivo (si ha perdido electrones).

Todo objeto cuyo número de electrones sea distinto al de protones tiene carga eléctrica. Si tiene más electrones que protones, la carga es negativa. Si tiene menos electrones que protones, la carga es positiva.

Los electrones no se crean ni se destruyen, sino simplemente se transfieren de un material a otro. LA CARGA SE CONSERVA.

Un punto importante, es que un átomo siempre va a perder ó ganar electrones, nunca protones, ya que son los electrones los que se mueven de un material a otro.

CAMPO ELÉCTRICO

Campo eléctrico. Es la región de influencia de las cargas eléctricas. El campo eléctrico es invisible, pero su fuerza ejerce acciones sobre los cuerpos cargados y por ello es fácil detectar su presencia, así como medir su intensidad. El electrón y todos los cuerpos electrizados, tienen a su alrededor un campo eléctrico cuya fuerza se manifiesta sobre cualquier carga cercana a su zona de influencia. El campo magnético, aparece sólo cuando el electrón está en movimiento.

El inglés Michael Faraday en 1823, introdujo el concepto de líneas de fuerza, para representar gráficamente el campo magnético. Las líneas de fuerza que representan el campo eléctrico de una carga positiva salen radialmente de la carga. En una carga negativa, las líneas llegan de un modo radial a la carga.

Las líneas pueden dibujarse de manera que señalen, además de la dirección el sentido, el punto más intenso del campo eléctrico. Para esto, las líneas de fuerza estarán más juntas entre sí cuando el campo eléctrico sea más intenso. Y más separadas al disminuir la intensidad.

LA CARGA ELECTRICA Y LA LEY DE COULOMB

Los filósofos griegos, hacia el año 600 a. C., sabían ya que al frotar un trozo de ámbar éste atraía trocitos de paja. Existe una línea de desarrollo directa desde esta antigua observación hasta la era electrónica en que vivimos. La fuerza de esta relación se expresa con el término "electrón" que nosotros usamos y que se deriva de la palabra con que los griegos denominaban al ámbar.

Los griegos sabían también que ciertas "piedras" que se encuentran en la naturaleza, y que conocemos hoy día como mineral de magnetita, atraían al hierro. A partir de estos modestos orígenes medraron las ciencias de la electricidad y magnetismo, las cuales se desarrollaron en forma separada durante siglos, de hecho hasta 1820, cuando Hans Christian Oersted halló una relación entre ellas: una corriente eléctrica que pasara por una alambre desviaba la aguja magnética de una brújula. Oersted hizo este descubrimiento cuando preparaba una plática de demostración para sus estudiantes de física.

La nueva ciencia de electromagnetismo la desarrolló más ampliamente Michael Faraday (1791-1867), un experimentador dotado con un talento natural para la intuición y la abstracción en la física y cuyas notas que recogía en el laboratorio contienen una sola ecuación. James Clerk Maxwell (1831-1879) puso las ideas de Faraday en forma matemática e introdujo muchas ideas nuevas propias, dotando el electromagnetismo con una base teórica sólida. Las cuatro ecuaciones de Maxwell desempeñan el mismo papel en el electromagnetismo que las leyes de Newton en la mecánica clásica o las leyes de la termodinámica en el estudio del calor.

Maxwell llego a la conclusión de que la luz es de naturaleza electromagnética y que su velocidad podía deducirse a partir de mediciones puramente eléctricas y magnéticas. Así pues, la óptica estaba íntimamente relacionada con la electricidad y el magnetismo. El alcance de las ecuaciones de Maxwell es notable, pues abarcan los principios fundamentales de todos los aparatos electromagnéticos y ópticos en gran escala, como los motores, la radio, la televisión, el radar de microondas, el microscopio y el telescopio.

El desarrollo del electromagnetismo clásico no concluyó con Maxwell. El físico inglés Oliver Heaviside (1850-1925) y en especial el físico danés H. A. Lorentz (1853-1928) contribuyeron sustancialmente al esclarecimiento de la teoría de Maxwell. Heinrich Hertz (1857-1894) dio un gran paso hacia delante cuando, más de 20 años después de que Maxwell expusiera su teoría, produjo en el laboratorio ondas electromagnéticas "maxwelianas" de una clase que podríamos llamar ahora radioondas.

Pronto Marconi y otros desarrollaron aplicaciones prácticas de las ondas electromagnéticas de Maxwell y de Hertz. Albert Einstein basó su teoría de la relatividad en las ecuaciones de Maxwell; el trabajo de Einstein en 1905 en que presentaba la relatividad especial se tituló "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento."

El interés actual por el electromagnetismo adquiere dos formas. En el ámbito de las aplicaciones o en la práctica, las ecuaciones de Maxwell se emplean en el estudio de las propiedades eléctricas y magnéticas de nuevos materiales y en el diseño de aparatos electrónicos de una complejidad y perfección cada vez mayores. En el nivel más fundamental, se ha realizado esfuerzos para combinar o unificar el electromagnetismo con las demás fuerzas básicas de la naturaleza tal y como Oersted, Faraday y Maxwell demostraron que las distintas fuerzas de la electricidad y el magnetismo son parte de la fuerza unificada del electromagnetismo. En 1967 se logró un éxito parcial cuando Steven Weinberg y Abdus Salalm propusieron, de manera independiente, una teoría, desarrollada en un principio por Sheldon Glashow, la cual unificaba la interacción débil, responsable de ciertos procesos de desintegración radiactiva. Del mismo modo que la unificación del electromagnetismo de Maxwell podía predecir fenómenos que podían probarse directamente para corroborar la teoría, la teoría de la a interacción electrodébil de Glashow-Weinberg-Salam implicaba predicciones únicas que podían comprobarse experimentalmente. Estos ensayos realizaron en aceleradores de partículas de alta energía, comprobando las predicciones de la teoría electrodébil.

LA CARGA ELECTRICA

Si usted camina sobre una alfombra en tiempo seco, es muy probable que se produzca una chispa al tocar la perilla metálica de una puerta. En una escala más amplia, todos estamos familiarizados con el fenómeno del relámpago. Tales fenómenos ponen en evidencia la gran cantidad de carga eléctrica que se almacenan en los objetos que nos rodean.

La neutralidad eléctrica de la mayoría de los objetos en nuestro mundo visible y tangible oculta el contenido de cantidades enormes de carga eléctrica positiva y negativa que, en su mayor parte, se cancelan entre sí en sus efectos de una carga positiva o negativa total contenida en el cuerpo.

Los cuerpos cargados ejercen fuerzas entre sí. Para demostrarlo, carguemos una varilla de vidrio frotándola con seda. En el proceso de frotamiento se transfiere una pequeñísima cantidad de carga de un cuerpo a otro alterando así ligeramente la neutralidad eléctrica de cada uno. Si suspendemos esta varilla cargada de un cordón, como se muestra en la figura y si colocamos cerca una segunda varilla de vidrio cargada, las dos varillas se repelen entre sí. Sin embargo, si frotamos un trozo de piel contra una varilla de plástico, ésta atrae al extremo de la varilla de vidrio suspendida.

Para explicar esto decidimos entonces que existen dos clases de carga, una de las cuales (la del vidrio frotado con la seda) llamamos positiva y la otra (la del plástico frotado con piel) llamamos negativa. Estos sencillos experimentos pueden resumirse en lo siguiente:

Las cargas del mismo signo se repelen, y las cargas de signo contrario se atraen.

Consideramos sólo cargas en reposo entre sí o bien que se mueven muy lentamente, restricción ésta que define al tema de la electrostática.

Los nombres de positivo y negativo referidos a la carga eléctrica se deben a Benjamin Franklin (1706-1790) quien, además de descollar en muchas y diferentes actividades, fue un científico de renombre internacional. Incluso se llegó a decir que los triunfos diplomáticos de Franklin en Francia durante la Guerra de Independencia estadounidense pudieron haberse atribuido al hecho de que se le consideraba un hombre de ciencia de prestigio extraordinario.

Las fuerzas eléctricas entre cuerpos cargas tienen muchas aplicaciones industriales, estando entre ellas el rociado electrostático de pintura y el recubrimiento con polvos, la precipitación de cenizas volante, la impresión sin impacto por chorro de tinta, y el fotocopiado.

La figura muestra una minúscula esfera portadora en una máquina de fotocopiado, cubierta de partículas de un polvo negro llamado toner, que se adhieren a la esfera portadora por medio de fuerzas electrostáticas.

Estas partículas de toner con carga negativa son atraídas de sus esferas portadoras a una imagen latente con carga positiva del documento que desea copiarse, la cual se forma sobre un tambor giratorio. Una hoja de papel carbonada atrae entonces hacia sí las partículas de toner del tambor, después de lo cual se funden mediante calor para obtener la copia final.

LA LEY DE COULOMB

Charles Agustín Coulomb (1736-1806) midió cuantitativamente la atracción y repulsión eléctricas y dedujo la ley que las gobierna. Su aparato, mostrado en la figura se asemeja a la varilla colgante, excepto que las cargas están confinadas a las pequeñas esferas a y b en la figura aquí mostrada.

Si a y b se cargan, la fuerza eléctrica sobre a tiende a retorcer la fibra de suspensión. Coulomb canceló este efecto de torsión al girar la cabeza de la suspensión en un ángulo que necesario para mantener a las dos cargas con determinada separación. El ángulo q es entonces una medida relativa de la fuerza eléctrica que actúa sobre la carga a. el aparato de la figura es una balanza de torsión; Cavendish empleó posteriormente un arreglo similar para medir las atracciones gravitatorias.

Los experimentos realizados por Coulomb y sus contemporáneos demostraron que la fuerza eléctrica que un cuerpo cargado ejerce sobre otro depende directamente del producto de las magnitudes de las dos cargas e inversamente del cuadrado de su separación. Esto es:

$F = k (q_1 q_2) / r^2$

Aquí F es la magnitud de la fuerza mutua que actúa sobre cada una de las dos cargas a y b, q1 y q2 son las medidas relativas de las cargas en las esferas a y b, r es la distancia entre sus centros. La fuerza en cada carga debida a la otra actúa a lo largo de la línea que une a las cargas. Las dos fuerzas apuntan en sentidos opuestos pero tienen magnitudes iguales, aun cuando las cargas sean diferentes.

Para convertir la proporcionalidad anterior en una ecuación, introduzcamos una constante de proporcionalidad, la cual representaremos por ahora como k. Así, obtenemos, para la fuerza entre las cargas,

$F = k (q_1 q_2) / r^2$

La ecuación que se llama ley de Coulomb, generalmente se cumple sólo para objetos cargados cuyas dimensiones sena mucho menores que la distancia entre ellos. A menudo decimos que se cumple sólo para cargas puntuales.

Nuestra creencia en la ley de Coulomb no se basa cuantitativamente en los experimentos de Coulomb. Las mediciones de la balanza de torsión son difíciles de llevar a cabo, de manera que la exactitud que se obtiene es aproximada.

La ley de Coulomb se asemeja a la ley de la variación inversa del cuadrado de la distancia enunciada por Newton para la gravitación, $F = Gm_1m_2 / r^2$, la cual tenía ya más de 100 años al momento en que se realizaron los experimentos de Coulomb. Ambas son leyes del inverso de los cuadrados; la carga q desempeña la masa m en la ley de la gravitación de Newton. Una diferencia entre las dos leyes es que las fuerzas gravitatorias, hasta donde sabemos, son siempre de atracción, mientras que las fuerzas electrostáticas pueden ser de repulsión o atracción, dependiendo de sí las dos cargas tienen el mismo signo o signos opuestos.

Existe otra diferencia importante entre las dos leyes. Al usar la ley de la gravitación, pudimos definir la masa a partir de la segunda ley de Newton, F = ma, y al aplicar luego la ley de la gravitación para masas conocidas pudimos determinar la constante G. Al usar la ley de Coulomb, adoptamos un enfoque distinto definimos para la constante k un valor particular, y luego empleamos la ley de Coulomb para determinar la unidad básica de carga eléctrica como la cantidad de carga que produce una unidad de fuerza estándar.

La unidad de carga en él SI es el coulomb (abreviatura C), el cual se define como la cantidad de carga que fluye en 1 segundo cuando existe una corriente constante de 1 ampere.

En el sistema SI, la constante k se expresa en la forma siguiente: $K = 1 / 4\pi\varepsilon_o$

Si bien la elección de esta forma para la constante k parece hacer innecesariamente compleja a la ley de Coulomb, termina por ser una simplificación de las fórmulas del electromagnetismo, las cuales se usan más a menudo que la ley de Coulomb.

La constante ε_o llamada constante de permitividad, tiene un valor que queda determinado por el valor adoptado de la velocidad de la luz. Su valor es: $\varepsilon_o = 8.85418 \times 10^{-12}\ C^2/N \cdot m^2$
También damos el valor de K en el SI = $9 \times 10^9\ N \cdot m^2 / C^2$
Y en el sistema CGS K = 1 dina cm^2 / ues^2

Unidades de carga eléctrica:

1 coulomb = 1 C = 6.24 x 10^{18} electrones
1 estatcoulomb = 1 ues = 2.08 x 10^{9} electrones
1 C = 3 x 10^{9} ues
1 electrón = -1.6 x 10^{-19} C
1 protón = 1.6x 10^{-19} C
1 milicouilomb = mC = 1 x 10^{-3} C
1 microcoulomb = μC = 1 x 10^{-6} C
1 nanocoulomb = nC = 1 x 10^{-9} C

ELECTRODINAMICA

LA ELECTRODINÁMICA cuántica es el máximo exponente de las teorías físicas, el más refinado y exacto modelo científico. Ello no se debe a que los físicos hayan discriminado otras teorías, sino a que la naturaleza parece haber conspirado en lograrlo. El ideal de la física, como hoy nos lo podemos imaginar, sería tratar adecuadamente las cuatro interacciones fundamentales que hay en la naturaleza (la gravitatoria, la débil, la electromagnética y la nuclear) en el contexto de las teorías cuánticas y relativistas. Pero este ideal está más remoto que la paz mundial y la justicia social: las fuerzas nucleares, cuyo misterio se ha develado con el modelo de los cuarks, son muy complejas, la gravitación ha probado ser reacia a cuantizarse y la interacción débil ha mostrado ser particularmente elusiva. Así las cosas, sólo las fuerzas entre cargas eléctricas han podido incorporarse en una teoría elegante, exacta, sin transacciones: la electrodinámica cuántica (EDC).

Mas esta catedral de la física teórica presenta problemas de comprobación experimental: en casi todos los sistemas físicos se cuela, sin que la inviten, alguna de las otras antipáticas interacciones; en casi todos, excepto en un efímero ejemplo: el positronio. Éste es un átomo semejante al del hidrógeno, pero con un positrón en lugar del protón que le sirve de núcleo. Ésta es toda la diferencia que hace al positronio el sistema predilecto de la EDC. Como el positrón es la antipartícula del electrón, idéntico a éste, excepto en su carga que es positiva, el positronio no tiene un núcleo "nuclear": es puramente electromagnético.

Desgraciadamente, la pareja electrón-positrón que forma el positronio, además de reunirse por la irresistible atracción eléctrica, tiene una maniaca tendencia a la autodestrucción: el electrón y el positrón desaparecen después de un corto abrazo. El único resultado de ese matrimonio suicida es una descendencia de uno o dos rayos *gamma.* Y el enlace dura demasiado poco para cualquier norma, en el mejor de los casos un diezmillonésimo de segundo. No obstante lo corto del lapso, en él girarán unidos durante medio millón de vertiginosas vueltas. Es en este positronio, microscópico y efímero, donde la EDC busca su mejor comprobación.

Hace varios decenios Martín Deutch encontró un positronio en su laboratorio del *Massachusetts Institute of Technology*. Pero no fue sino hasta hace poco que se pudo observar, en la Universidad Brandeis, uno de sus estados excitados. Las predicciones de la EDC se han visto confirmadas con gran precisión en estos experimentos, se han reducido las fuentes de incertidumbre y ha aumentado así la confianza de los físicos en la electrodinámica cuántica. Para describir un circuito eléctrico simple estudiaremos un sistema de protección catódica el cual puede consistir simplemente en una fuente de poder conectada a uno o más componentes, principalmente resistores (serán descritos más adelante), por medio de un alambre hecho de un material conductor (cobre, por ejemplo), el circuito eléctrico simple constituye una fuente de poder que va a proporcionar una fuerza electromotriz estableciendo diferencias de potencial a través de los varios componentes del circuito e impulsando la corriente a través de ellos. Todos estos componentes ofrecerán varios grados de resistencia al flujo de la corriente.

En cualquier circuito eléctrico, entonces, existen varios fenómenos que tenemos que medir:

1) La corriente, medida en amperes (A);
2) La fuerza electromotriz y la diferencia de potencial, ambas medidas en voltios (V);
3) La resistencia, medida en ohms (W).

CONDUCTORES

La naturaleza y los tipos de materiales que participan en las reacciones electroquímicas de un sistema de protección catódica pueden tener un gran efecto sobre los resultados que se obtengan. Es, por lo tanto, necesario familiarizarse con los factores que influyen en la conducción de corriente.

La conductividad eléctrica es el movimiento de la carga eléctrica. La habilidad de diferentes substancias para permitir el flujo de una carga está determinada por la movilidad de los electrones portadores de la carga o de los iones que contenga la sustancia.

Conductores de primer orden

Los conductores de primer orden son aquellos que poseen conductancia eléctrica, en los cuales los portadores de la carga son los electrones. Se caracterizan por tener una conducción sin transferencia substancial de masa. La mayoría de los metales, el grafito y algunos óxidos muestran este tipo de conducción. A veces, a estos materiales se les conoce como conductores metálicos y su conductividad decrece cuando aumenta la temperatura.

Conductores de segundo orden

Los conductores de segundo orden poseen conductancia iónica o electrolítica, y los portadores de la carga son los iones. En este tipo de conductores se da una transferencia de masa asociada con la conductividad. Las soluciones acuosas con sales disueltas, los suelos y las sales iónicas son algunos ejemplos de este tipo de conductores. Su conductividad aumenta cuando se incrementa la temperatura.

Conductores mixtos o de tercer orden

Algunos materiales, llamados comúnmente semiconductores, poseen tanto conductancia iónica como eléctrica. Por lo general predomina el carácter eléctrico. Su conductividad es demasiado baja en general, pero aumenta rápidamente con la temperatura. La mayoría de los óxidos metálicos (NiO, ZnO, etc.) y algunos metales (Si, Ge, etc.) se agrupan dentro de esta categoría.

AISLANTES

Otras clases de materiales que merecen ser mencionados son los aislantes. La conductancia en ellos es muy difícil, sin importar el tipo de mecanismo que participe en la conductividad, sobre todo si se les compara con la de los conductores mencionados antes.

La influencia del proceso de conducción en la conducta electroquímica de las reacciones es muy importante Cada reacción de corrosión, así como las presentes en sistemas de protección catódica, tienen un origen electroquímico y se presentan en la interfase entre un conductor de primer orden (eléctrico) y uno de segundo orden (electrolítico). Por ejemplo, si un metal (conductor) tiene una película de óxido o una capa de pintura (aislantes) sobre su superficie, se estaría esperando con esto que tuviera una alta resistencia en la transferencia de electrones. Esto cambiaría la velocidad de la reacción y la energía requerida para llevarla a cabo.

CARGA Y CORRIENTE

Ya que un electrón es una unidad de carga muy pequeña, para medirlo se utiliza una unidad más grande denominada coulomb. Un coulomb corresponde a 6.24 trillones de electrones (6.24 x1012). A la velocidad de flujo de la carga eléctrica se le conoce como corriente eléctrica (intensidad [I]). En fenómenos eléctricos la carga es análoga al volumen de líquido (litros) que fluye por una tubería y la corriente es equiparable a la velocidad de flujo (cantidad de litros por minuto) en dicha tubería.

El flujo de la carga puede trasladarse por medio de electrones (corriente eléctrica) o por iones (corriente iónica). El flujo de corriente en metales se da a través de un flujo de electrones. Un electrolito es aquella sustancia que conduce corriente por flujo iónico.

La unidad básica de la corriente eléctrica (I) es el ampere (A). Un ampere se define como la velocidad de flujo de una carga (Q) de un coulomb, por segundo. Así se expresa esta unidad para el consumo de algunos equipos eléctricos grandes o de celdas electrolíticas industriales a diferencia de los circuitos electrónicos transistorizados o las técnicas electroquímicas, en los cuales se emplean comúnmente dos submúltiplos de esta unidad que son el miliampere (mA: 0.001 A) y el microampere (mA: 0.000001 A).

Resumiendo, podemos decir que:

1 ampere = 1 coulomb/segundo
A = Q/seg.

De lo anterior se deduce que la cantidad total de electricidad (Q), en coulombs, que pasa por cualquier punto de un circuito eléctrico es el producto de la corriente (I), en amperes, y el tiempo (t) en segundos:

coulombs = amperes x segundos Q = It.

UNIDAD DE DIFERENCIA DE POTENCIAL. EL VOLT

Cuando una corriente eléctrica fluye a través de un alambre conductor, se dice que lo hace porque existe una diferencia de potencial entre los dos extremos del alambre. La diferencia de potencial entre dos puntos se define como el trabajo efectuado (que se mide en joules), cuando un coulomb de electricidad se mueve de un punto al otro. A la unidad con que se mide la diferencia de potencial se le llama volt y se define como sigue: dos puntos tienen una diferencia de potencial de 1 volt cuando se realiza un trabajo de 1 joule por cada coulomb de electricidad que transita de un punto al otro; por lo tanto

volt = joule/coulomb

por lo tanto: V = J/Q

FUERZA ELECTROMOTRIZ

La fuerza electromotriz (fem) de una celda se mide en volts y se define como la suma de las diferencias de potencial que puede producir a través de todos los componentes de un circuito al cual está conectado, incluyendo la diferencia de potencial requerida para impulsar la corriente a través de la misma celda.

La fem de una celda en volts se define entonces como el trabajo total efectuado en joules por los coulombs de electricidad transportados en un circuito en el que la celda está conectada.

RESISTENCIA

Se ha dicho que los diferentes materiales pueden ser clasificados como conductores buenos o malos y como aislantes. En lo que se refiere a la corriente eléctrica, por lo general se piensa en términos de la habilidad de una sustancia para oponerse al flujo de corriente que pasa por ella. Un buen conductor, se dice, tiene una resistencia pequeña y un mal conductor, una resistencia alta.

Se verá más adelante que la resistencia de un material depende de sus dimensiones y de la sustancia con que está hecho. Para un cable de dimensiones dadas, la plata ofrece la menor resistencia al paso de la corriente, pero como este metal es demasiado caro para un uso común, se usa el cobre para el cableado y la conexión de alambres en los circuitos eléctricos.

Cuando se requiere de una alta resistencia, se emplean casi siempre ciertas aleaciones especiales, para reducir la corriente en un circuito, como el constantan, el manganin y el nicromel.1

El constantan se emplea para uso general, mientras que el manganin se emplea más bien para manufacturar resistores estandarizados de alta calidad, ya que estas aleaciones presentan pequeños cambios en la resistencia debidos a la temperatura.

LEY DE OHM

En 1826 el profesor de física Simon Ohm estableció la siguiente ley como resultado de varios experimentos que efectuó para investigar la relación entre la corriente que pasa por un alambre y la diferencia de potencial establecida entre los extremos del mismo: "La corriente que pasa por un alambre a temperatura constante es proporcional a la diferencia de potencial en sus extremos." El conductor que siga esta relación (los conductores eléctricos) obedece a la ley de Ohm. Matemáticamente esta ley se expresa de la siguiente manera:

$$I = \frac{V}{R} \therefore V = (I)(R) \text{ o también } R = \frac{V}{I}$$

V= Volts
R= Ohms
I= Ampere

En otras palabras, la resistencia de un conductor es la proporción de la diferencia de potencial a través de él y la corriente que fluye. A la unidad de resistencia eléctrica se le llama ohm y se define como: "la resistencia de un conductor dado, cuando se aplica una diferencia de potencial de 1 volt en sus extremos y una corriente de 1 ampere fluye por él":

$$\frac{\text{voltios}}{\text{amperes}} = \text{ohms}$$

lo que formalizado de otra manera es:

V = IR

La resistencia de un metal puro aumenta con la temperatura, pero la resistencia de otros materiales conductores, como el carbón por ejemplo, decrece con la temperatura. En otras sustancias, como los semiconductores (germanio, silicio y selenio), las disoluciones iónicas que contienen las sales y los suelos, la resistencia también disminuye cuando aumenta la temperatura.

CIRCUITOS ELECTRICOS

RESISTENCIA EN SERIE

Se dice que un número de resistores, (R_1, R_2, R_3, R_n, ...) están conectados en serie si su conexión es consecutiva extremo con extremo, de tal suerte que la misma corriente (I), en amperes, fluya a través de cada una (Figura 1).

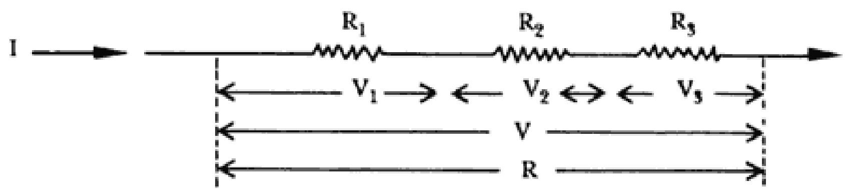


Figura 1. Parte de un circuito eléctrico.

Si R es la resistencia combinada y V, en volts, es la diferencia de potencial total a través de los resistores:

$V = IR$

pero como V es igual a la suma de las diferencias de potencial individuales a través de R_1, R_2 y R_3:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$
$$V = 1R_1 + 1R_2 + 1R_3$$

por lo tanto,

$IR = 1R_1 + 1R_2 + 1R_3$,

y dividiendo todo entre I, tenemos que:

$R_e = R_1 + R_2 + R_3$.

RESISTENCIA EN PARALELO

Se dice que los resistores están en paralelo cuando son colocados uno al lado del otro y sus extremos permanecen unidos (Figura 2). La misma diferencia de potencial será entonces aplicada a cada uno, pero compartirán la corriente en el circuito.

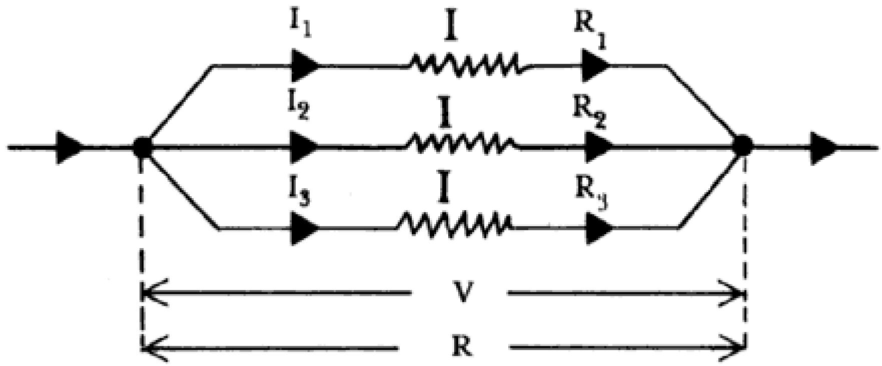


Figura 2. Parte de un circuito eléctrico
Si R es la resistencia combinada, se puede reescribir:

$$I = \frac{V}{R}$$

la corriente total es:

$I = I_1 + I_2 + I_3$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

Por lo tanto,

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

y dividiendo todo entre V, tenemos que:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$$

IMPORTANCIA PRÁCTICA DE LA RESISTENCIA INTERNA DE UNA CELDA

Existen diversos tipos de celdas como, por ejemplo, las pilas secas, que pueden obtenerse de tamaños diferentes. Las fuerzas electromotrices de estas celdas serán idénticas en tanto estas últimas sean fabricadas con el mismo material exactamente y con concentraciones de electrolitos iguales. La fuerza de la corriente que se obtiene de una celda no sólo depende de su fuerza electromotriz, sino también de la resistencia interna propia. Con el fin de obtener una corriente grande, la resistencia interna debe de ser baja. En el caso de un acumulador, esto significa que las placas de plomo deben de tener una gran área y deben estar espaciadas a muy corta distancia. Asimismo, la concentración del electrolito debe ser tal que su resistencia sea la más baja posible.

De acuerdo con su tamaño y construcción, la resistencia interna de una pila seca varía de 0.5 a 1.0 ohm, y la fem es aproximadamente de 1.5 V. Por lo tanto, si las terminales de una pila seca son cortocircuitadas con un pedazo grueso de alambre de cobre cuya resistencia sea despreciable, la máxima corriente que se obtiene sería de 3 a 0.5 A.

La marcha eléctrica de un motor de automóvil necesita de una corriente alta para poder operar. Por esto, las baterías o acumuladores de coches de combustión interna son fabricadas de celdas que contienen muchas placas delgadas con pequeños espaciamientos entre ellas. Ocho pilas secas en serie tendrán la misma fem que la batería de 12 V de un coche, pero serían inoperativas para arrancar la marcha en virtud de su alta resistencia interna.

ARREGLOS DE CELDAS

Se denomina batería a un grupo de celdas conectadas entre sí. Normalmente las celdas se conectan en serie, o sea que el polo positivo de una es conectado al extremo negativo de la próxima celda, etc. (véase la figura 3). En ocasiones, sin embargo, pueden ser conectadas en paralelo, es decir, todos los extremos positivos conectados entre sí, lo mismo que los extremos negativos (Figura 4).

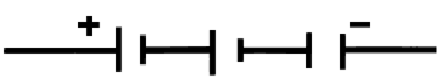


Figura 3. Celdas en serie.

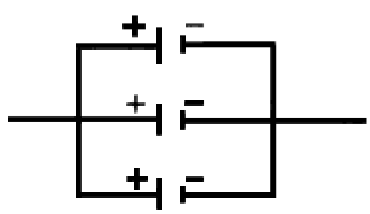


Figura 4. Celdas en paralelo.

Cuando se requiere de la corriente máxima de un número dado de celdas, el arreglo empleado dependerá de la resistencia del circuito externo. Hablando de manera general, se usa una conexión en serie cuando la resistencia del circuito es alta, comparada con la de las celdas, y se emplea una en paralelo cuando la resistencia es baja.

Cuando las celdas están conectadas en serie, la fem total de la batería es igual a la suma de las fems por separado y la resistencia interna es igual a la suma de las resistencias internas de las celdas por separado. Cuando celdas de igual fem y resistencia son conectadas en paralelo, la fem que resulta es la misma que la de una sola celda y la resistencia interna de la batería se calcularía de acuerdo con la fórmula de los resistores en paralelo.

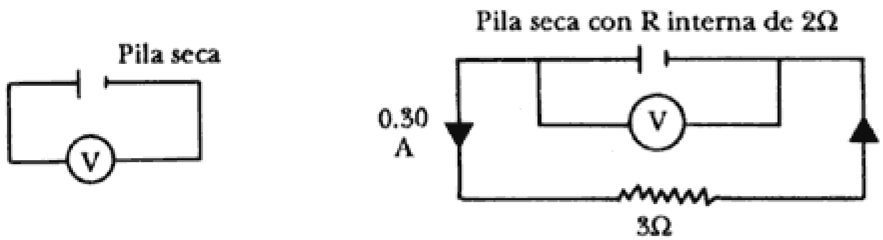
Una ventaja que se obtiene al conectar celdas en paralelo es que existe un drenaje menor de corriente en las celdas, ya que éstas comparten la corriente total, mientras que en las conexiones en serie la misma corriente principal es proporcionada por cada una de las celdas.

Las celdas nunca se deben dejar conectadas en paralelo cuando no están en uso, ya que si la fem de una es ligeramente mayor que la de la otra, comenzará a circular corriente en la batería misma y las celdas se agotarán rápidamente. Esto no sucede cuando se conectan en serie.

"PÉRDIDA O CAÍDA DE VOLTAJE" CUANDO UNA CELDA PRODUCE CORRIENTE EN UN CIRCUITO

Por razones prácticas, la fem de una celda puede medirse con un valor muy aproximado si tomamos la lectura de un voltímetro de alta resistencia conectado directamente a través de las terminales de la celda cuando ésta no se encuentre conectada a ningún circuito.

Supongamos que un voltímetro conectado a las terminales de una pila seca, con una resistencia interna de 2W , da una lectura de 1.5 V: Esta es la fem de la pila (Figura 5 a).



(a) El voltímetro de alta resistencia mide una fem de 1.5 V (se desprecia el flujo de corriente). (b) El voltímetro mide sólo 0.90 V. Una pérdida de voltaje de 0.60 V impulsa la corriente a través de la resistencia interna.

Cuando un resistor de 3W se conecta a las terminales de la celda y una corriente fluye a través de él, se observa que la lectura del voltímetro ha caído a 0.90 V (Figura 5 b). La celda parece haber "perdido" 0.6 V (1.5 - 0.9 = 0.6 V). Esto puede explicarse como sigue: la corriente que circula por el circuito está dada por

$$I = \frac{\text{fem}}{\text{resistencia total}} = \frac{E}{R+B}$$

en donde
E = fem
R = resistencia del circuito externo
B = resistencia interna de la celda.

$$I = \frac{1.5}{3 + 2} = 0.30 \text{ A.}$$

La diferencia de potencial (dp) requerida para impulsar esta corriente a través de la resistencia externa de 3 W es:

V = IR
V = 0.30 X 3.0
V = 0. 90 V,

que es el valor de la lectura del voltímetro.

El voltímetro está conectado a las terminales de la celda, pero en cambio si estuviera conectado a través de los extremos de la resistencia de 3W , no habría diferencia alguna en la lectura. Esto se debe al hecho de que los alambres que conectan la celda a la resistencia tienen una resistencia despreciable y por consiguiente su dp también es despreciable; por lo tanto, la dp en las terminales de la celda es igual a la dp en el resistor.

La dp requerida para impulsar la corriente a través de la misma celda está dada por:

Corriente multiplicada por = 0.30 x 2.0 = 0.60 V, la resistencia interna

valor igual al "voltaje perdido" o sea la "caída de potencial" de la celda.

Se dijo al principio de esta sección que un voltímetro daría un valor muy aproximado de la fem de la celda. Esto se debe a que incluso un voltímetro de muy alta resistencia drena algo de corriente y por esta razón una pequeña parte de la fem de la celda se "perderá" en impulsar dicha corriente a través del equipo de medición. Sin embargo, si la resistencia del voltímetro es muy alta, comparada con la resistencia de la celda, la corriente drenada será muy pequeña y en consecuencia la "caída de potencial" en este caso será numéricamente despreciable.

LEYES DE KIRCHHOFF

Si un circuito tiene un número de derivaciones interconectadas, es necesario aplicar otras dos leyes para obtener el flujo de corriente que recorre las distintas derivaciones. Estas leyes, descubiertas por el físico alemán Gustav Robert Kirchhoff, son conocidas como las leyes de Kirchhoff. La primera, la ley de los nudos, enuncia que en cualquier unión en un circuito a través del cual fluye una corriente constante, la suma de las intensidades que llegan a un nudo es igual a la suma de las intensidades que salen del mismo. La segunda ley, la ley de las mallas afirma que, comenzando por cualquier punto de una red y siguiendo cualquier trayecto cerrado de vuelta al punto inicial, la suma neta de las fuerzas electromotrices halladas será igual a la suma neta de los productos de las resistencias halladas y de las intensidades que fluyen a través de ellas. Esta segunda ley es sencillamente una ampliación de la ley de Ohm.

Estas dos leyes fueron formuladas por Gustav Kirchhoff en 1845, mientras aún era estudiante. Son muy utilizadas en ingeniería eléctrica pues permiten resolver cualquier circuito eléctrico resistivo utilizando un algoritmo sistemático, sencillamente programable en sistemas de cálculo informatizado mediante matrices, así como aproximaciones de circuitos dinámicos. Pueden derivarse fácilmente de la ley de conservación de la energía y son equivalentes, es decir, dada una de ellas es posible demostrar la otra. Para su enunciado es necesario previamente definir los conceptos de malla y de nodo:

Definiciones

- Malla o lazo es el circuito que resulta de recorrer el esquema eléctrico en un mismo sentido regresando al punto de partida, pero sin pasar dos veces por la misma rama.

- Nudo o nodo es el punto donde concurren varias ramas de un circuito. El sentido de las corrientes es arbitrario y debe asignarse previamente al planteo del problema.

- Rama es el fragmento de circuito eléctrico comprendido entre dos nodos.

Enunciado de las Leyes

- PRIMERA LEY o *ley de los nudos o ley de tensiones de Kirchoff (KVL en sus siglas inglesas)*:

En todo nudo, la suma de corrientes entrantes es igual a la suma de corrientes salientes. Un enunciado alternativo es: en todo nudo la suma algebraica de corrientes debe ser cero.

- SEGUNDA LEY o *ley de las mallas o ley de corrientes de Kirchoff (KCL en sus siglas inglesas)*:

En toda malla la suma de todas las caídas de tensión es igual a la suma de todas las fuerzas electromotrices.

Ejemplo

$12 = I * 1 + I * 5 + I * 5 + 4 + I * 1 + I * 4$

$12 = 4 + 16 * I$

$$I = \frac{12 - 4}{16} = 0.5A$$

Ecuaciones de la primera y segunda ley de Kirchhoff

Primera ley de Kirchhoff

$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad \therefore$ Para calcular las intensidades desconocidas, tenemos:

$I_1 = I_2 + I_3 \quad \therefore \quad I_2 = I_1 - I_3$

Segunda ley de Kirchhoff

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

3.2. ELECTROMAGNETISMO

Hace dos mil años aproximadamente, unos pastores de Magnesia (ciudad antigua de Turquía), cuando conducían a sus corderos a cierto pasto, sintieron una fuerte atracción hacia el suelo debido a la punta metálica de su bastón y a los clavos de su calzado, que les dificultó seguir caminando. Interesados por encontrar la causa removieron la tierra y descubrieron una roca negra, la cual atraía al hierro. Hoy esta roca recibe el nombre de piedra imán o magnetita; químicamente es un mineral de óxido de hierro cuya fórmula es $Fe_3 O_4$.

Más adelante, la gente descubrió que la colgar libremente de un hilo un pedazo largo y delgado de la roca negra de Magnesia, esta daba varias vueltas hasta detenerse y apuntar siempre el mismo extremo hacia el Polo Norte geográfico y el otro al Polo Sur; por ello la usaron como brújula con el propósito de orientarse durante largos viajes.

Existen bases para suponer que en el año 121 A. de C. los chinos usaban el imán como brújula probablemente los chinos, descubrieron el magnetismo terrestre, produciendo como resultado tecnológico la invención de la brújula, y su posterior aplicación a la navegación marítima.

Wiliam Gilbert (1540-1603) demostró que la tierra se comporta como un enorme imán, también demostró que cuando un imán se rompe en varios trozos, cada uno se convierte en un nuevo imán con sus respectivos polos magnéticos. Por tanto no existen polos magnéticos separados, contrarios a las cargas eléctricas que sí se separan. Gilbert demostró que polos iguales se rechazan y polos diferentes se atraen.

El campo magnético de un imán es la zona que lo rodea y en el cual su influencia puede detectarse. Faraday imaginó que de un imán salía hilos o líneas que se esparcían, a éstas las llamo líneas de fuerza magnética. Dichas líneas aumentan en los polos, pues ahí es mayor la intensidad magnética.

Magnetismo es la propiedad que tienen los cuerpos llamados imanes de atraer al hierro, al níquel y al cobalto.

La importancia de los imanes y del magnetismo es muy grande porque se utilizan en muchos aparatos tales como timbres, alarmas, teléfonos, conmutadores, motores eléctricos, brújulas y separadores de cuerpos metálicos de hiero entre otros.

El estudio sistemático de los fenómenos magnéticos comenzó hace algunos siglos, y encontrándose a Gauss entre los investigadores que realizaron contribuciones de importancia. En el siglo pasado, Oersted (cerca de 1820) descubrió que las corrientes eléctricas dan origen a efectos magnéticos, en particular, la corriente eléctrica que circula por un conductor produce un efecto que es completamente equivalente al que produce un imán, siendo capaz de atraer objetos de fierro, deflectar una brújula, etc.

Nosotros comenzamos nuestro estudio siguiendo no el camino histórico, sino el desarrollo de la teoría en base a los campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas, debido a que permite un enfoque unificador de los fenómenos magnéticos bajo un solo modelo teórico.

Los magnetos pueden estar hechos de distintos materiales, como lo son el Hierro, la Ferrita o materiales de las llamadas "tierras raras", como lo son los de Neodimio-Hierro-Boro (NIB o NiFeB), Aluminio-Níquel-Cobalto (AlNiCo) y otros. Los magnetos más comunes son los hechos de Ferrita. También existen los plásticos que están mezclados con material magnético, y con ellos se hacen los imanes que se pegan en el refrigerador, por ejemplo.

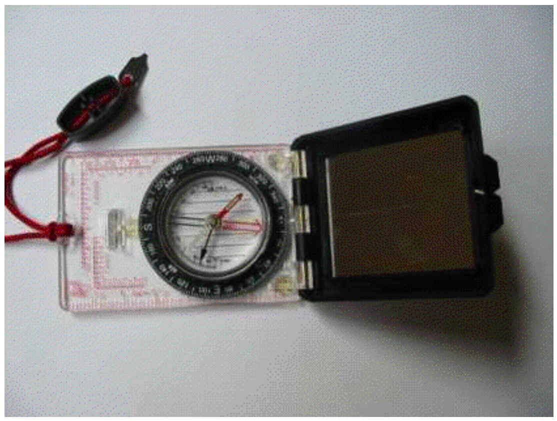
¿Que tan fuertes son los magnetos?

Algunos imanes pueden tener más flujo magnético que otros. Esto lo podemos apreciar juntando dos tipos distintos de imanes sobre una placa de fierro, y viendo qué tan difícil es el despegar al imán de la placa. Un imán más grande tendrá más flujo o "fuerza magnética aparente" que uno más pequeño hecho del mismo material. En la interacción de los campos magnéticos con los seres vivos algo muy importante es la densidad del flujo magnético. Esto se refiere al flujo magnético de los imanes, por unidad de área. Esto significa que un imán pequeño puede tener la misma "fuerza magnética aparente" que uno más grande, si el pequeño tiene más densidad. Esta densidad está determinada casi exclusivamente por el material con que esté hecho el magneto. La densidad se mide en teslas (en el sistema MKS) o en gauss (en el sistema CGS

Los imanes de alta densidad se aplican para hacer diagnóstico de enfermedades o padecimientos, y para tratar ciertas enfermedades, como tumores cancerosos o fracturas.

Propiedades y características de los diferentes tipos de imanes.

A fines del siglo XVI, los sabios empezaron a descubrir el por qué del magnetismo y a comprender el funcionamiento de la brújula.



Wiliam Gilbert (1540-1603) medico e investigador inglés, demostro con sus experimentos que la tierra se comporta como un imán enorme por tanto, obliga a un extremo de la brújula a apuntar al Norte geográfico. Gilbert nombró polo que busca el Norte a la punta de la brújula que señala ese punto y polo que busca el Sur al otro extremo; actualmente sólo se les llama polo norte y polo sur. También demostró que cuando un imán se rompe en varios pedazos, cada un o se transforma en uno nuevos con sus dos polos en cada extremo. Finalmente observó que la fuerza de atracción o de repulsión entre imanes es mucho mayor en los polos.

Polaridad y forma de los magnetos

La polaridad es la característica más importante de los imanes. Todos los imanes tienen dos polos: norte y sur, o negativo y positivo, respectivamente.

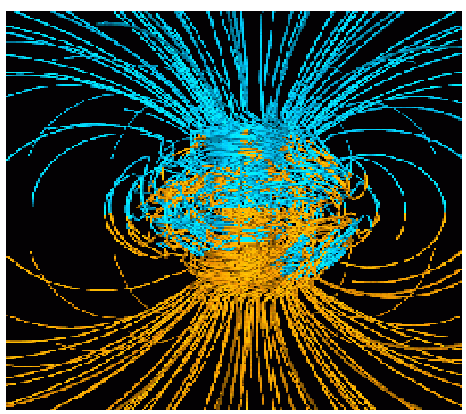
Los imanes se construyen de muchas formas y tamaños: cilíndricos, de base cuadrada o rectangular, toroidales o de forma de dona, delgados como cartón, en forma de barras, alargados, gruesos, etc.

Es muy importante que la polaridad de los magnetos corresponda a un polo por cada cara de mayor superficie. Siguiendo con la analogía de las monedas, un polo (norte, por ejemplo) estaría en una cara de la moneda, y el otro polo (el sur) en la cara contraria. Hay magnetos cuyo polo norte cruza la mitad de cada cara, mientras que el polo sur cubre la otra mitad de las dos caras.

La mayoría de los imanes utilizados ahora son artificiales, pues se pueden fabricar con una mayor intensidad magnética que los naturales, además de tener mayor solidez y facilidad para ser moldeados según se requiera. No todos los metales pueden ser imantados y otro, aunque pueden adquirir esta propiedad, se desimantan fácilmente, ya sea por efectos externos o en forma espontánea. Muchos imanes se fabrican con níquel y aluminio; hierro con cromo, cobalto, tungsteno o molibdeno.

La imantación de un trozo de acero, como una aguja, unas tijeras o un desarmador, se hace fácilmente al frotar unas doce veces cualesquiera de ellos con un imán, desde el centro del cuerpo hasta la punta. Después de esta operación cualquiera de ellos será un imán y podrá atraer limaduras de hierro, clavos, tornillos, alfileres o clips.

Campo Magnético.



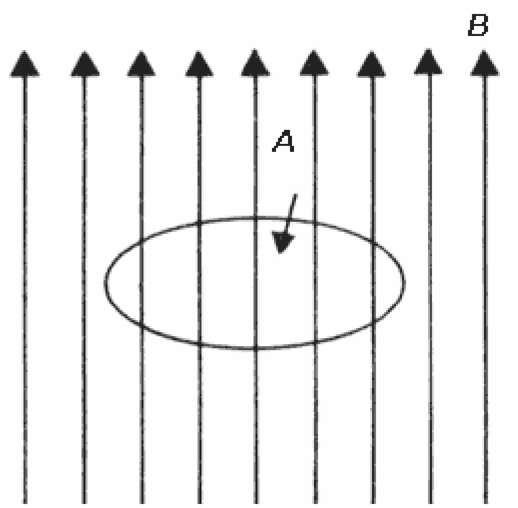
El campo magnético de la tierra es como una pequeña pero poderosa barra magnética ubicada cerca del centro de la tierra y inclinada 11º con respecto al eje de rotación de la tierra. El magnetismo en la tierra lo podemos visualizar como líneas de fuerza del campo magnético que indican la presencia de una fuerza magnética en cualquier punto del espacio.

La brújula esta influida por este campo ya que su aguja rota y se detiene cuando esta paralela a las líneas de fuerza en dirección Norte-Sur.

El modelo que asume que existe un magneto al interior de la tierra tiene un problema. Experimentos en laboratorio nos muestran que los materiales pierden sus propiedades magnéticas cuando se calientan por sobre los 500 ºC, entonces bajo los 20 o 30 Km de corteza no habría magnetismo ya que las temperaturas son muy elevadas. Se cree entonces que la tierra es un gran dinamo. Por ejemplo para producir electricidad se utiliza un enrollado de cobre que es un material conductor y este al girar produce un campo magnético. Los científicos creen que el núcleo externo del núcleo es de hierro líquido, entonces por procesos conectivos generados por radioactividad hay movimiento del hierro líquido y como el hierro es un buen conductor al moverse genera un campo magnético

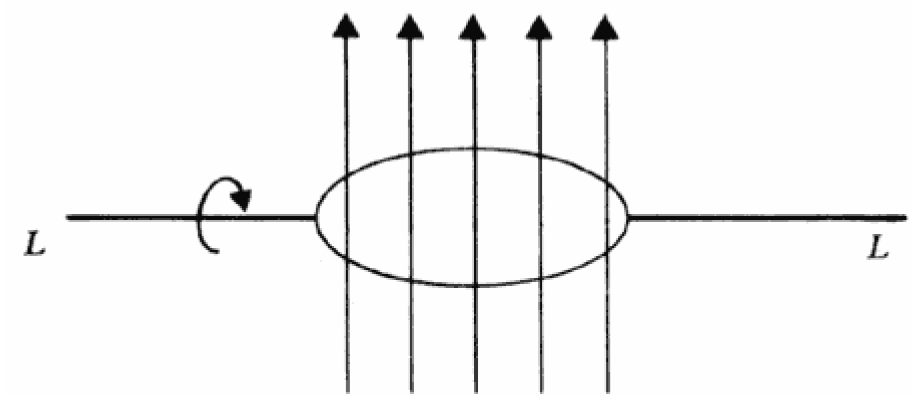
Faraday realizó diferentes experimentos en los cuales el efecto magnético que producía y atravesaba una bobina daba lugar a que se produjera una corriente eléctrica en esta bobina. Otro experimento que realizó fue el siguiente: enrolló una bobina A en un anillo de hierro dulce circular y sus extremos los conectó a un galvanómetro. Enrolló otra bobina B en el mismo anillo y sus extremos los conectó a una batería. Al conectar el interruptor de la batería empezó a circular una corriente por la bobina B. Esta corriente generó un efecto magnético a su alrededor, en particular dentro del anillo de hierro dulce. Como consecuencia, el anillo se magnetizó y el efecto magnético producido cruzó también a la bobina A. Faraday se dio cuenta, nuevamente, que sólo había movimiento de la aguja del galvanómetro cuando se conectaba y desconectaba la batería. Cuando fluía por la bobina B una corriente de valor constante, la aguja del galvanómetro no se movía, lo que indicaba que por la bobina A no había corriente alguna.

Después de muchos experimentos adicionales Faraday llegó a una conclusión muy importante. Para ello definió el concepto de flujo magnético a través de una superficie de la siguiente forma: supongamos que un circuito formado por un alambre conductor es un círculo. Sea A el área del círculo. Consideremos en primer lugar el caso en que la dirección del efecto magnético sea perpendicular al plano que forma el círculo y sea B la intensidad del efecto. El flujo magnético a través de la superficie es el producto de B con el área del círculo, o sea, (BA). En segundo lugar consideremos el caso en que la dirección del efecto magnético no sea perpendicular al plano del círculo. Si proyectamos la superficie del círculo perpendicularmente a la dirección del efecto, se obtiene la superficie A'. El flujo magnético es ahora igual a (BA'). Llamaremos al área A' el área efectiva. El flujo es, por tanto, igual a la magnitud del efecto magnético multiplicada por el área efectiva.



A través de la superficie hay un flujo magnético

Lo que realmente debe cambiar con el tiempo para que se induzca una corriente eléctrica es el flujo magnético a través de la superficie que forma el circuito eléctrico. Por supuesto que si el efecto magnético cambia con el tiempo, entonces el flujo que produce también cambiará. Pero puede ocurrir que el flujo cambie sin que el efecto cambie. En efecto, si el área efectiva de la superficie cambia, manteniéndose el valor del efecto constante, entonces el flujo cambiará. El descubrimiento de Faraday indica que en este caso también se inducirá una corriente eléctrica en el circuito. Una manera de cambiar el área efectiva del circuito es, por ejemplo, haciendo girar la espira del circuito (Figura 7) alrededor del eje LL, perpendicular al efecto magnético. En este caso el flujo magnético cambia con el tiempo y se induce una corriente en el circuito, sin que el efecto magnético hubiese cambiado. Vemos claramente que se puede cambiar el área efectiva de muchas otras maneras. Además, puede ocurrir que cambien simultáneamente tanto el valor del efecto como el área efectiva con el consecuente cambio del flujo magnético.



Se puede lograr que el flujo a través de la superficie cambie con el tiempo, haciéndola girar alrededor del eje LL.

Lo importante es que si el flujo neto cambia entonces se induce una corriente eléctrica. Este descubrimiento lleva el nombre de ley de inducción de Faraday y es uno de los resultados más importantes de la teoría electromagnética.

Mientras mayor sea el cambio del flujo, mayor será el valor de la corriente eléctrica que se inducirá en el alambre conductor. De esta forma nos damos cuenta de que se pueden lograr valores muy altos de corriente eléctrica con sólo cambiar el flujo magnético rápidamente. Así, gracias a la ley de inducción de Faraday se puso a disposición de la humanidad la posibilidad de contar con fuentes de corrientes eléctricas intensas. La manera de hacerlo fue por medio de generadores eléctricos. Recuérdese que hasta el descubrimiento de Faraday, las únicas fuentes de electricidad disponibles eran la fricción entre dos superficies y por medio de batería o pilas voltaicas. En cualquiera de estos dos casos las cantidades de electricidad que se obtenían eran muy pequeñas.

De manera completamente análoga se pueden definir las líneas de fuerza magnéticas. Al colocar una limadura de hierro ésta se magnetiza y se orienta en una dirección tangente a la línea de fuerza. Las limaduras de hierro desempeñan el papel de sondas de prueba para investigar qué situación magnética se crea alrededor de los agentes que crean el efecto magnético. En el capítulo anterior hablamos del efecto magnético que se produce en el espacio. Este efecto es el campo magnético.

Al cambiar la disposición de las cargas eléctricas, imanes o corrientes eléctricas, es claro que las líneas de fuerza que producen en el espacio a su alrededor también cambian. El efecto que se produce en el espacio constituye un campo. Así tenemos tanto un campo eléctrico como uno magnético. Por tanto, un campo es una situación que un conjunto de cargas eléctricas o imanes y corrientes eléctricas producen en el espacio que los rodea.

Fue Faraday quien proporcionó una realidad física a la idea de campo, y basándose en ello se dio cuenta de que si se cambia la posición física de cualquier partícula eléctrica en una distribución, entonces el campo eléctrico que rodea a ésta también deberá cambiar y por tanto, al colocar una partícula de prueba en cualquier punto, la fuerza que experimenta cambiará. Sin embargo, a diferencia de la acción a distancia, estos cambios tardan cierto intervalo de tiempo en ocurrir, no son instantáneos. Otro ejemplo es cuando una corriente eléctrica que circula por un alambre cambia abruptamente. Faraday se preguntó si el cambio en el campo magnético producido ocurría instantáneamente o si tardaba en ocurrir, pero no pudo medir estos intervalos de tiempo ya que en su época no se disponía del instrumental adecuado. (Incluso hizo varios intentos infructuosos por diseñar un instrumento que le sirviera a este propósito al final de su vida.) Sin embargo, no tuvo la menor duda de que en efecto transcurría un intervalo finito de tiempo en el que se propagaba el cambio. Así, Faraday argumentó que la idea de acción a distancia no podía ser correcta.

Faraday imaginó que de un imán salían hilos o líneas que se esparcían a éstas las llamó líneas de fuerza magnética. Dichas líneas se encuentran más en los polos pues ahí la intensidad es mayor.

Las líneas de fuerza producidas por un imán, ya sea de barra o de herradura, se esparcen desde el polo norte y se curvan para entrar al sur. A la zona que rodea un imán y en el cual su influencia puede detectarse recibe el nombre de campo magnético. Faraday señaló que cuando dos imanes se encuentran cerca uno de otro, sus campos magnéticos se interfieren recíprocamente.

Cuando el polo norte se encuentra cerca de uno sur, las líneas de fuerza se dirigen del norte al sur; cuando se acercan dos polos iguales, las líneas de cada uno se alejan de las de otro.

Densidad de flujo magnético.

El concepto propuesto por Faraday acerca de las líneas de fuerza, es imaginario, pero resulta muy útil para dibujar los campos magnéticos y cuantificar sus efectos.
Una sola línea de fuerza equivale a la unidad del flujo magnético Φ en el sistema CGS y recibe el nombre de maxwell. Sin embargo, ésta es una unidad mucho mayor llamada weber y cuya equivalencia es la siguiente:

$$1 \text{ weber} = 1 \times 10^{8} \text{ maxwells}$$

$$1 \text{ maxwell} = 1 \times 10^{-8} \text{ webers}$$

Un flujo magnético Φ se atraviesa perpendicularmente una unidad de área A recibe el nombre de densidad de fluyo magnético o inducción magnética B. por definición : la densidad del flujo magnético en una región de un campo magnético equivale al número de líneas de fuerza (o sea el flujo magnético) que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área. Matemáticamente se expresa:

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \therefore \quad \Phi = BA$$

Donde:

B= densidad del flujo magnético, se mide en webers/metro cuadrado (Wb/m^2).

Φ= flujo magnético, su unidad es el weber (Wb)

A= área sobre la que actúa el flujo magnético, se expresa en metros cuadrados (m^2)

Nota: La densidad del flujo magnético también recibe el nombre de inducción magnética.

En el SI la unidad de densidad del flujo magnético en el Wb/m^2 el cual recibe el nombre de tesla (T) en honor del físico yugoslavo Nicolás Tesla (1856-1943). En el sistema CGS la unidad usada es el $maxwell/cm^2$ que recibe el nombre de gauss (G) y cuya equivalencia con el tesla es la siguiente:

$1\ Wb/m^2 = 1\ T = 1 \times 10^4\ maxwell/cm^2 = 1 \times 10^4\ G$

Cuando el flujo magnético no penetra perpendicularmente un área, sino que lo hace con un cierto ángulo , la expresión para calcular la densidad del flujo magnético será:

$$B = \frac{\Phi}{A \text{ sen } \theta} \quad \therefore \quad \Phi = BA \text{ sen } \theta$$

Donde θ= ángulo formado por el flujo magnético y la normal a la superficie

En conclusión, la densidad de flujo magnético es un vector que representa la intensidad, dirección y sentido del campo magnético en un punto.

ELECTROMAGNETISMO

El fenómeno del magnetismo se conoce desde tiempos antiguos. La piedra imán o magnetita, un óxido de hierro que tiene la propiedad de atraer los objetos de hierro, ya era conocida por los griegos, los romanos y los chinos.

Las fuerzas eléctricas, magnéticas, la gravedad, y las llamadas fuerzas débiles y fuertes son las cinco fuerzas conocidas de la física. La gravedad es dominante a una escala planetaria y estelar, mientras que las fuerzas débiles y fuertes son importantes dentro del núcleo de los átomos; las fuerzas eléctricas y magnéticas son fundamentales en el intermedio.

El electromagnetismo abarca tanto la electricidad como el magnetismo y es básico para todo circuito eléctrico y magnético.

Tales de Mileto, matemático, astrónomo y filosofo griego observo que al frotar el ámbar con seda sé producían chispas y el ámbar adquiría la capacidad de atraer partículas de pelusa y de paja. La palabra griega para el ámbar es el electrón, de ella se deriva las palabras electricidad, electrón y electrónica. Noto la fuerza de atracción entre trozos de una roca magnética natural llamada piedra de imán que se encontró en un lugar llamado magnesia, de cuyo nombre se derivan las palabras magneto y magnetismo. En el siglo XIII, el erudito francés Petrus Peregrinus realizó importantes investigaciones sobre los imanes. Tales de Mileto fue pionero en la electricidad y el magnetismo, pero su interés como el de otros contemporáneos era filosófico que practico. Sin embargo, el primer estudio científico de los fenómenos eléctricos no apareció hasta el 1600 d.C., cuando se publicaron las investigaciones del médico británico, William Gilberto de Inglaterra quién realizo los primeros experimentos sistemáticos acerca de los fenómenos eléctricos y magnéticos describiéndolo en su libro de magnete. Invento el electroscopio para medir los efectos electroestáticos primero en reconocer que la tierra era un gigantesco imán, proporcionando una nueva visión dentro de los principios de la brújula y la aguja o brújula de inclinación.

La primera máquina para producir una carga eléctrica fue descrita en 1672 por el físico alemán Otto Von Guericke. Estaba formada por una esfera de azufre movida por una manivela, sobre la que se inducía una carga cuando se apoyaba la mano sobre ella. El científico francés Charles François de Cisternay Du Fay fue el primero en distinguir claramente los dos tipos diferentes de carga eléctrica: positiva y negativa. El condensador más antiguo, la botella de Leyden, fue desarrollado en 1745. Estaba formado por una botella de vidrio recubierta por dos láminas de papel de estaño, una en el interior y otra en el exterior. Si se cargaba una de las láminas con una máquina electrostática, se producía una descarga violenta si se tocaban ambas láminas a la vez.

En 1750 Benjamín Franklin científico estadounidense, estableció la ley de la conservación de la carga en experimentos hechos con electricidad, que condujeron a su invención del pararrayos determinando que existían cargas positivas y negativas.

Dedicó mucho tiempo a la investigación de la electricidad. Su famoso experimento con una cometa o papalote demostró que la electricidad atmosférica que provoca los fenómenos del relámpago y el trueno es de la misma naturaleza que la carga electrostática de una botella de Leyden. Franklin desarrolló una teoría según la cual la electricidad es un 'fluido' único que existe en toda la materia, y sus efectos pueden explicarse por el exceso o la escasez de ese fluido.

La ley de que la fuerza entre cargas eléctricas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas fue demostrada experimentalmente por el químico británico Joseph Priestley alrededor de 1766. Priestley también demostró que una carga eléctrica se distribuye uniformemente sobre la superficie de una esfera metálica hueca, y que en el interior de una esfera así no existen cargas ni campos eléctricos.

Mas adelante el francés Charles de Coulomb invento la balanza de torsión que mide las fuerzas eléctricas y magnéticas y durante este periodo Karl Friedrich gauss, formulo el teorema de la divergencia relacionando un volumen y su superficie. En 1800 Alejandro volta (italiano) invento la pila voltaica, conectando varias en serie, y que con baterías podían producirse corrientes eléctricas.

En 1813, Hans Christian Oersted predijo que se hallaría una conexión entre la electricidad y el magnetismo. En 1819 colocó una brújula cerca de un hilo recorrido por una corriente y observó que la aguja magnética se desviaba. Con ello demostró que las corrientes eléctricas producen campos magnéticos. Aquí vemos cómo las líneas de campo magnético rodean el cable por el que fluye la corriente.

Hans Cristian Oersted (1819) físico danés encontró que un alambre por el que fluyera corriente, provocaba la desviación de la aguja de una brújula cercana, descubriendo que la electricidad podía producir magnetismo.

Ander Marie ampere amplio las observaciones de Oersted, inventando la bobina de solenoide para producir campos magnéticos. También formulando correctamente la teoría de que los átomos de un imán se magnetizan por medio de corrientes eléctricas muy pequeñas que circulan en ellos.

Alessandro Volta (a quien Napoleón nombró conde por su trabajo en el campo de la electricidad) es famoso por fabricar la primera pila eléctrica, conocida como pila voltaica. Volta, profesor de física y gran experimentador, realizó muchas otras contribuciones a la ciencia, como la invención del electróforo, un aparato para generar cargas estáticas. La unidad de potencial eléctrico, el voltio, recibe este nombre en su honor.

Los físicos italianos Luigi Galvani y Alessandro Volta llevaron a cabo los primeros experimentos importantes con corrientes eléctricas. Galvani produjo contracciones musculares en las patas de una rana aplicándoles una corriente eléctrica. En 1800, Volta presentó la primera fuente electroquímica artificial de diferencia de potencial, un tipo de pila eléctrica o batería. En esta misma época, el alemán George Simón Ohm formulo la ley que lleva su nombre relacionando la corriente, el voltaje y la resistencia; tuvo que pasar una década para que los científicos comenzaran a reconocer su verdad e importancia.

Michael Faraday realizó importantes contribuciones al estudio de la electricidad y el magnetismo. Descubrió que al mover un alambre en un campo magnético se genera una corriente (inducción electromagnética). Este descubrimiento contribuyó al desarrollo de las ecuaciones de Maxwell y llevó a la invención del generador eléctrico.

James Clek Maxwell

De todo esto surgió Michael Faraday demostrando que un campo magnético cambiante podía producir una corriente eléctrica. Mientras que Oersted encontró que la electricidad podía producir magnetismo, Faraday descubrió que el magnetismo podía producir electricidad las investigaciones experimentales de Faraday, posibilitaron a James Clek Maxwell, profesor de la universidad de Cambridge, Inglaterra, establecer la interdependencia de la electricidad y el magnetismo. En 1873 publico la primera teoría unificada de electricidad y magnetismo. Postulo que la luz era de naturaleza electromagnética y que la radiación electromagnética de otras longitudes de onda debía ser posible. Aunque las ecuaciones de Maxwell son de gran importancia y, junto con condiciones en la frontera de continuidad y otras relaciones auxiliares son la bese del electromagnetismo moderno. Algunos científicos del tiempo de Maxwell fueron escépticos de su teoría, y en 1888 fueron vindicadas por Heinrich Hertz, profesor de física en Karls Ruhe, Alemania quien genero y detecto ondas de radio de cerca de 5 metros de longitud de onda, demostró que con un transmisor y receptor de chispa o señal, excepto por la diferencia en la longitud de onda, la polarización, la reflexión y la refracción de las ondas de radio eran idénticas a las de la luz. Hertz fue el padre de la radio, pero su invento permaneció como una curiosidad de laboratorio hasta que el italiano Guglielmo Marconi adapto el sistema de chispa de hertz para enviar mensajes a través del espacio. Marconi al agregar la sintonización, una antena grande sistemas de tierra, y longitudes de onda mas largas pudo enviar señales a grandes distancias. En 1901 causo sensación al enviar señales de radio a través del océano atlántico. Marconi fue pionero en el desarrollo de la comunicación por radio para barcos. Antes de la radio o comunicación inalámbrica, como se le llamaba entonces, las naves

estaban en alta mar en él mas completo aislamiento. Podía ocurrir un desastre sin que nadie en tierra o en otras naves pudiera ser avisado de lo ocurrido. Marconio inicio un cambio con su invento y la radio comenzó a desarrollar una gran importancia comercial. Mas adelante Thomas Alba Edison dio a la electricidad y al magnetismo aplicaciones practicas para la telegrafía, la telefonía, la iluminación y la generación de potencia. Mientras que edición era partidario de la corriente continua.

Nikola Tesla desarrollo la transmisión de potencia alterna e invento el motor de inducción. Mas adelante Einstein y otros trataron de relacionar las cinco fuerzas de la física en una gran teoría unificada en la que las ecuaciones de Maxwell serian un caso especial. Pero tal unificación no ha sido lograda todavía, pero su realización es una de las grandes metas de la física moderna.

Los estudios posteriores sobre el magnetismo se centraron cada vez más en la comprensión del origen atómico y molecular de las propiedades magnéticas de la materia. En 1905, el físico francés Paul Langevin desarrolló una teoría sobre la variación con la temperatura de las propiedades magnéticas de las sustancias paramagnéticas, basada en la estructura atómica de la materia. Esta teoría es uno de los primeros ejemplos de la descripción de propiedades macroscópicas a partir de las propiedades de los electrones y los átomos. Posteriormente, la teoría de Langevin fue ampliada por el físico francés Pierre Ernst Weiss, que postuló la existencia de un campo magnético interno, molecular, en los materiales como el hierro. Este concepto, combinado con la teoría de Langevin, sirvió para explicar las propiedades de los materiales fuertemente magnéticos como la piedra imán. Después de que Weiss presentara su teoría, las propiedades magnéticas se estudiaron de forma cada vez más detallada. La teoría del físico danés Niels Bohr sobre la estructura atómica, por ejemplo, hizo que se comprendiera la tabla periódica y mostró por qué el magnetismo aparece en los elementos de transición, como el hierro, en los lantánidos o en compuestos que incluyen estos elementos. Los físicos estadounidenses Samuel Abraham Goudsmit y George Eugene Uhlenbeck demostraron en 1925 que los electrones tienen espín y se comportan como pequeños imanes con un 'momento magnético' definido. El momento magnético de un objeto es una magnitud vectorial que expresa la intensidad y orientación del campo magnético del objeto. El físico alemán Werner Heisenberg dio una explicación detallada del campo molecular de Weiss en 1927, basada en la recientemente desarrollada mecánica cuántica. Más tarde, otros científicos predijeron muchas estructuras atómicas del momento magnético más complejas, con diferentes propiedades magnéticas.

CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UNA CORRIENTE.

Oersted descubrió que una corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético al observar que una aguja imantada, colocada cerca de un conductor rectilíneo, se desvía de su posición de equilibrio norte-sur cuando por el conductor circula una corriente.

CAMPO MAGENTICO PRODUCIDO POR UN CONDUCTOR RECTO

La regla de la mano izquierda: como la dirección del campo magnético depende del sentido de la corriente, se toma al conductor recto con la mano izquierda con el pulgar extendido en el que circula la corriente eléctrica y los cuatro dedos restantes indicaran el sentido del campo genético

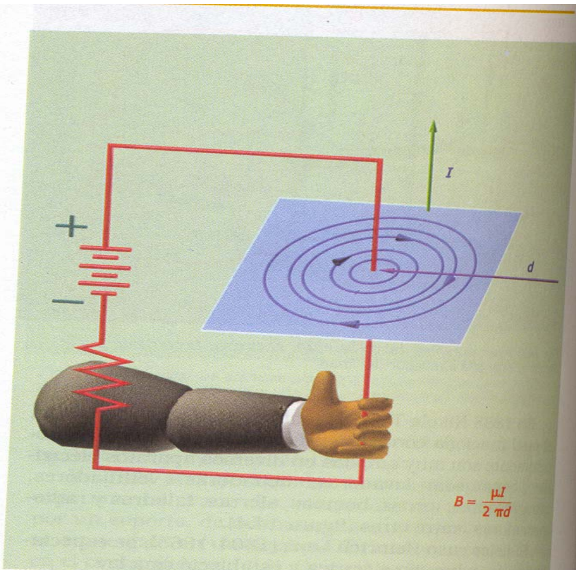


Fig. 14.6 Campo magnético formado por un conductor recto en el que circula una corriente. El dedo pulgar de la mano izquierda señala el sentido de la corriente (de negativo a positivo) y los otros dedos, el sentido del campo magnético.

Para determinar cuál es el valor de la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) a una cierta distancia d de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente I, se aplica la siguiente expresión matemática:

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

donde: B = inducción magnética o densidad de flujo magnético en un punto determinado perpendicular al conductor, se mide en teslas (T)

μ = permeabilidad del medio que rodea al conductor, se expresa en Tm/A

I = intensidad de la corriente que circula por el conductor, su unidad en el SI es el ampere (A)

d = distancia perpendicular entre el conductor y el punto considerado, se mide en metros (m)

CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UNA ESPIRA

Una espira se obtiene al doblar en forma circular un conductor recto, la dirección de la inducción magnética es siempre perpendicular al plano en el cual se encuentra la espira. La Expresión matemática es la siguiente:

Donde:

B= Inducción magnética el centro de una espira, se mide en (teslas) (T)

μ= Permeabilidad del medio en el centro de la espira, se expresa en Tm/A

I= Intensidad de la corriente que circula por la espira, su unidad en el SI es el ampere (A)

r= radio de la espira, se mide en metros. (m)

Si en lugar de una espira se enrolla un alambre de tal manera que tenga un numero N de vueltas, se obtendrá una bobina y el valor de su inducción magnética en su centro será igual a:

B= Donde N= numero de espiras.

CAMPO MAGNETICO PRODUCIDO POR UN SOLENOIDE

Un solenoide se obtiene al enrollar un alambre en forma helicoidal (acción llamada devanar). Cuando una corriente circula a través del solenoide, las líneas de fuerzas del campo magnético generado se asemejan al campo producido por un imán en forma de barra. Para calcular el valor de la inducción magnética o densidad del flujo B en el interior de un solenoide, se utiliza la expresión matemática:

$$B= \frac{N\mu I}{L}$$

Donde:

B= Inducción magnética en el interior de un solenoide, se mide en teslas (T)

N= Numero de vueltas o espiras

μ= Permeabilidad del medio en el interior del solenoide, se expresa en (Tm/A)

I= Intensidad de la corriente calcula en amperes (A)

L= Longitud del solenoide medida en metros(m).

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA:

Introducción:

El descubrimiento de Oersted según el cual las cargas eléctricas en movimiento interaccionan con los imanes y el descubrimiento posterior de que los campos magnéticos ejercen fuerzas sobre corrientes eléctricas, no solo mostraba la reacción entre dos fenómenos físicos hasta entonces independientes, sino también porque podría ser un camino para producir corrientes eléctricas de un modo mas barato que con la pila de volta. Faraday fue el que obtuvo primeros resultados positivos en la producción de corrientes eléctricas mediante campos magnéticos.

Corrientes inducidas: leyes de Faraday y de Lenz

Faraday descubrió que cuando un conductor es atravesado por un flujo magnético variable, se genera en el una fuerza electromotriz inducida que da lugar a una corriente eléctrica.

El sistema que generaba la corriente (el imán en nuestra experiencia) se llama inductor y el circuito donde se crea la corriente, inducido (la bobina en nuestro caso).
Este fenómeno de inducción electromagnética se rige por dos leyes, una de tipo cuantitativo conocida con el nombre de ley de Faraday y otra de tipo cualitativo o ley de Lenz.

Ley de Faraday:

Faraday observo que la intensidad de la corriente inducida es mayor cuanto más rápidamente cambie el número de líneas de fuerza que atraviesan el circuito. (En nuestro caso cuanto mayor es la velocidad del imán o de la bobina, mayor es la intensidad de la corriente se crea en esta ultima) Este hecho experimental esta reflejado en la ley que se enuncia:

La fuerza electromotriz inducida en un circuito formado por un conductor o una bobina es directamente proporcional al número de líneas de fuerza magnética cortadas en un segundo. En otras palabras: “la fem inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que envuelve.”

Matemáticamente se expresa:

$$\in = -N \frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

Donde:
$\in$= fem media inducida expresada en volts(v)
Φ_f = flujo magnético final medido en Webers(Wb)
Φ_i = flujo magnético inicial calculado en webers(Wb)
t = tiempo en que se realiza la variación del flujo medido en segundos(s)

al calcular la fem inducida en un conductor recto de longitud L que se desplaza con una velocidad v en forma perpendicular a un campo de inducción magnética B se utiliza la expresión:

$$\in = BLv$$

Ley de Lenz:

El sentido de la fuerza electromotriz inducida es tal que la corriente que crea tiende mediante sus acciones electromagnéticas, a oponerse a la causa que la produce.
Así, cuando el polo norte es acerca a la bobina crea en esta una corriente inducida de sentido tal, que la cara que <<mira>> al imán sea otro polo norte. Con esto la corriente tiende a ponerse a la causa que la ha producido, el acercamiento del polo norte, y por tanto tiende a alejarlo. Por el contrario al alejarse el polo norte, en la cara de la bobina que <<mira>> al imán, se crea un polo sur para atraerlo.
De modo análogo se aplica la ley de Lenz cuando es el polo sur el que se acerca o se aleja de la espira.

Autoinducción:

Según acabamos de ver, una corriente variable crea en otro circuito próximo una corriente inducida, debido a que el campo magnético creado por la primera varia a medida que lo hace su intensidad de corriente.
El propio circuito inductor esta, por otra parte, atravesado por las líneas de fuerza del campo magnético que crea su propia corriente ; dicho campo magnético será variable si la corriente también lo es y, en consecuencia, en el circuito se creara una extracorriente llamada

CORRIENTE AUTOINDUCIDA.

Según la ley de Lenz, el sentido de la corriente autoinducida el mismo de la corriente inicial si la auto inducción se produce por una disminución de aquella, o contrario si la causa ha sido un aumento de la corriente en el circuito.
Las corrientes autoinducidas se ponen de manifiesto en la apertura y cierre de un circuito. Cuando el circuito se cierra, la corriente no crece bruscamente, sino de forma gradual. Esto es debido a que se crea una corriente auto inducida (extracorriente de cierre) que se opone a la principal.
Al abrir el circuito ocurre el mismo fenómeno pero en este caso la corriente auto inducida (extracorriente de apertura) tiende a mantener la principal y, por lo tanto, es de su mismo sentido.

TRANSFORMADORES

El transformador es otro invento realizado por Michael Faraday, funciona por inducción magnética. Como ya señalamos, la mayor cantidad de energía eléctrica utilizada en nuestros hogares, fabricas y oficinas es la producida por generadores de corriente alterna, pues su voltaje puede aumentarse o disminuirse fácilmente mediante un transformador. Este eleva el voltaje de la corriente en las plantas generadores de energía eléctrica y después lo reduce en los centros de consumo. Dicha característica es la principal ventaja de la corriente alterna sobre la continua.

Recibe en nombre de bobina primaria la que esta conectada a la fuente de voltaje de CA y de bobina secundaria aquella donde la corriente es inducida.
Los transformadores se utilizan para elevar o disminuir el voltaje en un circuito de CA. Si lo elevan se denominan de subida o de elevación y si disminuyen se llaman de bajada o de reducción

BOBINA DE INDUCCION O CARRETE DE RUHMKORFF

El eminente físico e ingeniero Teobaldo J. Ricaldoni en su libro "Apuntes de Física", editado en 1898, con texto aprobado por el Ministerio de Instrucción Pública, por Decreto del 28 de Enero del mismo año, detalla en la página 679 el "Telégrafo sin hilos" de Marconi, "utilizando las vibraciones de Hertz". El transmisor era una bobina de inducción o carrete de Ruhmkorff con un explosor o chispero. El receptor, un cohesor que hacía de detector y cerraba un circuito local con una especie de relevador o sounder. Ricaldoni verificó estas experiencias y hasta perfeccionó el cohesor fabricando uno con limaduras de bismuto, aprovechando su bajo punto de fusión y aspecto cristalino que facilita la producción de contactos imperfectos.

GENERADORES ELÉCTRICOS

El generador eléctrico es un aparato que trasforma la energía mecánica en energía eléctrica.
El movimiento de los electrones por un conductor metálico como consecuencia de una diferencia de potencial entre sus extremos puede compararse con el flujo de agua entre depósitos situados a diferente altura y conectados mediante una tubería. Cuando se llena el depósito superior el agua desciende, pero dicho movimiento dura sólo en tanto se mantiene una diferencia entre los niveles de agua en ambos depósitos. Para mantener el agua en continua circulación es necesario intercalar una bomba que eleve de nuevo el agua desde el depósito inferior al superior. El papel de la bomba en dicho circuito hidráulico es el de comunicar a la masa de agua que lo atraviesa la energía suficiente como para salvar la diferencia de altura entre los dos depósitos, lo que equivale de hecho a mantener constante

la diferencia de niveles del agua entre ambos depósitos aun a pesar del flujo continuo que los atraviese.
Para mantener una corriente eléctrica en el interior de un conductor es preciso que exista una diferencia de potencial constante entre sus extremos; hace falta, pues, un dispositivo que juegue un papel análogo al de la bomba en el circuito hidráulico. Dicho dispositivo recibe el nombre de generador. Una asociación de conductores con un generador constituye un circuito eléctrico en donde puede tener lugar un movimiento continuado de cargas. El generador mantiene constante la diferencia de potencial entre dos puntos del circuito, o dicho en otros términos, genera un campo eléctrico en el conductor que es el responsable de la corriente.

FUERZA ELECTROMOTRIZ DE UN GENERADOR

La fuerza electromotriz es la magnitud que caracteriza el comportamiento del generador en un circuito eléctrico. En el caso de una bomba hidráulica la potencia mecánica representa la energía que suministra al circuito por unidad de tiempo. En los circuitos eléctricos se define la fuerza electromotriz de un generador y se representa mediante la letra e, como la energía que cede el generador al circuito por cada unidad de carga que lo atraviesa y que se invierte en incrementar su energía potencial eléctrica. Cada carga al pasar por el generador recibe una dosis de energía que podrá gastar después en su recorrido a lo largo del circuito.
Con frecuencia, se emplean las iniciales f.e.m. para designar esta magnitud, que siendo una energía se la denomina impropiamente fuerza. Según su definición la f.e.m. se expresará en unidades de energía partido por unidades de carga. Este es también el caso de las magnitudes potencial y diferencia de potencial. Por tal motivo su unidad en el SI es el volt.

TIPOS DE GENERADORES

El tipo de generadores más conocido es el generador químico, al cual pertenece la pila eléctrica o pila seca. Transforma energía producida en ciertas reacciones químicas en energía eléctrica capaz de mantener una diferencia de potencial constante entre sus polos o terminales. Una pila zinc-carbón, como las que se emplean para alimentar un aparato de radio portátil, está formada por dos elementos o electrodos de diferentes sustancias. Uno es de zinc y tiene forma de envoltura cilíndrica, el otro es una barrita de carbón. Entre ambos existe una pasta intermedia o electrolito que contribuye al proceso de generación de tensión. La reacción química que se produce en el electrodo de zinc libera electrones, con lo que éste se convierte en un polo negativo (cátodo); la que se produce en el electrodo de carbón da lugar a una disminución de electrones, resultando de signo positivo (ánodo). La tensión producida por una pila es constante y al aplicarla sobre un circuito eléctrico produce una corriente continua. Este tipo de corriente se caracteriza porque el sentido del movimiento de los portadores de carga se mantiene constante.

La pila de combustible es otro tipo de generador químico de uso frecuente en el suministro de energía eléctrica a naves espaciales. Recibe este nombre porque las sustancias que participan en las correspondientes reacciones químicas son, en parte, introducidas desde el exterior como si de un combustible se tratara. Una pila de combustible típica es la que se basa en las reacciones hidrógeno-oxígeno que se producen con pérdida de electrones en un

electrodo y ganancia en el otro, dando lugar a una diferencia de potencial capaz de producir una corriente eléctrica exterior.
Un termopar es un generador termoeléctrico que transforma calor en electricidad. Se produce cuando dos hilos conductores unidos entre sí por sus extremos respectivos se someten a una diferencia de temperatura. Al sumergir una de las uniones en hielo fundente y aplicando a la otra la llama de un mechero, entre ambos puntos se genera una diferencia de potencial que aumenta con la temperatura y puede detectarse con un aparato de medidas eléctricas. Dicho efecto generador de electricidad conocido como efecto Seebeck se emplea principalmente en la medida de temperaturas.
La célula fotovoltaica es un generador de tipo fotoeléctrico que transforma la energía luminosa en energía eléctrica. Se basa en la capacidad de los semiconductores para conducir la electricidad en un sentido dado, pero no en el opuesto. Al incidir la luz sobre la célula, arranca algunos electrones de sus átomos, electrones que se acumulan en una región determinada a expensas de la pérdida de electrones en la región opuesta. Al igual que en una pila seca, estas dos regiones constituyen los polos negativo y positivo, respectivamente, de la célula cuya diferencia de potencial se mantendrá constante en tanto no varíe la intensidad luminosa que alcanza su superficie.

EL GENERADOR ELECTROMAGNÉTICO

Se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética. Cuando un conductor cerrado se hace girar en el seno del campo magnético producido por un imán se genera en su interior una diferencia de potencial capaz de producir una corriente eléctrica. Es el tipo de generador denominado alternador que se emplea en las grandes plantas de producción de energía eléctrica. En ellas, diferentes formas de energía, cuya naturaleza depende del tipo de central, se invierten en mover grandes bobinas de conductores, haciéndolas girar en el seno de campos magnéticos. De este modo se producen tensiones eléctricas entre sus terminales cuya polaridad positiva / negativa, se invierte alternativamente con el tiempo a razón de cincuenta veces en cada segundo. Cuando esta tensión se aplica a un circuito eléctrico, produce en él una corriente alterna que se caracteriza por una inversión alternativa, con idéntica frecuencia, del sentido del movimiento de los portadores de carga.

MOTOR ELECTRICO

Un motor eléctrico es un aparato que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Un motor de corriente continua o directa esta constituida por una bobina suspendida entre los polos de un imán. Al circular una corriente eléctrica en la bobina, ésta adquiere un campo magnético y actúa como un imán, por tanto, es desplaza en movimientos de rotación, debido a la fuerza que hay entre los dos campos magnéticos.

EJERCICIOS RESUELTOS Y PROPUESTOS DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

3.1. ELECTROSTÁTICA Y ELECTRODINÁMICA

Resolución de problemas (Ley de Coulomb)

1. Calcular la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: q_1=2 milicoulombs, q_2=4 milicoulombs, al estar separadas en él vacío por una distancia de 30cm.

Datos

$F = ?$
$q_1 = 2mC$
$q_2 = 4mC$
$r = 30cm = 0.3m$
$K = 9 \times 10^9\ Nm^2/C^2$

Fórmula

$$F = k\,\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Sustitución y resultado

$$F = (9x10^9\ Nm^2/C^2)\ \frac{(2x\ 10^{-3}\ C)(4x10^{-3}\ C)}{(0.3m)^2} = 8x10^5\ N$$

2. ¿ Determinar la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: q_1 = -3 microcoulombs, q_2=4 microcoulombs, al estar separadas en él vacío por una distancia de 50 cm.

Datos

$F = ?$
q_1 = -3 microcoulombs
q_2 = 4 microcoulombs
$r = 50cm = 0.5m$
$K = 9x10^9\ Nm^2/C^2$

Fórmula

$$F = \frac{k\,q_1 q_2}{r^2}$$

Sustitución y resultado

$$F = (9x10^9\ \frac{Nm^2}{C^2})\ \frac{(-3\ x\ 10^{-6}\ C)(4\ x\ 10^{-6} C)}{(0.5\ m)^2}$$

$$= -\,4.32\ x\ 10^{-1}\ N$$

3. Una carga de $-3x10^{-2}$ ues se encuentra en el aire a 15 cm de otra carga de $-4x\ 10^{-2}$ ues, calcular:

a) ¿Cuál es la fuerza eléctrica entre ellas?

b) ¿Cuál sería la fuerza eléctrica entre ellas si estuvieran sumergidas en aceite?

Datos

$q_1 = -3x\ 10^{-2}$ ues

$q_2 = -4x\ 10^{-2}$ ues

r = 15cm

$k = 1$ dina cm^2/ues^2

$\in_r = 2.8$ del aceite

a) F= ¿

b)=F´aceite= ?

formulas

a) $F = k \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

b) $\in_r = F/F' \therefore$

$F' = \dfrac{F}{\in_r}$

Sustitución y resultado

a) $F = \left(\dfrac{1 \text{ dina cm}^2}{\text{ues}^2}\right) \times \dfrac{(-3x10^{-2}\text{ ues})(-4x10^{-2}\text{ ues})}{(15cm)^2} = 5.33x10^{-6}$ dinas

b) $F' = \dfrac{5.33x10^{-6}\text{ dinas}}{2.8} = 1.9x10^{-6}$ dinas

4. Una carga eléctrica de 2 μC(microcoulombs), se encuentra en el aire a 60 cm de otra carga. La fuerza con la cual se rechaza es de $3x10^{-1}$ N. ¿ cuanto vale la carga desconocida?

Datos

$q_1 = 2x10^{-6}$ C

r = 60cm= 0.6m

$F = 3x10^{-1}$ N

q_2=?

$K = 9x10^9\ Nm^2/C^2$

Fórmula

$F = K \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

Despeje por pasos:

$Fr^2 = K q_1 q_2 \therefore$

$q_2 = \dfrac{Fr^2}{kq_1}$

Sustitución y resultado

$q_2 = \dfrac{(3x10^{-1}N)(0.6m)^2}{\left(9x10^9 \dfrac{Nm^2}{C^2}\right)(2x10^{-6}C)} = 6x\ 10^{-6}$ C = 6 microcoulombs

$q_2 = 6 \times 10^{-6}$ C = 6 μC

5. – Una carga de 5 μC (microcoulombs) se encuentra en el aire a 20 cm de otra carga de -2μC (microcoulomb). Calcular:

a) ¿Cuál es el valor de la fuerza F_1 ejercida por q_2 sobre q_1?
b) ¿ El valor de la fuerza F_2 ejercida por q_1 sobre q_2 es igual o diferente a F_1?
c) ¿ Cuál sería la fuerza eléctrica entre las cargas si estuvieran sumergidas en agua?

Datos
$q_1 = 5 \times 10^{-6}$ C
$q_2 = -2 \times 10^{-6}$ C
r = 20cm = 0.2m
a) F_1 = ?
b) F_2 = ?
c) F´ en el agua = ?

Fórmulas

a) $F = k \dfrac{q_1 q_2}{r^2}$

b) $\in_r = F / F' \therefore$
$F' = \dfrac{F}{\in_r}$

Sustitución y resultado
a) El valor de la fuerza F_1 ejercida sobre q_1 por q_2 es igual a:

$$F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_1 = \left(9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}\right) \times \frac{(5 \times 10^{-6}\ C)(-2 \times 10^{-6}\ C)}{(0.2m)^2} = -2.25\ N$$

b) El valor de la fuerza F_2 ejercida por q_1 sobre q_2 es exactamente igual al de la fuerza F_1 ejercida por q_2 sobre q_1. Esto sucede porque de acuerdo con la tercera ley de Newton, las fuerzas F_1 y F_2 forman una pareja de acción y reacción, por ello actúan en la dirección o línea de acción que las une, pero apuntando en sentidos contrarios. En conclusión, no importa el valor de las cargas q_1 y q_2 sea diferente, la magnitud de la fuerza con que q_1 atrae a q_2 es igual a la magnitud de la fuerza con que q_2 atrae a q_1 pero con sentido contrario.

c) Si las cargas estuvieran sumergidas en agua, cuya permitividad relativa $\in_r$ es de 80.5 (valor del agua) la fuerza eléctrica F´ con la que se atraerían es igual a:

$$\in_r = F/F' \therefore F' = F/\in_r$$

$$F' = \frac{2.25N}{80.5} = 0.0279N = 2.79 \times 10^{-2}\ N$$

6. Determine la distancia a la que se encuentran dos cargas eléctricas de $7x10^{-8}$, al rechazarse con una fuerza de $4.41x10^{-3}$ N.

Datos

$r = ?$
$q_1 = 7x10^{-8}$ C
$q_2 = 7x10^{-8}$ C
$F = 4.41x10^{-3}$ N
$K = 9x10^9\ Nm^2/C^2$

Fórmula

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Despeje por pasos:

$$Fr^2 = K q_1 q_2 \therefore$$
$$r^2 = \frac{k q_1 q_2}{F}$$

Sustitución y resultado

$$r^2 = \frac{(9x10^9\ Nm^2/C^2)\ (7x10^{-8}\ C)(7x10^{-8}\ C)}{4.41x10^{-3}\ N}$$

$r^2 = 100 \text{ x } 10^{-4}\ m^2$
$r = \sqrt{100x10^{-4}\ m^2}$
$r = 10x\ 10^{-2}\ m = 1x10^{-1}\ m = 0.1\ m = 10\ cm$

7. _ En un átomo de hidrógeno, un electrón gira alrededor de un protón en una orbita de radio igual a $5.3x\ 10^{-11}$ m. ¿ Con qué fuerza eléctrica se atrae el protón y el electrón?

Datos

$q_1 = -1.6 \text{ x } 10^{-19}$ C
(carga de electrón)
$q_2 = 1.6 \text{ x } 10^{-19}$ C
(carga del protón)
$r = 5.3x\ 10^{-11}$ m
$k = 9x\ 10^9\ Nm^2/C^2$
$F = ?$

Fórmula

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Sustitución y resultado

$$F = (9x10^9\ Nm^2/C^2)\ \frac{(-1.6 \text{ x } 10^{-19}\ C)(1.6 \text{ x } 10^{-19}\ C)}{(5.3x10^{-11}\ m)^2}$$

$= -8.2 \text{ x } 10^{-8}$ N

8. _ Una carga $q_1 = 2\ \mu C$ (microcoulombs) se encuentra a una distancia de 20 cm de otra carga $q_3 = 8\mu C$ (microcoulombs). Determinar el valor de la fuerza resultante y su sentido, sobre una carga $q_2 = -4\mu C$ (microcoulombs) al ser colocada en medio de las otras dos cargas.

Datos

Fórmula

$q_1 = 2x10^{-6}$ C
$q_2 = -4x10^{-6}$ C
$q_3 = 8 \times 10^{-6}$ C
r =10 cm

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_R = \sum F = F_{1-2} + F_{3-2}$$

$K = 9x10^9\ Nm^2/C^2$

F_R sobre q_2 = ?

Solución

Para encontrar la fuerza resultante sobre q_2, observamos que sobre esta carga actúan dos fuerzas, una a causa de q_1 (F_{1-2})y otra debida a q_3 (F_{3-2}). De acuerdo con el principio de superposición de las fuerzas eléctricas, la fuerza resultante que experimenta una carga eléctrica es igual a la suma vectorial de las fuerzas eléctricas que cada una produce. Por tanto, la fuerza resultante sobre q_2 será igual a la suma vectorial de la fuerza producida por q_1 y q_3.

Calculo de la fuerza causada por q_1 :

$$\vec{F}_{1-2} = (9x10^9\ Nm^2/C^2) \times \frac{(2x10^{-6}\ C)(-4x10^{-6}\ C)}{(0.1m)^2} = -7.2\ N$$

F_{1-2} = −7.2N (fuerza de atracción con sentido hacia la izquierda)

Calculo de la fuerza debida a q_3

$$\vec{F}_{3-2} = (9x10^9\ Nm^2/C^2)\ \frac{(8 \times 10^{-6}\ C)\ (-4x10^{-6}\ C)}{(0.1m)^2} = -28.8\ N$$

F_{3-2} = -28.8 N (fuerza de atracción con sentido hacia la derecha)

Cálculo de la fuerza resultante y determinación de su sentido: como las dos fuerzas actúan en la misma línea de acción pero con sentido contrario, la fuerza resultante será la diferencia de las dos fuerzas y el sentido, el que tenga la fuerza causada por q_3 (F_{3-2})(a la derecha), pues es mayor su fuerza de atracción que la proporcionada por q_1(F_{1-2}).

$F_R = F_{3-2} - F_{1-2} = -28.8\ N - (-7.2\ N)$

$F_R = -28.8N - (-7.2\ N) = 21.6\ N$ hacia la derecha

Ejercicios propuestos(ley de Coulomb)

1. Determinar el valor de la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: q_1=- 5 μC (microcoulombs) y q_2= -4 μC (microcoulombs), al estar separadas en el vacío una distancia de 20 cm.

Respuesta:
F= 4.5N

2.Calcular la fuerza eléctrica entre dos cargas cuyos valores son: q_1 = -2mC, q_2= 6mC, al estar separadas en él vacío por una distancia de 40cm. Determinar también el valor de la fuerza eléctrica, si las cargas se sumergieran en agua. Valor del agua: $\in_r$ = 80.5

Respuestas:
$F = -6.75 \times 10^5$ N (en él vacío)
$F' = -8.38 \times 10^3$ N (en el agua)

3. Una carga de $7\text{x}10^{-1}$ ues se encuentra en el aire a 10 cm de otra carga de $3\text{x}10^{-1}$ ues. Determinar el valor de la fuerza eléctrica entre ellas. Calcular también el valor de la fuerza eléctrica si las cargas se sumergen en gasolina. $\in_r$ gasolina = 2.35

Respuestas:
$F = 2.1 \times 10^{-3}$ dinas (en el aire)
$F' = 8.9 \times 10^{-4}$ dinas (en la gasolina)

4. La fuerza con la que se rechaza una carga de 8 μC con otra carga, es de $4\text{x}10^{-1}$ N. Determinar el valor de la carga desconocida, si las dos cargas están en el aire a una distancia de 50 cm.

Respuesta:
$q_2 = 1.38 \times 10^{-6}$ C = 1.38 μC (microcoulombs).

5. Una carga de –3 μC (microcoulombs) se encuentra en él vacío a 30 cm de otra carga de 6 μC (microcoulombs). Determinar lo siguiente:

a) Determinar el valor de la fuerza F_1 ejercida sobre q_1 por q_2.
b)¿ El valor de la fuerza F_2 ejercida sobre q_2 por q_1 es igual o diferente a F_1?
c) Calcular el valor de la fuerza eléctrica entre las cargas si estuvieran sumergidas en aceite.
Aceite $\in_r$ = 2.8

Respuestas:
a) F = – 1.8 N
b) $F_1 = F_2$
c) $F' = 6.4 \times 10^{-1}$ N (en el aceite)

6. Dos cargas iguales se encuentran en el aire a 20 cm de distancia y se rechazan con una fuerza de $8x10^{-1}$ N. ¿ Cuanto vale cada carga en coulombs ?
Repuesta:
$q_1 = q_2 = 1.88x10^{-6}$ C = 1.88 microcoulomb
7. Calcular la distancia en la que se encuentra dos cargas eléctricas de $4x10^{-7}$ C, cada una, al rechazarse con una fuerza de $5x10^{-2}$ N.

Respuesta:
$r = 1.697 \times 10^{-1}$ m = 16.97cm

8. Calcular la fuerza de repulsión entre dos protones que se encuentran a una distancia de 4.2×10^{-15}m en un núcleo de cobalto.

Respuesta:
F = 13.06 N

9. Una carga q_1= -9 μC (microcoulombs) se encuentra a una distancia de 30 cm de otra carga q_3= -3 μC (microcoulombs). Si una carga q_2= 5 μC (microcoulombs) se coloca en medio de las cargas q_1 y q_3, calcular la fuerza resultante sobre q_2, así como su sentido.

Repuesta:
$\vec{F}_R$ = 12 N hacia la izquierda.

10. Una carga q_1= 2 microcoulombs recibe una fuerza de atracción debido a dos cargas: q_2= –7 μC (microcoulombs) y q_3 = –6 μC (microcoulombs). Calcular la fuerza eléctrica resultante que actúa sobre q_1, así como el ángulo formado respecto al eje horizontal.

Repuestas:
$\vec{F}_R$ = 1.84 N
α= 40.6 ° = 40° 36' respecto a la horizontal

Resolución de problemas (Intensidad de la corriente eléctrica)

1. Determinar la intensidad de la corriente eléctrica en un conductor cuando circulan 86 coulombs por una sección del mismo en una hora. Dé el resultado en amperes y en mili amperes.

Datos
I= ?
q=86 C
t = 1h= 3600 seg

Fórmula
$$I = \frac{q}{t}$$

Sustitución y resultado
$$I = \frac{86\ C}{3600\ s} = 0.0238\ A = 23.8\ mA$$

2. La intensidad de la corriente eléctrica en un circuito es de 13 mA. ¿Cuánto tiempo se requiere para que circulen por el circuito 120 coulombs? Exprese el resultado en horas.

Datos
$I = 13 \times 10^{-3}$ A
q = 120 C
t = ?

Fórmula
$$I = \frac{q}{t} \therefore t = \frac{q}{I}$$

Sustitución y resultado
$$t = \frac{120\ C}{13 \times 10^{-3}\ \frac{C}{s}} = 9.23 \times 10^{3}\ seg$$

Conversión de unidades
$$9.23 \times 10^{3}\ seg \times \frac{1h}{3.6 \times 10^{3}\ s}$$
t = 2.56 horas

3.¿ Cuantos electrones pasan cada segundo por una sección de un conductor donde la intensidad de la corriente es de 5 A?

Datos
q = ?
t = 1 s
I = 5 A
$1\ C = 6.24 \times 10^{18}\ e^{-}$

Fórmula
$$I = \frac{q}{t} \therefore q = It$$

Sustitución y resultado
$$q = 5\ \frac{c}{s} \times 1\ seg = 5\ C$$

Conversión de unidades
$$5\ C \times \frac{6.24 \times 10^{18}\ e^{-}}{1\ C}$$

$q = 31.2 \times 10^{18}$ electrones

Ejercicios propuestos(Intensidad de corriente eléctrica)

1. Calcular la intensidad de la corriente eléctrica en amperes y en miliamperes, si por una sección de un conductor circulan 65 coulombs en 30 minutos.

Respuesta:

$I = 0.036\ A = 36\ mA$

2. Determinar la cantidad de electrones que pasan cada 10 segundos por una sección de un conductor donde la intensidad de la corriente es de 20mA.

Respuestas:

$q = 1.248 \times 10^{18}$ electrones

3. Calcular el tiempo requerido para que por una sección de un conductor circulen 5 coulombs; la intensidad de la corriente eléctrica es de 5 mA.

Repuestas:

$t = 1 \times 10^{3}\ s$

Resolución de Problemas (Ley de Ohm)

1.Determinar la intensidad de la corriente eléctrica a través de una resistencia de 30 Ω al aplicarle una diferencia de potencial de 90 V .

Datos

I = ?

R =30 Ω

V = 90 V

Fórmula

$I = \frac{V}{R} \therefore R = \frac{V}{I}$

Sustitución y resultado $I = \frac{90\ V}{30\Omega} = 3\ A$

2. Un tostador eléctrico tiene una resistencia de 15 Ω cuando está caliente. ¿ Cuál será la intensidad de la corriente que fluirá al conectarlo a una línea de 120 V?

Datos

R = 15 Ω

V = 120 V

I = ?

Fórmula

$I = \frac{V}{R}$

Sustitución y resultado $I = \frac{120V}{15\Omega} = 8\ A$

3. Un alambre conductor deja pasar 6 A al aplicarle una diferencia de potencial de 110 V. ¿ Cual es el valor de su resistencia?

Datos

I = 6 A

V = 110V

R = ?

Fórmula

$I = \frac{V}{R} \therefore R = \frac{V}{I}$

Sustitución y resultado $R = \frac{110\ V}{6\ A} = 18.33\ \Omega$

4. Calcular la diferencia de potencial aplicada a una resistencia 10 Ω, si por ella fluyen 5 A.

Datos

V =?

R = 10Ω

I = 5 A

Fórmula

$I = \frac{V}{R} \therefore V = IR$

Sustitución y resultado $V = 5\ A \times 10\ \Omega = 50V$

Ejercicios propuestos(Ley de OHM)

1. Calcular la intensidad de la corriente que pasará por una resistencia de 20 Ω al conectarse a un acumulador de 12 V.

Respuesta:

$I = 0.6$ A

2. Determinar la resistencia del filamento de un lámpara que deja pasar 0.6 A de intensidad de corriente al ser conectado a una diferencia de potencial de 120 V.

Respuesta:

$R = 200\ \Omega$

3. Por una resistencia de 10 Ω circulan una corriente de 2 A.¿ Cuál es el valor de la diferencia de potencial a que están conectados sus extremos?

Respuesta:

$V = 20$ V

4. Calcular la resistencia de un conductor que al conectarse a una diferencia de potencial de 12 V deja pasar una corriente de 90 miliamperes.

Respuesta:

$R = 133.33\ \Omega$

Resolución de problemas (circuitos con resistencias conectadas en serie, paralelo y mixtas)

1. Calcular la resistencia equivalente de tres resistencias cuyos valores son: $R_1= 2\Omega$, $R_2= 5\Omega$, $R_3= 7\Omega$, conectadas primero en: (a) serie y(b) paralelo.

Datos

$R_1= 2\Omega$
$R_2= 5\Omega$
$R_3= 7\Omega$

a) R_e en serie = ?
b) R_e en paralelo = ?

Fórmulas

a) $R_e= R_1+ R_2+ R_3$

b) $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

Sustitución y resultado

a) Re = 2+ 5 + 7= 14Ω

b) $\frac{1}{Re} = \frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7}$

= 0.5 + 0.2 + 0.14 = 0.84

$Re = \frac{1}{0.84} = 1.19\Omega$

2. Calcular el valor de la resistencia que se debe conectar en paralelo con una resistencia de 10Ω para que la resistencia equivalente del circuito se reduzca a 6 Ω.

Datos
$R_1= ?$
$R_2= 10\ \Omega$
$R_e = 6\ \Omega$

Fórmula
$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \therefore$

$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_2}$

Sustitución y resultado

$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{6} - \frac{1}{10} = 0.166 - 0.1 = 0.066$

$R_1 = \frac{1}{0.066} = 15\ \Omega$

3. Calcular la resistencia equivalente de cuatro resistencias cuyos valores son: $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$, $R_3 = 25\ \Omega$, $R_4 = 50\ \Omega$, conectadas en: (a) serie y (b) paralelo.
Dibujar el diagrama para cada caso.

Datos

$R_1 = 10\ \Omega$
$R_2 = 20\ \Omega$
$R_3 = 25\ \Omega$
$R_4 = 50\ \Omega$

a) Re en serie = ?
b) Re paralelo = ?

Fórmulas

a) $Re = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

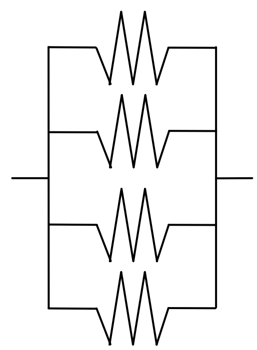
b) $\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$

Sustitución y resultado

a) Diagrama de la resistencias conectadas en serie:

Calculo de la resistencia equivalente:
$Re = 10 + 20 + 25 + 50 = 105\ \Omega$

b) Diagrama de las resistencias conectadas en paralelo:



Calculo de la resistencia equivalente:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{Re} = 0.1 + 0.05 + 0.04 + 0.02 = 0.21 \qquad Re = \frac{1}{0.21} = 4.76\ \Omega$$

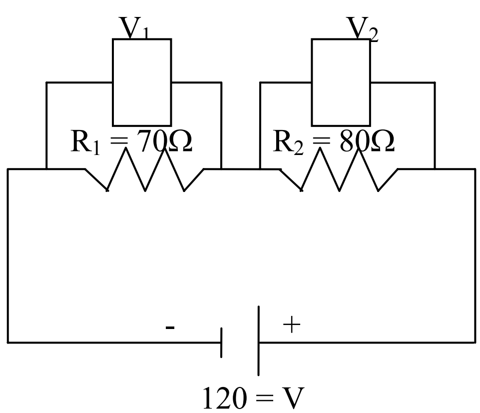
4. Dos focos uno de 70 Ω y otro de 80 Ω, se conectan en serie con una diferencia de potencial de 120V.

a) Representar el circuito eléctrico.
b) Calcular la intensidad de la corriente que circula por el circuito.
c) Determinar la caída de voltaje o de tensión en cada resistencia.

Solución:

Recuerde: para resistencia en serie:
$R_e = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$
Ley de Ohm: $I = \frac{V}{R}$

a)



b) Cálculo de la resistencia equivalente del circuito

$Re = R_1 + R_2 = 70\ \Omega + 80\ \Omega = 150\ \Omega$

Aplicando la ley de Ohm calculamos la intensidad de la corriente eléctrica que pasa por R_1 y R_2:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120\ V}{150\ \Omega} = 0.8\ A$$

c) Para determinar la caída de voltaje o de tensión en cada resistencia y dado que la intensidad de corriente que circula por R_1 es igual a la de R_2 :

$V_1 = IR_1 = 0.8\ A \times 70\ \Omega = 56\ V$

$V_2 = IR_2 = 0.8\ A \times 80\ \Omega = 64\ V$

Como se observa, al sumar la caída de tensión en R_1 más la caída de tensión en R_2 obtenemos: 56 V + 64 V = 120 V que es igual al valor del voltaje suministrado.

5. Una plancha eléctrica de 60 Ω se conecta en paralelo a un tostador eléctrico de 90 Ω con un voltaje de 120 V.

a) Representar el circuito eléctrico.
b) Determinar el valor de la resistencia equivalente del circuito.
c) Calcular la intensidad de la corriente que circula por el circuito.
d) ¿Qué valor tendrá la intensidad de la corriente que circula por cada resistencia?

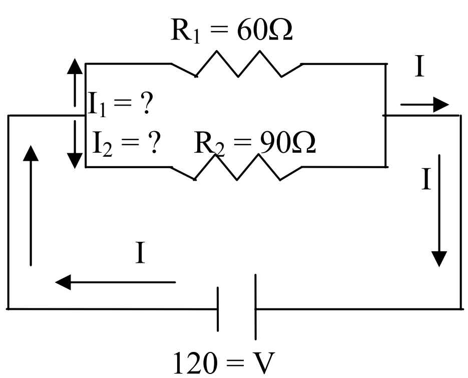
Solución:

Recuerde: para resistencias en paralelo:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ley de Ohm: $I = V / R$

a)



b) Cálculo de la resistencia eléctrica equivalente:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{60} + \frac{1}{90}$$

$= 0.017 + 0.011 = 0.028$

$$Re = \frac{1}{0.028} = 35.71\ \Omega$$

c) Cálculo de la intensidad de la corriente del circuito:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{120V}{35.71\Omega} = 3.3\ A$$

d) Cálculo de la intensidad de la corriente que circula por R_1 y R_2:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{120\ V}{35.71\ \Omega} = 2\ A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{120\ V}{90\ \Omega} = 1.3\ A$$

6. Una serie formada por nueve focos de navidad con una resistencia de 20 Ω cada uno, se conecta a un voltaje de 120 V. Calcular:

a) ¿ Cuál es valor de la resistencia equivalente?
b) ¿ Cuál es la intensidad de la corriente que circula por cada resistencia?
c) ¿ Qué valor tendrá la caída de tensión en cada uno de los focos?

Solución:

a) $Re = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_9$
$Re = 20\ \Omega \times 9 = 180\ \Omega$

b) $I = \frac{V}{R} = \frac{120\ V}{180\ \Omega} = 0.67\ A$

c) Como la caída de tensión es igual en cada una de las resistencias y la corriente que circula por ellas también es igual, tenemos:

$V_1 = V_2 ... = V_9$
$V_1 = IR_1 = 0.67\ A \times 20\ \Omega = 13.4V$

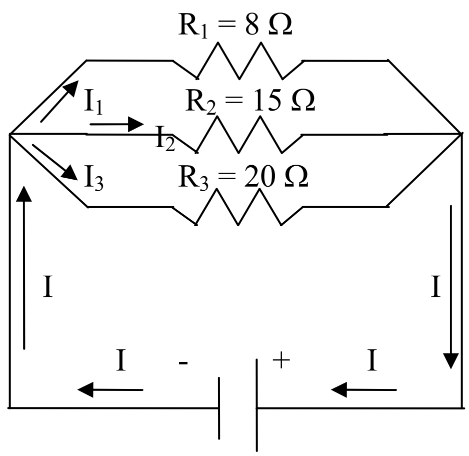
Al multiplicar el valor de la caída de tensión en R_1 por 9 que es el numero de resistencias conectadas, nos da 120 V que es igual al voltaje total suministrado.

7. Tres aparatos eléctricos de 8 Ω, 15 Ω y 20 Ω, se conectan en paralelo a una batería de 60 V.

a) Representar el circuito eléctrico.
b) Calcular el valor de la resistencia equivalente.
c) Determinar el valor de la corriente total suministrada por la batería
d) ¿ Cuál es el valor de la corriente que circula por cada aparato?

Solución:

a)



b) cálculo de la resistencia equivalente:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{8} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20}$$

$= 0.125 + 0.066 + 0.05 = 0.241$

$$Re = \frac{1}{0.241} = 4.15\ \Omega$$

c) Corriente total suministrada por la batería:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{60V}{4.15\Omega} = 14.5\ A$$

d) Cálculo de la corriente que circula por cada aparato:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{60\ V}{8\ \Omega} = 7.5\ A$$

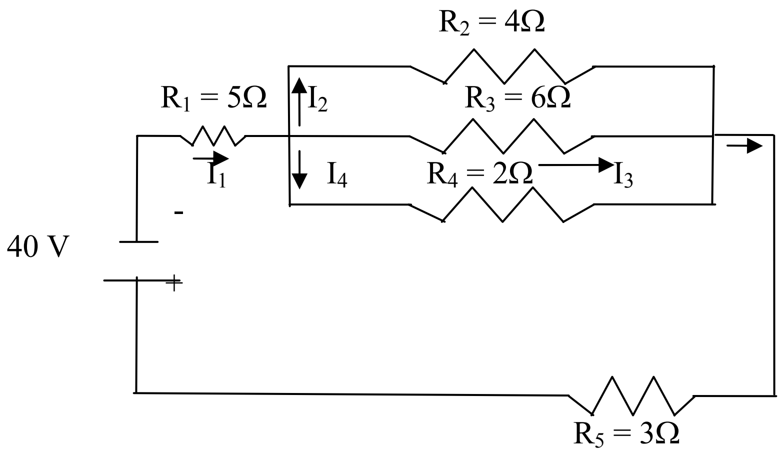
$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{60\ V}{15\ \Omega} = 4\ A$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{60\ V}{20\ \Omega} = 3\ A$$

8. En las siguientes figuras se muestran varios circuitos de conexiones mixtas de resistencias. Calcular para cada caso:

a) La resistencia equivalente del circuito.
b) La intensidad de la corriente total que circula por el mismo.

Caso 1



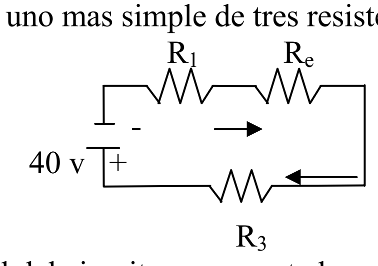
Solución:

a) Como se observa, R_2, R_3 y R_4 están conectadas entre si en paralelo, debemos calcular su resistencia equivalente que representaremos por Re:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{2} = 0.25 + 0.166 + 0.5 = 0.916$$

$$Re = \frac{1}{0.916} = 1.09\ \Omega$$

Al encontrar el valor de la resistencia equivalente de la tres resistencias en paralelo, nuestro circuito se ha reducido a uno mas simple de tres resistencias conectadas en serie:



Donde la resistencia total del circuito, representada por R_T, será:

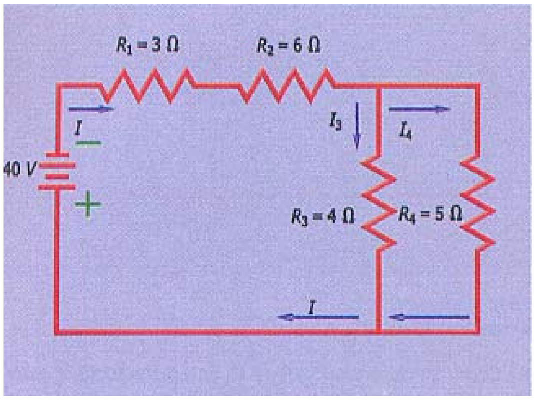
$R_T = R_1 + R_e + R_5$

$R_T = 5\ \Omega + 1.09\ \Omega + 3\ \Omega = 9.09\ \Omega$

b) El valor de la corriente total del circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{40V}{9.09\Omega} = 4.4\ A$$

Caso 2



Solución:

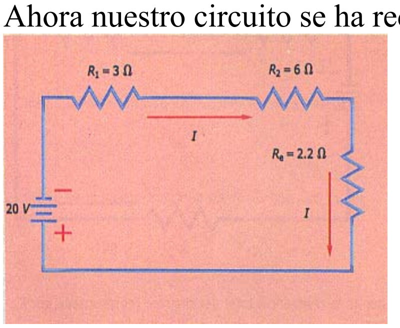
a) R_3 y R_4 están en paralelo y su resistencia equivalente es de:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = 0.25 + 0.2 = 0.45$$

$$Re = \frac{1}{0.45}$$

$Re = 2.2\ \Omega$

Ahora nuestro circuito se ha reducido a tres resistencias en serie:

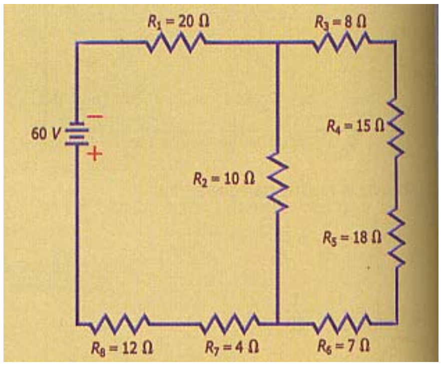


La resistencia total del circuito es:
$R_T = 3\ \Omega + 6\ \Omega + 2.2\ \Omega = 11.2\ \Omega$

b) El valor de la corriente total del circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{20\ V}{11.2\ \Omega} = 1.78\ A$$

Caso 3



Solución :

a) R_3, R_4, R_5, y R_6 están en serie y equivale una resistencia cuyo valor es de:

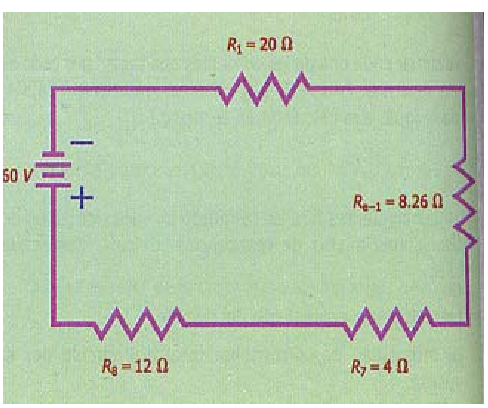
$Re = 8\ \Omega + 15\ \Omega + 18\ \Omega + 7\ \Omega = 48\ \Omega$

A su vez, Re está en paralelo con R_2 de donde su resistencia equivalente Re_{-1} es igual a:

$$\frac{1}{Re_{-1}} = \frac{1}{48} + \frac{1}{10} = 0.021 + 0.1 = 0.121$$

$$Re_{-1} = \frac{1}{0.121} = 8.26V$$

Ahora nuestro circuito se ha reducido a 4 resistencias en serie



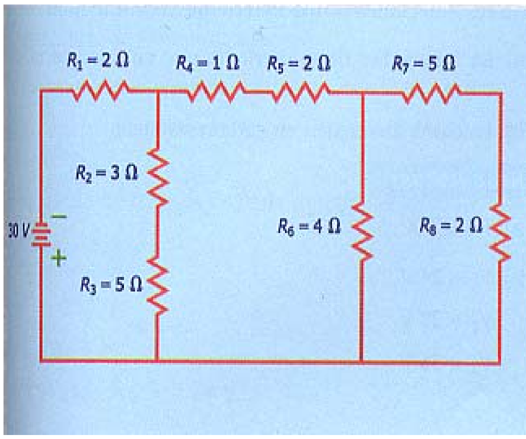
El valor de la resistencia total del circuito es de:

$R_T = 20\ \Omega + 8.26\ \Omega + 4\ \Omega + 12\ \Omega = 44.26\ \Omega$

El valor de la corriente total del circuito es:

b) $I = \dfrac{V}{R_T} = \dfrac{60V}{44.26\Omega} = 1.35\ A$

Caso 4



Solución:

a) Las resistencias R_7 y R_8 están en serie, y equivalen a 7 Ω, la cual se encuentra en paralelo con R_6, por lo que la resistencia equivalente es:

$$\frac{1}{Re} = \frac{1}{7} + \frac{1}{4} = 0.143 + 0.25 = 0.393$$

$Re = 1 / 0.393 = 2.5\ \Omega$

La resistencia Re está en serie con R_4 y R_5, y éstas equivalen a una resistencia de 2.5 Ω + 1 Ω + 2 Ω = 5.5 Ω, que a su vez está en paralelo con R_2 y R_3; como están en serie, R_2 y R_3 equivalen a una resistencia de 8 Ω, de donde la resistencia Re_{-1} será igual a:

$$\frac{1}{Re_{-1}} = \frac{1}{5.5} + \frac{1}{8} = 0.18 + 0.12 = 0.3$$

$$Re_{-1} = \frac{1}{0.3} = 3.3\ \Omega$$

Como R_1 está en serie con Re_{-1}, el valor de la resistencia total del circuito es:

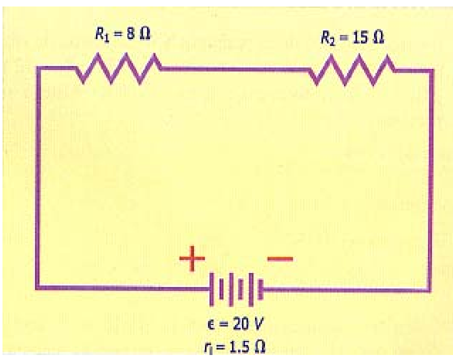
$R_T = R_1 + Re_{-1} = 2\ \Omega + 3.3\ \Omega = 5.3\ \Omega$

b) El valor de la corriente total que circula por el circuito es:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{30\ V}{5.3\ \Omega} = 5.\ 7\ A$$

9. Si una batería tiene una fuerza electromotriz (fem) de 20 V, una resistencia interna de 1.5 Ω y se conecta a dos resistencias en serie cuyos valores son 8 y 15 Ω, como se ve en la figura. Calcular:

a) La resistencia total del circuito.
b) La intensidad de la corriente que circula por el circuito.
c) La caída de tensión en cada una de las resistencias.
d) El voltaje real que suministra la batería cuando esta cerrado el circuito.



Solución:

a) La resistencia total del circuito considerando la resistencia interna de la batería es:
$R_T = R_1 + R_2 + R_i = 8\ \Omega + 15\ \Omega + 1.5\ \Omega = 24.5\ \Omega$

b) La intensidad de la corriente es de:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20\ V}{24.5\Omega} = 0.816\ A$$

c) La caída de tensión en cada una de las resistencias es de:

$V_1 = IR_1 = 0.816\ A \times 8\Omega = 6.6V$
$V_2 = IR_2 = 0.816 \times 15\ \Omega = 12.2\ V$
$V_{pila} = Ir_i = 0.816\ A \times 1.5\ \Omega = 1.2\ V$

d) El voltaje real que suministra la batería es igual a:

V_R = fem – caída de tensión en la pila
$V_R = 20V - 1.2\ V = 18.8\ V$

Voltaje que equivale a la caida de tensión en R_1 y R_2, es decir:

$V_1+V_2 = 6.6\text{ V} + 12.2\text{ V} = 18.8\text{ V}$

Ejercicios propuestos (Circuitos con resistencias conectadas en serie, paralelas y mixtas)

1. Determinar el valor de la resistencia equivalente de dos resistencias cuyos valores son: $R_1 = 15\ \Omega$ y $R_2= 23\ \Omega$, conectadas primero en serie y luego en paralelo.
Respuestas
R_e en serie = 38 Ω
R_e en paralelo = 9.1 Ω

2. Calcular el valor de la resistencia equivalente de tres resistencias, cuyos valores son: $R_1 = 17\ \Omega$, $R_2= 12\ \Omega$ y $R_3= 25\ \Omega$, conectadas primero en serie y luego en paralelo.
Respuestas:
Re en serie = 54 Ω
Re en paralelo = 5.5 Ω

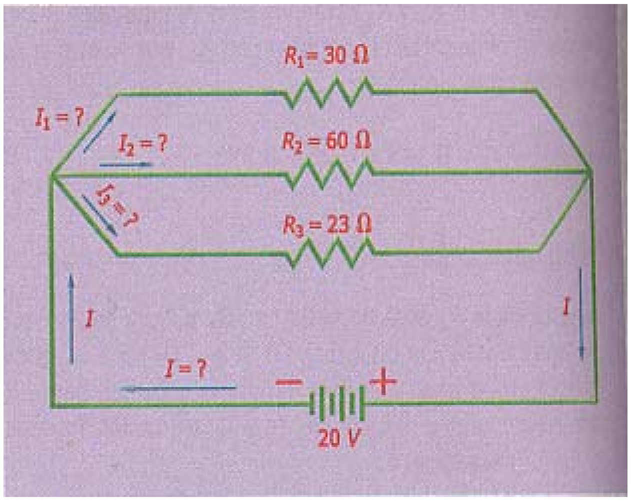
3. Calcular el valor de la resistencia que al ser conectada en paralelo con otra de 28 Ω, reduce la resistencia de un circuito a 8 Ω.
Respuestas:
R = 11.2 Ω

4. Determinar la resistencia equivalente de cuatro resistencias, cuyos valores son: $R_1 = 3\ \Omega$, $R_2 = 1\ \Omega$, $R_3 = 4\ \Omega$, $R_4 = 2\ \Omega$, conectadas primero en serie y luego en paralelo. Dibuje el diagrama que represente la conexión en cada caso.
Respuestas:
Re en serie = 10 Ω
Re en paralelo = 0.5 Ω

5. Elabore un dibujo que represente la conexión en serie de tres focos de 40 Ω, 50 Ω y 60 Ω, respectivamente, conectados a una batería de 90 V. Calcular:

a) La intensidad de la corriente que circula por el circuito.
b) La caída de tensión en cada resistencia.
Respuestas:
a) I = 0.6 A
b) $V_1 = 24$ V
$V_2 = 30$ V
$V_3 = 36$ V

6. De acuerdo con la siguiente figura. Calcular:



a) La resistencia equivalente del circuito.
b) La intensidad total de la corriente que circula por el circuito.
c) El valor de la intensidad de la corriente que circula por cada resistencia.

Respuestas:

a) Re = 11 Ω
b) I = 1.8 A
c) I_1 = 0.66 A
I_2 = 0.33 A
I_3 = 0.8 A

7. Siete focos de navidad con una resistencia de 30 Ω cada uno, se conecta en serie con una diferencia de potencial de 90 V. Calcular:

a) La resistencia equivalente del circuito.
b) La intensidad de la corriente que circula por cada resistencia.
c) La caída de tensión en cada uno de los focos.

Respuestas:

a) Re = 210 Ω
b) I = 0.43 A
c) V en cada foco = 12.9 V

8. Dibujar un circuito que represente tres resistencias de 19 Ω, 25 Ω y 30 Ω respectivamente, conectadas en paralelo a una batería de 40 V. Calcular:

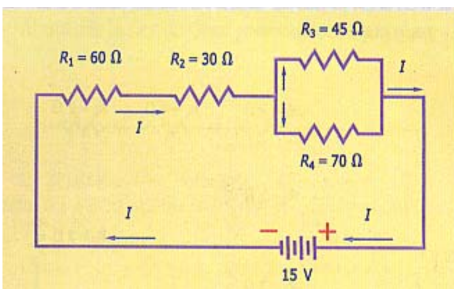
a) La resistencia equivalente del circuito.
b) La intensidad de la corriente suministrada por la batería.
c) El amperaje que circula por cada resistencia.

Respuestas:

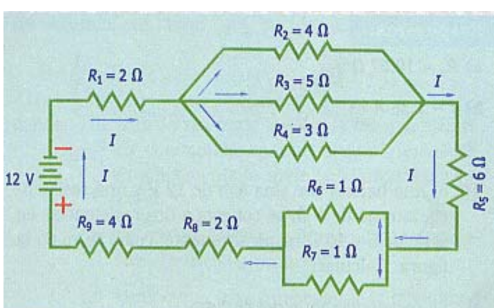
a) Re= 7.9 Ω
b) I = 5.06 A
c) I_1= 2.1 A
    I_2= 1.6 A
    I_3 = 1.3 A

9. En cada una de las siguientes conexiones mixtas de resistencia, determinar:

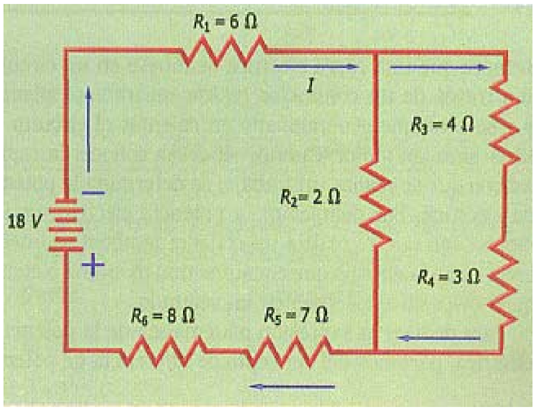
a) La resistencia equivalente del circuito.
b) La intensidad dela corriente total que circula por el circuito.



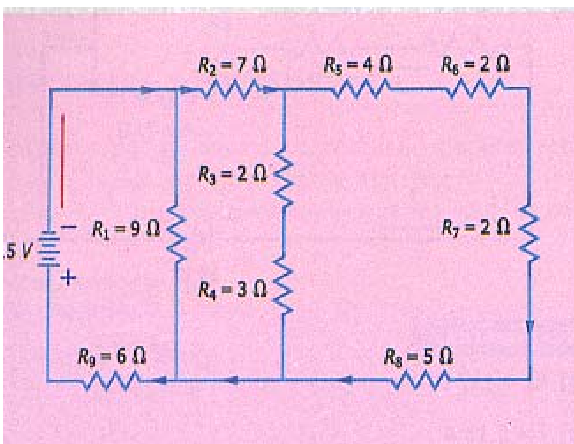
Respuestas:
a) Re= 117 Ω
b) I = 0.13 A



Respuestas
a) Re= 15.8 Ω
b) I = 0.76 A



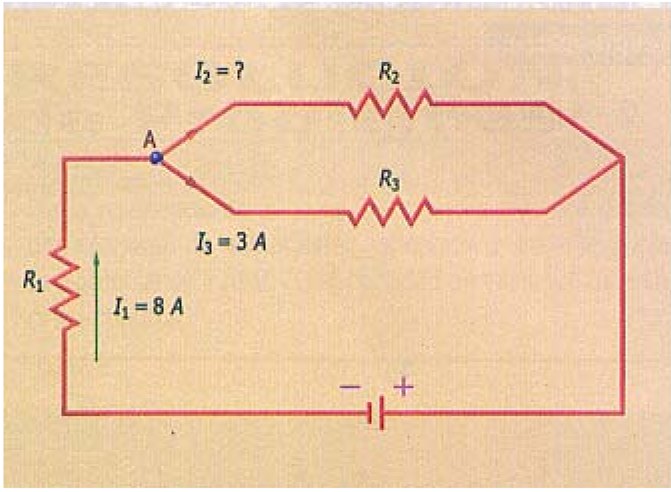
Respuestas:
a) Re= 22.5 Ω
b) I = 0.8 A



Respuestas:
a) Re= 10.87 Ω
b) I = 1.38 A

Resolución de problemas (Primera ley de Kirchhoff)

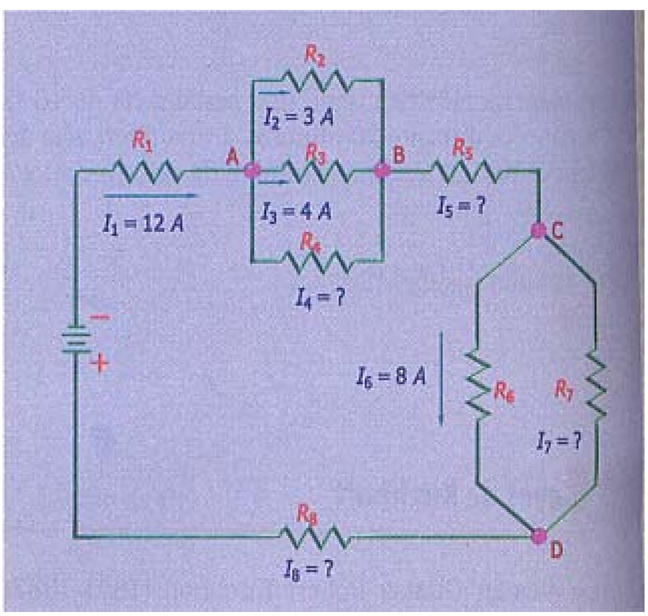
1. Determinar el valor de la intensidad de la corriente que pasa por I_2 en el circuito, aplicando la primera ley de Kirchhoff.



Solución:
Como $\sum$I que entra = $\sum$ I que salen, en el nodo A:

$I_1 = I_2 + I_3 \therefore$
$I_2 = I_1 - I_3 = 8A - 3\ A = 5A$

2. Calcular el valor de las intensidades desconocidas, así como el sentido de dicha corriente. Aplique la primera ley de Kirchhoff.



Solución:

Para el calculo de I_4 sabemos que en el nodo A: $\sum$ I de entrada = $\sum$ I de salida.

$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$ $\therefore$
$I_4 = I_1 - I_2 - I_3 = 12\ A - 3\ A - 4\ A = 5\ A$

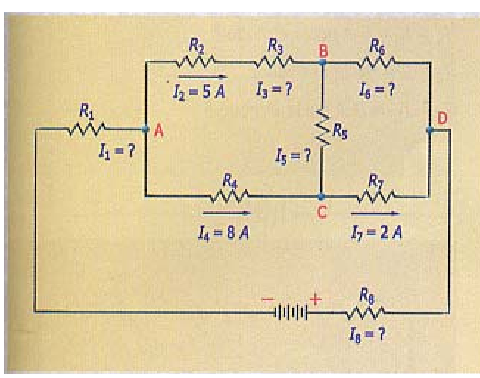
El sentido de la corriente es el mismo de I_2 e I_3 y se dirige al nodo B.
Para el calculo de I_5 tenemos que en el nodo B : $\sum$ I entrada = $\sum$ I salida.
$I_2 + I_3 + I_4 = I_5$
$3\ A + 4\ A + 5\ A = 12\ A$

El sentido de la corriente es hacia el nodo C. Para el cálculo de I_7 tenemos que el nodo C :
$\sum$I entrada = $\sum$ I salida.
$I_5 = I_6 + I_7$
$I_7 = I_5 - I_6 = 12\ A - 8\ A = 4\ A$

El sentido de la corriente es hacia el nodo D. Para el cálculo de I_8 tenemos que el nodo D:
$\sum$I entrada = $\sum$I salida.
$I_6 + I_7 = I_8$
$8\ A + 4\ A = 12\ A$

El sentido de la corriente es hacia la terminal positiva de la batería.

3. En el siguiente circuito eléctrico, determinar el valor de las intensidades desconocidas, así como el sentido de dicha corriente. Aplique la primera la ley de kirchhoff.



Solución:

Cálculo de I_1:
En el nodo A: $\sum$I entrada = $\sum$I salida.

$I_1 = I_2 + I_4$

5 A + 8 A = 13 A

El sentido de la corriente es hacia el nodo A.

Cálculo de I_3:
Como R_2 y R_3 están conectadas en serie, la corriente que pasa por R_2 es la misma que circula por R_3, de donde: $I_2 = I_3 = 5$ A, al llegar a B.

Cálculo de I_5:
En el nodo C: $\sum I$ entrada = $\sum I$ salida.
$I_4 = I_5 + I_7$
$I_5 = I_4 - I_7 = 8\text{ A} - 2\text{ A} = 6\text{ A}$

El sentido de la corriente I_5 es hacia el nodo B.

Cálculo de I_6:
En el nodo B: $\sum I$ entrada = $\sum I$ salida.
$I_3 + I_5 = 11$ A

El sentido de la corriente I_6 es hacia el nodo D.

Cálculo de I_8:
En el nodo D: $\sum I$ entrada = $\sum I$ salida.
$I_6 + I_7 = I_8$
11 A + 2 A = 13 A

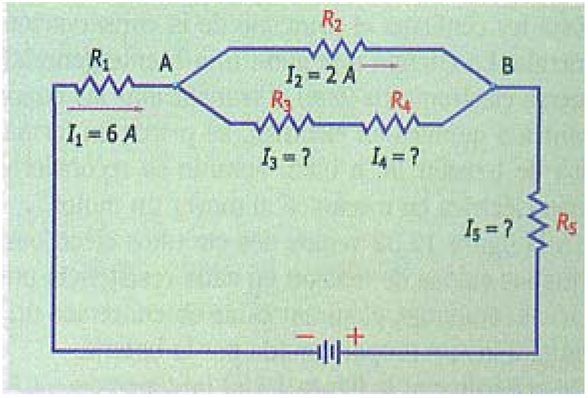
El sentido de la corriente de I_8 es hacia la terminal positiva de la batería.

Como se observa $I_1 = I_8$, lo cual confirma que la cantidad de corriente eléctrica de entrada es igual a la salida.

Ejercicios propuestos (Primera ley de Kirchhoff)

En los siguientes circuitos eléctricos:
Calcular el valor de las intensidades desconocidas, así como el sentido de dicha corriente.

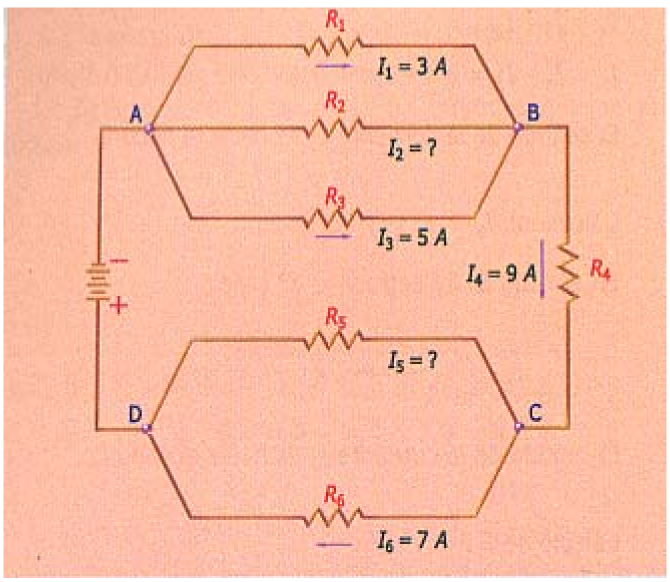
Caso 1



Respuestas:

$I_3 = I_4 = 4$ A hacia el nodo B
$I_5 = 6$ A hacia la terminal positiva de la batería.

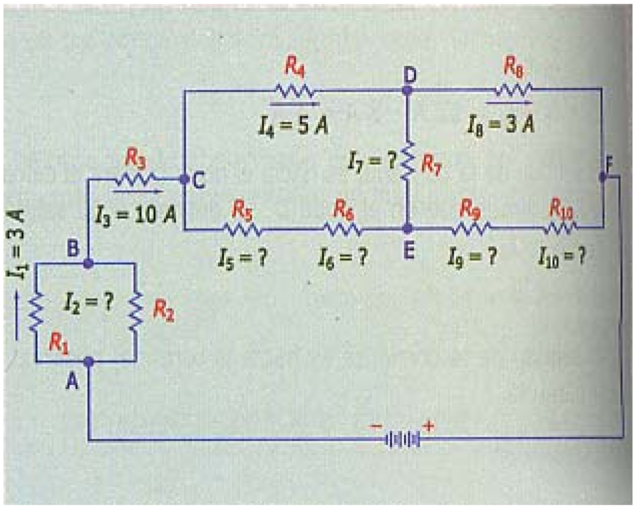
Caso 2



Repuestas:

$I_2 = 1$ A hacia el nodo B
$I_5 = 2$ A hacia el nodo D

Caso 3

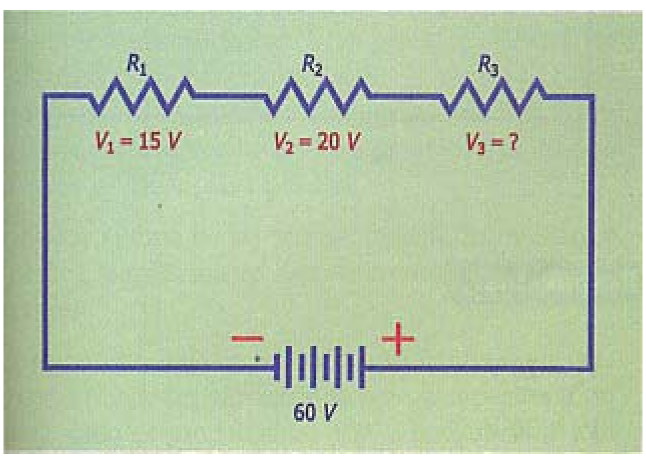


Respuestas:

I_2= 7 A hacia el nodo B
$I_5 = I_6$ = 5 A hacia el nodo E
I_7 = 2 A hacia el nodo E
$I_9 = I_{10}$ = 7 A hacia el nodo F

Resolución de problemas (Segunda ley de Kirchhoff)

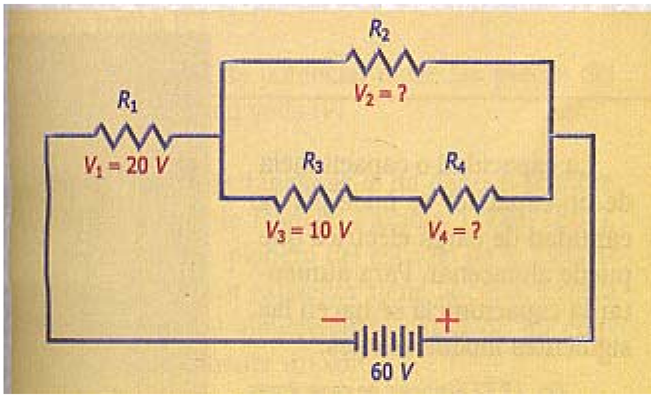
1. Calcular la caída de tensión en R_3 del siguiente circuito por medio de la segunda ley de kirchhoff.



Solución:

$V_T = V_1 + V_2 + V_3$
$V_3 = V_T – V_1 – V_2$
V_3 = 60 V – 15 V – 20V = 25 V

2. Determinar la caída de tensión en R_2 y R_4 con la segunda ley de kirchhoff.



Solución:

$\sum \in = \sum IR \therefore$
$V_T = V_1 + V_2 = V_1 + V_3 + V_4$

Calculo de V_2:
Como la caída de tensión de V_1 es de 20 V y el voltaje total es de 60 V resulta:

$V_T = V_1 + V_2$
$V_2 = V_T – V_1= 60\ V – 20\ V = 40\ V$
Cálculo de V_4:

Ya vimos que por R_2 hay una caída de tensión de 40 V, y como R_2 está en paralelo con R_3 y R_4, por estas dos últimas resistencias debe haber también una caída total de tensión de 40 V:

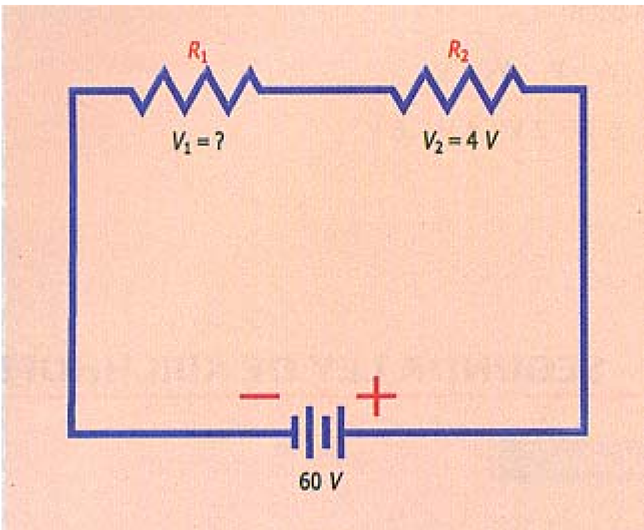
$40\ V = V_3 + V_4$
$V_4 = 40\ V – V_3 = 40\ V – 10\ V = 30\ V$

o bien:
$V_T = V_1 + V_3 + V_4$
$V_4 = V_T – V_1 – V_3$
$V_4= 60\ V – 20\ V – 10\ V = 30\ V$

Ejercicios propuestos (Segunda ley de Kirchhoff)

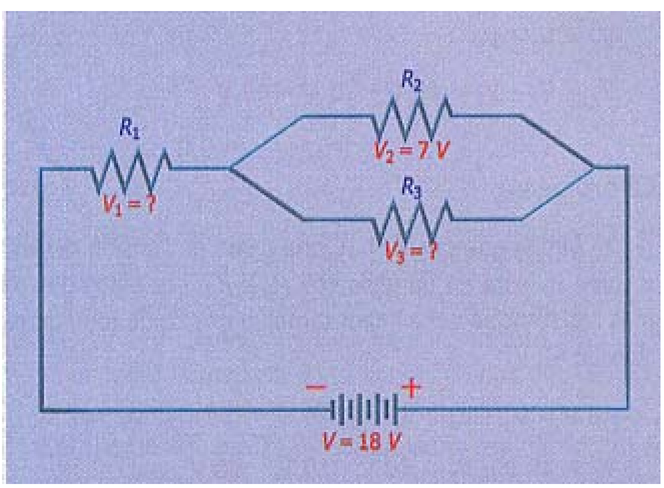
De acuerdo con la segunda ley de Kirchhoff, calcular en los siguientes casos las caídas de tensión que se desconocen.

Caso 1



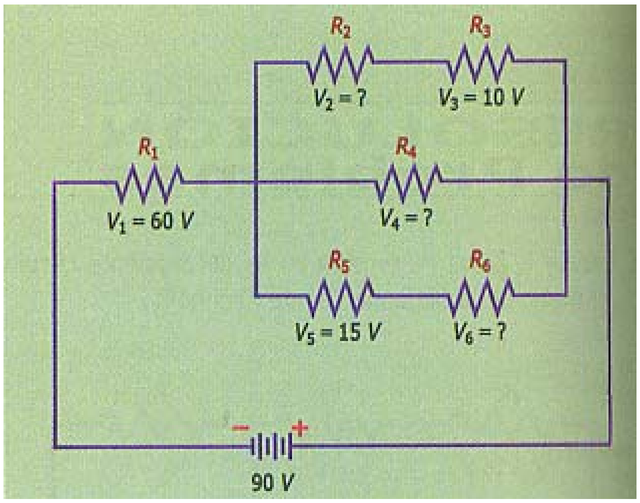
Respuesta:
$V_1 = 2$ V

Caso 2



Respuestas:
$V_1 = 11$ V
$V_3 = V_2 = 7$ V

Caso 3



Respuestas:
$V_2 = 20$ V
$V_4 = 30$ V
$V_6 = 15$ V

EJERCICIOS RESUELTOS Y PROPUESTOS

3.2. ELECTROMAGNETISMO

Resolución de problemas (flujo magnético)

1.- En una placa circular de 3 cm de radio existe una densidad de flujo magnético de 2 teslas. Calcular el flujo magnético total a través de la placa, en Webers y Maxwells.

Datos
r =3cm = 0.03 m
B= 2T
ϕ = ?
1 Wb = 1 x 10^8 maxwells

Fórmula

ϕ =BA

Cálculo del área de la placa
$A = \pi r^2 = 3.14\ (3 \times 10^{-2}\ m)^2$

Sustitución y resultado
$\phi = 2\ \frac{Wb}{m^2} \times 28.26 \times 10^{-4}\ m^2$

$= 56.52 \times 10^{-4}$ Wb

$56.52 \times 10^{-4}\ Wb \times \frac{1 \times 10^8\ maxwells}{1Wb}$

$\phi = 56.52 \times 10^4$ maxwells

2. Una espira de 15 cm de ancho por 25 cm de largo forma un ángulo de 27° con respecto al flujo magnético. Determinar el flujo magnético que penetra por la espira debido a un campo magnético cuya densidad de flujo es de 0.2 teslas.

Datos
A= 15cm x 25cm
θ = 27°
B= 0.2 T
ϕ= ?

fórmula
ϕ =BA sen θ

Calculo del área
$A = 0.15m \times 0.25m = 0.038\ m^2$
$A = 3.8 \times 10^{-2}\ m^2$

Sustitución y resultado
$\phi = 0.2\ Wb/m^2 \times 3.8 \times 10^{-2}\ m^2 \times 0.4540$

$\phi = 3.5 \times 10^{-3}$ Wb

Ejercicios propuestos (Flujo magnético)

1. En una placa rectangular que mide 1 cm de ancho por 2 cm de largo, existe una densidad de flujo magnético de 1.5 T. ¿Cuál es el flujo magnético total a través de la placa en webers y maxwells?

Respuesta:
$\phi = 30 \times 10^{-4}$ Wb = 3×10^{4} maxwell

2. Calcular el flujo magnético que penetra por una espira de 8 cm de ancho por 14 cm de largo y forma un ángulo de 30° con respecto a un campo magnético cuya densidad de flujo es de 0.15 T.

Repuesta:
$\phi = 8.4 \times 10^{4}$ Wb

Resolución de un problema de intensidad de campo magnético

Una barra de hierro cuya permeabilidad relativa es de 12500 se coloca en una región de un campo magnético en el cual la densidad del flujo magnético es de 0.8 teslas, ¿Cuál es la intensidad del campo magnético originada por la permeabilidad del hierro?

Datos

$\mu_{rfe} = 12500$
$B = 0.8$ T
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm /A

Fórmula

$$H = \frac{B}{\mu}$$

Calculo de la permeabilidad del hierro

$\mu = \mu_r \mu_0$
$\mu = 12500 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}$ Tm /A

$= 1.57 \times 1^{-2}$ Tm/A

Sustitución y resultado

$$H = \frac{0.8\ T}{1.57 \times 10^{-2}\ Tm/A} = 51\ A/m$$

Ejercicio propuesto

Se coloca una placa de hierro con una permeabilidad relativa de 12500 en una región de un campo magnético en el cual la densidad del flujo vale 0.5 T. Calcular la intensidad del campo magnético originada por la permeabilidad del hierro.

Repuesta:

$H = 32$ A/m

EJERCICIOS RESUELTOS Y PROPUESTOS ELECTROMAGNETISMO

Resolución de problemas (Campo magnético)

1. Calcular la inducción magnética o densidad de flujo en el aire, en un punto a 10 cm de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente de 3 A.

Datos

B= ?
$\mu = \mu_0 = 4\ \pi \times 10^{-7}$ Tm/A
d= 10 cm =0.1 m
I= 3 A

Fórmula

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

Sustitución y resultado

$$B = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A} \times 3\ \text{A}}{2 \times 3.14 \times 0.1\text{m}} = 60 \times 10^{-7}\ \text{T}$$

2. Determinar la inducción magnética en el centro de una espira cuyo radio es de 8 cm; por ella circula una corriente de 6 A. La espira se encuentra en el aire.

Datos

B = ?
r = 8cm = 8×10^{-2} m
I= 6 A
$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A

Fórmula

$$B = \frac{\mu I}{2r}$$

Sustitución y resultado

$$B = \frac{4 \times 3.\ 14 \times 10^{-7}\text{Tm/A} \times 6\text{A}}{2 \times 8 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 4.71 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

3. Una espira de 9 cm de radio se encuentra sumergida en un medio cuya permeabilidad relativa es de 15. Calcular la inducción magnética en el centro de la espira si a través de ella circula una corriente de 12 A.

Datos

r = 9 cm= 9×10^{-2} m
$\mu_r = 15$
I= 12 A
B= ?
μ= ?

Fórmula

$$B = \frac{\mu I}{2r}$$

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

$\mu_0 = 4\ \pi \times 10^{-7}$ Tm/A

Cálculo de la permeabilidad del medio

μ=15 x 4 x 3.14x 10^{-7} Tm/A

= 1.9 x 10^{-5} Tm/a

Sustitución y resultado

$$B = \frac{1.9 \times 10^{-5}\ \text{Tm/A} \times 12\ \text{A}}{2 \times 9 \times 10^{-2}\ \text{m}} = 1.27 \times 10^{-3}\ \text{T}$$

4. Calcular el radio de una bobina que tiene 200 espiras de alambre en el aire por lo cual circula en una corriente de 5 A y se produce una inducción magnética en su centro de 8 x 10^{-3} T.

Datos

r = ?

N = 200

I = 5 A

B= 8 x 10^{-3} T

$\mu = \mu_0 = 4\ \pi \times 10^{-7}$ Tm/A

fórmula

$$B = \frac{N\mu I}{2r} \ \therefore \quad r = \frac{N\mu I}{2\,B}$$

Sustitución y resultado

$$r = \frac{200 \times 4 \times 3.14 \times 10^{-7}\ \text{Tm/A} \times 5\ \text{A}}{2 \times 8 \times 10^{-3}\ \text{T}} = 7.8 \times 10^{-2}\ \text{m} = 7.8\ \text{cm}$$

5. Un solenoide tiene una longitud de 15 cm y esta devanado con 300 vueltas de alambre sobre un núcleo de hierro cuya permeabilidad relativa es de 1.2 x 10^4.
Calcular la inducción magnética en el centro del solenoide cuando por el alambre circula una corriente de 7mA.

Datos

L= 15cm = 15 x 10^{-2} m

N= 300

μ_r= 1.2 x 10^4

I= 7 mA = 7x 10^{-3} A

B= ?

$\mu_0 = 4\ \pi \times 10^{-7}$ Tm/A

μ= ?

Fórmula

$$B = \frac{N\mu I}{L}$$

$\mu = \mu_r\ \mu_O$

Calculo de la permeabilidad del hierro

μ= 1.2 x 10^{4} x 4 x 3.14 x 10^{-7} Tm/A

= 15.1 x 10^{-3} Tm/A

Sustitucion y resultado

$$B = \frac{300 \times 15.1 \times 10^{-3}\, Tm/A \times 7 \times 10^{-3}\, A}{15 \times 10^{-2}\, m} = 2.1 \times 10^{-1}\, T$$

Ejercicios propuestos (Campo Magnético)

1. Determinar la inducción magnética en el aire, en un punto a 6 cm de un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente de 2 A.

Repuesta:
$B = 6.7 \times 10^{-6}$ T

2. Calcular a que distancia de un conductor recto existe una inducción magnética de 9×10^{-6} T, si se encuentra en el aire y por él circula una corriente de 5 A.

Respuesta:
$D = 1.1 \times 10^{-1}$ m = 11cm

3. ¿ Cuál es el valor de la inducción magnética en el centro de una espira por la cual circula una corriente de 1 A, si está en el aire y su radio es de 11 cm?

Respuesta:
$B = 5.7 \times 10^{-6}$ T

4. Por una espira de 7cm de radio que se encuentra sumergida en un medio con una permeabilidad relativa de 35, circula una corriente de 4 A. ¿ qué valor tiene la inducción magnética en el centro de la espira?

Respuesta:
$B = 1.26 \times 10^{-3}$ T

5. Calcular la intensidad de la corriente que debe circular por una bobina de 500 espiras de alambre en el aire, cuyo radio es de 5cm, para que produzca una inducción magnética en su centro de 7×10^{-3} T.

Respuesta:
B = 1.1 A

6. Calcular la longitud que debe tener una solenoide para que al ser devanado con 600 espiras de alambre sobre un núcleo de hierro, con una permeabilidad relativa de 1.25×10^{4}, produzca una inducción magnética de 0.5 T en su centro. Una corriente de 10 miliamperes circula por el alambre.

Respuesta:
$L = 1.9 \times 10^{-1}$ m =19 cm

Resolución de problemas (Fuerza sobre cargas en movimiento dentro de campos magnéticos)

1. Un protón de carga 1.6×10^{-19} C penetra perpendicularmente en un campo magnético cuya inducción es de 0.3 T con una velocidad de 5×10^{5} m/s. ¿ Qué fuerza recibe el protón?

Datos

$q = 1.6 \times 10^{-19}$ C
B= 0.3T
$V = 5 \times 10^{5}$ m/s
F = ?

Fórmula

F = qvB

Sustitución y resultado

$$F = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{C} \times 5 \times 10^{5}\,\text{m/s} \times 0.3\,\frac{\text{N}}{\text{C m/s}}$$

$$= 2.4 \times 10^{-14}\text{N}$$

2. Una carga de 6 μC (microcoulombs) se mueve en forma perpendicular a un campo magnético con una velocidad de 4×10^{4} m/s y recibe una fuerza de 3×10^{-3} N. ¿Cuál es el valor de la inducción magnética?

Datos

$q= 6 \times 10^{-6}$ C
$v = 4 \times 10^{4}$ m/s
$F = 3 \times 10^{-3}$ N
B = ?

Fórmula

F= qvB ∴

$$B = \frac{F}{qv}$$

Sustitución y resultado

$$B = \frac{3 \times 10^{-3}\,\text{N10}}{6 \times 10^{-6}\,\text{C} \times 4 \times 10^{4}\,\text{m/s}}$$

$$B = 1.25 \times 10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{C m/s}} = 1.25 \times 10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{Am}}$$

$$B = 1.25 \times 10^{-2}\,\text{T}$$

3. Una carga de 7 μC (microcoulombs) se desplaza con una velocidad de 6×10^{5} m/s y forma un ángulo de 60° con respecto un campo cuya inducción magnética es de 0.32 T. ¿Qué fuerza recibe la carga?

Datos

$q = 7 \times 10^{-6}$ C
$v = 6 \times 10^{5}$ m/s
θ = 60°

Fórmula

F= qvB sen θ

B = 0.32 T
F = ?

Sustitución y resultado

$$F = 7 \times 10^{-6}\ C \times 6 \times 10^{5}\ \frac{m}{s} \times 0.32 \frac{N}{C\ m/s} \times 0.8660$$

$F = 11.6 \times 10^{-1}$ N

4. Por un alambre recto circula una corriente de 6 miliamperes. Si dicho alambre se introduce entre los polos de un imán de herradura y queda sumergido 5 cm en forma perpendicular al campo de 0.15 T de inducción magnética, calcular la fuerza que recibe.

Datos

$I = 6 \times 10^{-3}$ A
$L = 5$ cm $= 5 \times 10^{-2}$ m
$B = 0.15$ T

Fórmula

$F = BIL$

Sustitución y resultado

$$F = 0.15 \frac{N}{Am} \times 6 \times 10^{-3}\ A \times 5 \times 10^{-2}\ m$$

$F = 4.5 \times 10^{-5}$ N

5. Calcular la corriente que circula por un alambre recto que recibe una fuerza de 2×10^{-4} N al ser introducido perpendicularmente a un campo magnético de 0.5 T, si se sumerge 9 cm del alambre.

Datos

I = ?
$F = 2 \times 10^{-4}$ N
$B = 0.5$ T
$L = 9$ cm $= 9 \times 10^{-2}$

Fórmula

$F = BIL$
$\therefore I = \frac{F}{BL}$

Sustitución y resultado

$$I = \frac{2 \times 10^{-4}\ N}{0.5 \frac{N}{Am} \times 9 \times 10^{-2}\ m}$$

$I = 4 \times 10^{-3}$ A = 4mA

6. Un alambre recto por el cual circula una corriente de 1 A se introduce a un campo cuya inducción magnética es de 0.2T y forma un ángulo de 70° con las líneas de flujo del mismo. Calcular la longitud del alambre que queda sumergido en el campo si la fuerza recibida es de 8×10^{-3} N.

Datos

Fórmula

$I = 1\ A$
$\theta = 70°$
$B = 0.2\ T$
$F = 8 \times 10^{-3}\ N$
$L = ?$

$$F = BIL \text{ sen } \theta$$

$$\therefore L = \frac{F}{BI \text{ sen } \theta}$$

Sustitución y resultado

$$L = \frac{8 \times 10^{-3}\ N}{0.2\ N/Am \times 1\ A \times 0.9397}$$

$L = 4.3 \times 10^{-2}\ m = 4.3\ cm$

7. Por un conductor recto circula una corriente de 2 A y a través de otro, que está paralelo a una distancia de 5 cm, circula una corriente de 4 A. Calcular la fuerza recibida por cualquiera de los conductores, si su longitud es de 0.6 m y se encuentra en el aire.
Al considerar que la corriente circula en diferente sentido por los conductores, ¿la fuerza es de atracción o repulsión?

Datos

$I_1 = 2\ A$
$I_2 = 4\ A$
$r = 5\ cm = 5 \times 10^{-2}\ m$
$L = 0.6\ m$

$K_m = 1 \times 10^{-7}\ \frac{N}{A^2}$

$F = ?$

Fórmula

$$F = \frac{K_m L I_1 I_2}{r}$$

Sustitución y resultado

$$F = \frac{2 \times 10^{-7}\ \frac{N}{A^2} \times 0.6\ m \times 2\ A \times 4\ A}{5 \times 10^{-2}\ m}$$

$F = 1.9 \times 10^{-5}\ N$ (de repulsión)

Ejercicios propuestos (Fuerza sobre cargas en movimiento dentro de campos magnéticos)

1. Una carga de 4 μC (microcoulombs) penetra perpendicularmente en un campo magnético de 0.4 T con una velocidad de 7.5×10^4 m/s. Calcular la fuerza que recibe la carga.

Respuesta:
$F = 1.2 \times 10^{-1}$ N

2. Un electrón de carga -1.6×10^{-19} C se mueve con una velocidad de 8×10^5 m/s y forma un ángulo de 30° con respecto a un campo de inducción magnética igual a 0.55 T. ¿Qué fuerza recibe el electrón?

Respuesta:
$F = 3.5 \times 10^{-14}$ N

3. Calcular la velocidad que lleva una carga de 9 μC (microcoulombs) al penetrar un campo magnético de 0.1 T con un ángulo de 50° por lo que recibe una fuerza de 3×10^{-3} N.

Respuesta:
$v = 4.3 \times 10^3$ m/s

4. ¿Qué fuerza recibe un alambre recto por el cual circula una corriente de 5mA al ser introducido perpendicularmente a un campo de 0.6 T, si quedan 8 cm de alambre dentro del campo?

Repuesta:
$F = 2.4 \times 10^{-4}$ N

5. Un alambre recto se introduce, de manera perpendicular, 12 cm a un campo de 0.25 T de inducción magnética. Determinar el valor de la corriente que circula por ese alambre, si recibe una fuerza de 1.6×10^{-3} N.

Respuesta
$I = 5.3 \times 10^{-2}$ A

6. ¿Cuál es la longitud sumergida en un campo magnético de 0.28 T de un alambre recto por el cual circula una corriente de 3 A, si al formar un ángulo de 37° con las líneas de flujo recibe una fuerza de 6×10^{-3} N?

Respuesta:
$L = 1.2 \times 10^{-2}$ m = 1.2 cm

7. Dos conductores rectos se encuentran paralelos a una distancia de 3 cm. por uno circula una corriente de 5 A y por el otro una de 6 A. Sí la longitud considerada de los conductores es de 70 cm, calcular la fuerza que recibe cualquiera de los dos conductores al estar en el aire; señale si es de atracción o de repulsión, pues el sentido de la corriente en ambos conductores es el mismo.

Respuesta:
$F = 1.4 \times 10^{-4}$ N (de atracción)

8. Se tiene dos conductores paralelos que miden 1.5 cm; cuál será la distancia entre ambos para que se atraigan con una fuerza de 4×10^{-5} N, al transportar una corriente de 3 A cada uno.

Respuesta:
$r = 6.7 \times 10^{-2}$ m = 6.7cm

Resolución de problemas (Ley de Faraday)

1. Una bobina de 60 espiras emplea 4×10^{-2} s en pasar entre los polos de un imán en forma de U desde un lugar donde el flujo magnético es de 2×10^{-4} wb., a otro en el que éste es igual a 5×10^{-4} wb ¿Cuál es el valor de la fem media inducida?

Datos

$N = 60$
$t = 4 \times 10^{-2}$ s
$\phi_i = 2 \times 10^{-4}$ Wb
$\phi_f = 5 \times 10^{-4}$ Wb
$\in = ?$

Fórmula

$$\in = -N \frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

Sustitución y resultado

$$\in = -60 \frac{(5 \times 10^{-4} \text{ Wb} - 2 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{4 \times 10^{-2} \text{ s}}$$

$\in = -0.45$ V

2. Un conductor rectilíneo de 10 cm de longitud se mueve perpendicularmente a un campo de inducción magnética igual a 0.4 T con una velocidad de 3 m/s. ¿Cuál es el valor de la fem inducida?

Datos

L = 10 cm = 0.1 m
B = 0.4 T
v = 3 m/s
$\in = ?$

fórmula

$\in = BLv$

Sustitución y resultado

$$\in = 0.4\ \frac{Wb}{m^2} \times 0.1m \times 3\ \frac{m}{s} = 0.12\ V$$

3. El flujo magnético que cruza una espira de alambre varia 2×10^{-3} a 4×10^{-3} webers en 3×10^{-2} segundos. ¿ Qué fem media se induce en el alambre?

Datos

$\phi_f = 4 \times 10^{-3}$ Wb

$\phi_i = 2 \times 10^{-3}$ Wb

$t = 3 \times 10^{-2}$ s

$\in = ?$

Fórmula

$$\in = -\frac{\phi_f - \phi_i}{t}$$

Sustitución y resultado

$$\in = -\frac{4 \times 10^{-3} Wb - 2 \times 10^{-3} Wb}{3 \times 10^{-2} s}$$

$$\in = -6.6 \times 10^{-2} V = -66\ mV$$

4. Calcular él numero de espiras que debe tener una bobina para que al recibir una variación del flujo magnético de 8×10^{-4} Wb en 3×10^{-2} seg, se genere en ella una fem media inducida de 12 V.

Datos

$N = ?$

$\Delta\phi = 8 \times 10^{-4}$Wb

$t = 3 \times 10^{-2}$ s

$\in = 12\ V = 12\ Wb/s$

Fórmula

$$\in = -N\frac{\Delta\phi}{t} \therefore$$

$$N = \frac{\in t}{\Delta\phi}$$

Sustitución y resultado

$$N = \frac{12\ Wb/s \times 3 \times 10^{-2} s}{8 \times 10^{-4}\ Wb} = 450 \text{ vueltas}$$

Ejercicios propuestos (Ley de Faraday)

1. Calcular el valor de la fem media inducida en una bobina de 200 espiras que tarda 2×10^{-2} segundos en pasar entre los polos de un imán en forma de U desde un lugar donde el flujo magnético es de 5×10^{-3} Wb a otro en que éste vale 8×10^{-3} Wb.

Respuesta:

$\in = -30V$

2. Calcular el tiempo necesario para efectuar una variación de 6 x 10^{-4} Wb en el flujo magnético, al desplazarse una bobina de 500 vueltas entre los polos un imán en forma de herradura, el cual genera una fem media inducida de 20 V.

Respuesta:
t = 1.5 x 10^{-2} s

3. Un conductor rectilíneo de 12 cm de longitud se mueve en forma perpendicular a un campo de inducción magnética igual a 0.27 T con una velocidad de 4 x 10^3 m/s. Calcular el valor de la fem media inducida.

Respuesta:
$\in$ = 130 V

4. Calcular la velocidad con que se mueve un alambre de 15 cm perpendicularmente a un campo cuya inducción magnética es de 0.35 T al producirse una fem media inducida de 0.5 V.

Respuesta:
v = 9 m/s