UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE NUEVO LEON

Escuela Preparatoria No. 2

FISICA IV

Autor: Ing. Raymundo López Lozano

UAN
DAD AUTÓNOMA DE NUEV
CCIÓN GENERAL DE BIBLIOTEC

Prepa 2

FISI

QC21
.2
L6
v.4

IV

1020115260

ALERE FLAMMAM VERITATIS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

0113-35760

F I S I C A [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] para los Alumnos de Cuarto Semestre - de [illegible] escrito confor- me al [illegible] oficial vigente.

Autor: Ing. [illegible]

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

F I S I C A IV

CUARTO CURSO

Texto para los Alumnos de Cuarto Semestre - de Educación Media Superior escrito conforme al Programa Oficial vigente.

Autor: Ing. Raymundo López Lozano

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

QC21
.2
L6
V.4

CAPILLA ALFONSINA
UANL

FONDO UNIVERSITARIO
153547

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A mi Esposa
Leonor Mejía León

A G R A D E C I M I E N T O

Mi más sincera gratitud, al Sr. Director de la Preparatoria No.2 de la U.A.N.L., LIC. JESUS E. VAZQUEZ GALLEGOS, por haberme brindado la oportunidad y el apoyo necesario para la elaboración del presente Libro.

Enero 1985

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

C O N T E N I D O

UNIDAD 1 CALORIMETRIA Pag.

1-1 Introducción 8
1-2 Calor y Temperatura 10
1-3 Termometría 14
1-4 Escalas de Temperatura 20
1-5 Escalas absolutas de temperatura 26
1-6 Sección de Problemas Resueltos.. 31
1-7 Teoría del Calórico 43
1-8 El Calor y sus Unidades 46
1-9 Cambios de Fase 52
1-10 Sección de Problemas Resueltos . 59
1-11 Calentamiento 67
1-12 Sección de Problemas Resueltos . 70
1-13 Transferencia de Calor 85
1-14 Sección de Problemas Resueltos .103
1-15 Primera Ley de la Termodinámica.114
1-16 Equivalente Mecánico del Calor .124
1-17 Segunda Ley de la Termodinámica.126
1-18 Sección de Problemas Resueltos..139

UNIDAD 2 ELECTROSTATICA Y ELECTRODINAMICA Pag.

2-1 INTRODUCCION 157
2-2 Naturaleza Eléctrica de la Materia....158
2-3 Conductores y Aisladores 165

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIDAD 2 Pag.

2-4 Cuantización de la Carga Eléctrica.... 167
2-5 Electrización de los Cuerpos 171
2-6 Descarga de Cargas Estáticas 178
2-7 Conservación de la Carga Eléctrica ... 182
2-8 Ley de Coulomb 185
2-9 Sección de Problemas Resueltos 189
2-10 Flujo Electrónico 207
2-11 Fuerza Electromotriz y diferencia de potencial 213
2-12 Resistencia Eléctrica 217
2-13 Ley de Ohm 222
2-14 Circuitos Eléctricos 223
2-15 Sección de Problemas Resueltos 229
2-16 Instrumentos Eléctricos 247
2-17 Leyes de Kirchhoff 253
2-18 Sección de Problemas Eléctricos...... 262

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIDAD 1

CALORIMETRIA

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

OBJETIVOS ESPECIFICOS

El alumno:

- Diferenciará entre temperatura y calor.
- Identificará las diferentes escalas de temperatura.
- Realizará conversiones de una escala de temperatura a otra.
- Definirá el concepto de calor y las unidades en que se mide.
- Explicará los métodos principales de la transferencia de calor.
- Definirá los conceptos de:
  Punto de fusión
  Punto de ebullición
  Calor de vaporización
- Resolverá problemas relacionados con calor de fusión y calor de vaporización.
- Enunciará la Primera Ley de la Termodinámica.
- Enunciará la Segunda Ley de la Termodinámica.
- Ejemplificará la Primera y la Segunda Ley de la Termodinámica.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIDAD 1

CALORIMETRIA

INTRODUCCION.- Todo cuerpo en reposo o en -- movimiento, posee una energía, además de su energía potencial gravitacional y de su energía cinética, una energía que recibe el nombre de: Energía interna o intrinseca.

Un sólido, un líquido o un gas, como se sabe están constituídos por átomos o por moléculas, los cuales pueden estar muy juntos como en los sólidos, relativamente juntos como en los líquidos o muy separados como en los gases. Pués bién, en cualesquiera de los casos, les corresponde una energía potencial: Muy grande en los sóidos, relativamente grande en los líquidos y muy pequeña en los gases. Además, al estar en movimiento los átomos o moléculas: El movimiento en los gases es superior, intermedio en los líquidos y pequeño en los sólidos, poseerán en conjunto, una energía cinética.

La suma de la energía cinética y de la energía potencial de todas las moléculas o átomos que constituyen a una sustancia en general, da lugar a la: Energía interna de la -- sustancia. Como recordarás, en la Unidad 2 -- del libro de Física III, se definió a la --- energía como: La capacidad para realizar un trabajo. Y también, se dijo que, el trabajo puede ser positivo y negativo. Entonces, una sustancia como por ejemplo un gas, puede realizar un trabajo positivo o negativo debido a la variación o cambio en el contenido de - su energía interna.

También, la variación o cambio en el contenido de la energía interna de una sustancia, - se puede deber a que dicha energía se haya - transformado en energía calorífica o que haya ganado energía calorífica. Es decir, que la energía interna de un cuerpo o de una sustancia: sea sólido, líquido o gas, podrá cambiar debido a un trabajo mecánico o a una -- energía calorífica.

A la energía calorífica también se le llama simplemente: Calor, y es una forma de la --- energía.

Recuerda que la ley de la conservación de la energía establece que: La energía no se crea

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ni se destruye, sino que se transforma.
Entonces, el calor se puede transformar en: Trabajo Mecánico o energía interna, o en general, en cualesquier otro tipo de energía.

A la rama de la Física que trata acerca del calor y sus transformaciones se le llama: Térmica o Termología.

1-2 CALOR Y TEMPERATURA.- Antes de establecer la diferencia entre el calor y la temperatura, es conveniente definir lo que es un sistema en general y su medio ambiente. Pués bién, un sistema es: Una porción de materia aislada imaginariamente para ser estudiada; y el medio ambiente es: Todo lo que rodea al sistema y que interviene directamente en su comportamiento. Por ejemplo: Un block que se coloca sobre un resorte vertical, puede ser el sistema y el medio ambiente: El resorte, la gravedad y el aire, que intervendrán directamente sobre su movimiento hacia abajo.

Cuando un sistema sufre cambios ocasionados por su medio ambiente en: Su temperatura, en su energía interna, en su volumen, en su presión, etc., se dirá que se trata de un sistema termodinámico.

A la interacción entre un sistema termodinámico y su medio ambiente se le llama: Proceso termodinámico. Como ejemplo tenemos el caso más común: Hervir agua. Aquí, el agua será el sistema termodinámico, pués su volúmen estará cambiando y su medio ambiente será la llama caliente del gas en contacto con la vasija del agua.

Entonces, en todo proceso termodinámico habrá siempre una interacción directa entre el sistema termodinámico y su medio ambiente.

Ahora definiremos a la termodinámica diciendo: Es el estudio de los cambios de la energía. La termodinámica está regida por tres leyes: La Ley Cero, La primera y la segunda Ley.

La Ley Cero establece: Para que dos o más cuerpos estén en equilibrio térmico, es necesario y suficiente que sus temperaturas sean iguales.

Comó se acaba de ver, la temperatura es la clave en la Ley Cero de la termodinámica.

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La temperatura es una propiedad general de la materia y es una cantidad física fundamental termodinámica. Así como la longitud, la masa y el tiempo, son cantidades físicas fundamentales en Mecánica.

El manejo matemático de la temperatura, se facilita por el hecho de que es una cantidad física escalar, es decir, no necesita de vectores para ser representada.

Ahora definiremos la temperatura diciendo: La temperatura de un sistema es una propiedad que a la larga alcanza el mismo valor que la de otros sistemas, cuando todos ellos se ponen en contacto.

Esta definición puede decirse, es una consecuencia de la Ley Cero de la termodinámica.

La temperatura también se puede definir así:

a) Es una medida del grado de calor o de frío de un sistema dado, o bién

b) Es el índice relativo de la energía interna de un sistema o cuerpo determinado. A mayor energía interna mayor temperatura o bién, a menor energía interna, menor temperatura.

En la sección anterior (Introducción) ya se había definido al calor, diciendo que es una forma de la energía, como lo es: La energía potencial y la energía cinética.

También se dijo, que el cambio en la energía interna podría deberse a una transformación de la misma; a energía calorífica o calor.

CONCLUSION.- La diferencia entre temperatura y calor es en primer lugar, que la temperatura es una medida y que el calor es una forma de la energía; y en segundo lugar, como veremos en la siguiente sección: Qué las unidades de la temperatura y del calor son diferentes.

Cabe aclarar que, aunque dos sistemas se encuentren a la misma temperatura, sus energías internas no son iguales necesariamente, pués recuerda, que la energía interna depende de la cantidad total de los átomos o moléculas que integran a un sistema., Es decir, a mayor número de átomos o moléculas, su energía interna será mayor y viceversa. Por ejemplo: Dos vasos que contienen agua, aunque estén a la misma temperatura, no tendrán la misma energía interna si sus volúmenes de

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

agua son diferentes.

1-3 TERMOMETRIA.- Comunmente empleamos el sentido del tacto para determinar, si un cuerpo está caliente o frío. Sin embargo esta medida no es nada confiable, pués para una persona con fiebre, agua caliente le parecerá que está tibia, mientras que para una persona normal, le parecerá que el agua está caliente y para otra que acaba de tener sus manos en contacto con un trozo de hielo, le parecerá que está muy caliente el agua.

De ahí la necesidad de los termómetros para decidir si un cuerpo está frío o caliente.

Los termómetros son dispositivos empleados para medir la temperatura de un sistema dado.

La termometría es el tratado de la medición de la temperatura y por lo tanto de los termómetros.

En la construcción de los termómetros, se hace uso de sustancias que reciben el nombre de: Sustancias termométricas, las cuales poseen propiedades cuyos valores están relacionados con la temperatura, expresándose di-

chas relaciones mediante una ecuación lineal, como:

$$T = k\,x \quad \ldots\ldots \; 1\text{-}3\text{-}1$$

Siendo T la temperatura, k una constante de proporcionalidad y la x representa la propiedad de la sustancia termométrica, que por variar su valor con la temperatura, recibe el nombre de: Propiedad Termométrica.

La constante de proporcionalidad: k, se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$k = \frac{T_o}{X_o} \quad \ldots\ldots \; 1\text{-}3\text{-}2$$

En la cual, T_o es una temperatura de referencia a la cual corresponde un valor de la propiedad termométrica x_o.

En la construcción y calibración de los termómetros, se emplea como temperatura de referencia o temperatura patrón; El punto triple del agua.

El punto triple del agua se define como: La temperatura en la cual coexisten en equilibrio el hielo, el agua líquida y su vapor, - encerrados bajo una presión de 4.58 mm-Hg.

El valor del punto triple del agua o temperatura patrón se ha asignado arbitrariamente - como: 273.16 grados Kelvin y se abrevia: --- 273.16°K. El grado Kelvin es un intervalo de temperatura unidad.

Sustituyendo k por su valor dado por la relación 1-3-2, en la ecuación 1-3-1, se obtendrá la ecuación general de los termómetros:

$$T = \frac{T_o}{X_o} X \quad ..... \; 1\text{-}3\text{-}3$$

Los termómetros que más conocemos son los de vidrio-mercurio, en los cuales la sustancia termométrica es el mercurio y su propiedad - termométrica es la variación de la longitud de su columna con la temperatura: A mayor -- temperatura la columna aumenta y a menor temperatura, la columna disminuye.

Sin embargo, dichos termómetros tienen sus - limitaciones, pués no se pueden usar a grandes temperaturas (herviría el mercurio dentro del vidrio) ni a bajas temperaturas (se

solidificará el mercurio).

Para salvar dichas limitaciones, se hacen -- uso de termómetros cuyas sustancias termométricas mantengan su estado físico: Sólido, - Líquido o gas, así como, que sus propiedades termométricas mantengan su variación lineal con la temperatura, como lo establece la --- ecuación: 1-3-3. Entre estos termómetros, se cuenta el termómetro de Helio a volumen constante. El Helio es un gas desde la temperatura de 1°K, la cual es muy baja, como veremos más delante. La propiedad termométrica del - helio que se usa en éste termómetro a volumen constante, es: La presión.

Como se comprenderá, el termómetro de gas -- helio a volumen constante, se podrá usar a - cualesquier temperatura, estando limitado su uso, por el material de que esté hecho el -- bulbo del termómetro, que es donde se encuentra el gas y que definitivamente es la parte del termómetro que se pondrá en contacto directo con el medio cuya temperatura se desea medir.

A continuación aparece un termómetro de: Vidrio-mercurio y uno de helio gas-a volumen -

UANL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ® DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

constante:

FIG. 1-3-1

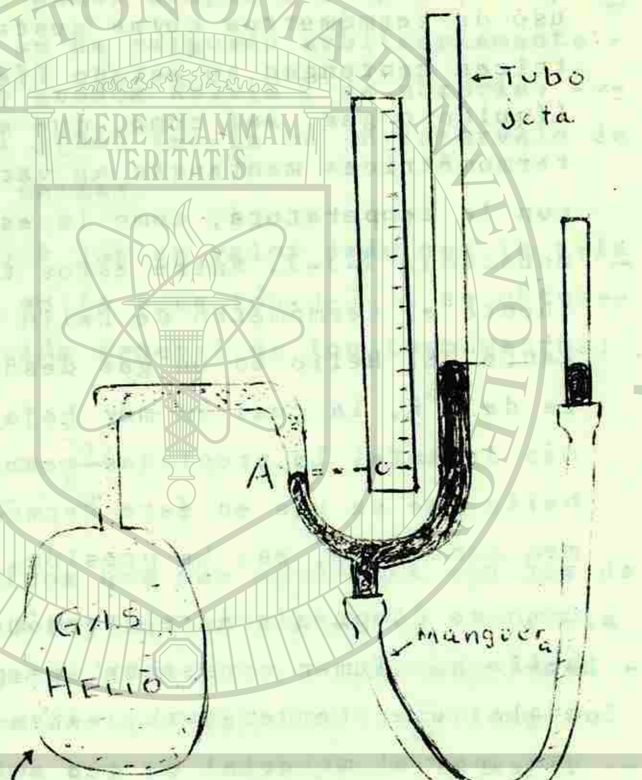


FIG. 1-3-2

La figura 1-3-1 muestra el típico termómetro de mercurio, cuyo bulbo contiene la mayor --

parte de la sustancia termométrica, siendo - mínima en la columna del termómetro.

La figura 1-3-2 representa al termómetro de gas helio a volumen constante. Se dice que - es a volumen constante porque cada vez que - se vaya a medir la temperatura, el tubo derecho ha de subirse o bajarse gracias a la --- flexibilidad de la manguera, hasta que el -- mercurio de la rama izquierda del tubo jota, se mantenga en el punto A. De esta manera, - el gas helio se mantendrá en su volumen constante, mientras que su presión será medida - por la altura del mercurio de la rama derecha del tubo jota, sumándole la presión barométrica o presión atmosférica del medio ambiente que rodea a la sustancia o cuerpo cuya temperatura se esté midiendo.

Las ecuaciones particulares para cada termómetro serán.-

a) Para el Mercurio:

$$T = \frac{273.16^{o}K}{L_o} L$$

siendo T, la temperatura correspondiente a la longitud L de la columna de mercurio

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

en el termómetro y L_o será la longitud de la columna de mercurio a la temperatura patrón de $273.16^{o}K$.

b) Para el gas-helio:

$$T = \frac{273.16^{o}K}{P_o} P$$

siendo T, la temperatura correspondiente a la presión P total: La que registrará el tubo jota más la atmosférica. Y P_o será la presión total correspondiente a la temperatura de $273.16^{o}K$.

1-4 ESCALAS DE TEMPERATURAS.- Comunmente se utilizan dos clases de escalas de temperatura en la construcción de los termómetros y son: La escala celsius también llamada escala centígrada y la escala fahrenheit en el sistema inglés. En la graduación de estas escalas se han utilizado diferentes puntos de referencia y son:

a) Escala celsius.- Supongamos que se va a calibrar un termómetro de vidrio-mercurio. Entonces, dicho termómetro se sumerge por su bulbo en una mezcla de agua-hielo en -

equilibrio térmico, a la presión de una atmósfera. De esta manera se hará una marca sobre la carátula del termómetro, a la altura a donde llegó la columna de mercurio, registrando un 0, este cero indicará la temperatura arbitraria de cero grados centígrados que abreviado será: $0^{o}C$.

Luego, el termómetro se sumergirá por su bulbo, dentro de agua hirviendo a la presión de una atmósfera, anotando el número 100 arbitrariamente, a la altura que llegó la columna del mercurio. Dicho número equivale a una temperatura de 100 grados centígrados que se abreviarán: $100^{o}C$.

De esta manera se habrá calibrado el termómetro de vidrio-mercurio. Lo que resta es, dividir en 100 partes iguales el espacio de la carátula que existe entre el 0 y el 100 de la escala, de ahí el nombre de grado centígrado que se le dá a cada segmento resultante de la división.

La siguiente figura representa un termómetro de vidrio-mercurio, con escala centígrada:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

en el termómetro y L_o será la longitud de la columna de mercurio a la temperatura patrón de 273.16^oK.

b) Para el gas-helio:

$$T = \frac{273.16^oK}{P_o} P$$

siendo T, la temperatura correspondiente a la presión P total: La que registrará el tubo jota más la atmosférica. Y P_o será la presión total correspondiente a la temperatura de 273.16^oK.

1-4 ESCALAS DE TEMPERATURAS.- Comunmente se utilizan dos clases de escalas de temperatura en la construcción de los termómetros y son: La escala celsius también llamada escala centígrada y la escala fahrenheit en el sistema inglés. En la graduación de estas escalas se han utilizado diferentes puntos de referencia y son:

a) Escala celsius.- Supongamos que se va a calibrar un termómetro de vidrio-mercurio. Entonces, dicho termómetro se sumerge por su bulbo en una mezcla de agua-hielo en

equilibrio térmico, a la presión de una atmósfera. De esta manera se hará una marca sobre la carátula del termómetro, a la altura a donde llegó la columna de mercurio, registrando un 0, este cero indicará la temperatura arbitraria de cero grados centígrados que abreviado será: 0^oC.

Luego, el termómetro se sumergirá por su bulbo, dentro de agua hirviendo a la presión de una atmósfera, anotando el número 100 arbitrariamente, a la altura que llegó la columna del mercurio. Dicho número equivale a una temperatura de 100 grados centígrados que se abreviarán: 100^oC.

De esta manera se habrá calibrado el termómetro de vidrio-mercurio. Lo que resta es, dividir en 100 partes iguales el espacio de la carátula que existe entre el 0 y el 100 de la escala, de ahí el nombre de grado centígrado que se le dá a cada segmento resultante de la división.

La siguiente figura representa un termómetro de vidrio-mercurio, con escala centígrada:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Fig. 1-4-1

b) Escala Fahrenheit.- En este caso, también se supondrá que se usará un termómetro de vidrio-mercurio.

Este termómetro se sumergirá por su bulbo en una mezcla de agua-hielo-sal, en equilibrio térmico a la presión de una atmósfera, anotándose el cero sobre la carátula del termómetro, a la altura a que llegó la columna de mercurio. De esta manera se tendrá una temperatura de cero grados

fahrenheit la cual se abrevia: $0^{o}F$.

El otro punto de referencia fué, la temperatura del cuerpo humano: $98.6^{o}F$ que se registró o anotó en la carátula del termómetro, a la altura a que llegó la columna de mercurio. De ésta forma se habrá calibrado el termómetro vidrio-mercurio, con la escala fahrenheit, restando por dividir en segmentos iguales, el espacio comprendido entre $0^{o}F$ y $98.6^{o}F$.

La siguiente figura representa a un termómetro de vidrio-mercurio con escala: Fahrenheit.

Fig. 1-4-2

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Si colocamos paralelamente las dos escalas anteriores encontraremos que 0^oC coincide con 32^oF y que 100^oC coincide con 212^oF, según la figura 1-4-3

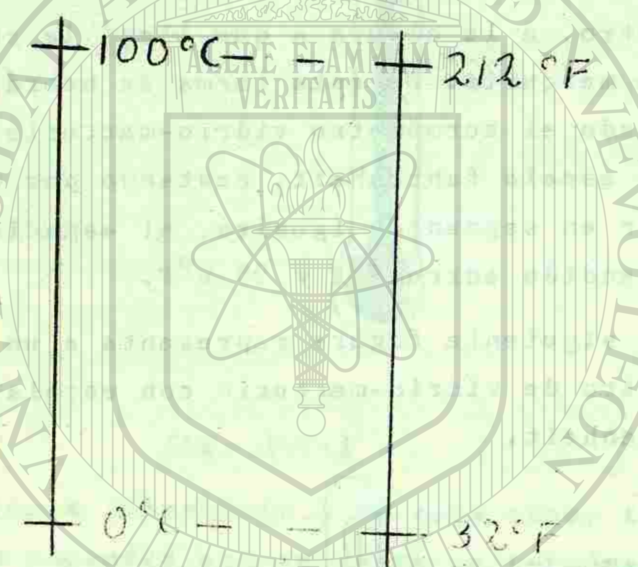


Fig. 1-4-3

Lo anterior equivale a decir que: 100 divisiones o segmentos de la escala celsius, corresponden a 180 divisiones o segmentos de la escala Fahrenheit. El 180 resultó de: $212^oF - 32^oF = 180^oF$.

Por lo tanto, un segmento centígrado es más grande que un segmento Fahrenheit, o

sea:

$$1^oC = 1.8^oF \quad ..... \; 1\text{-}4\text{-}1$$

Cuidado, esta igualdad representa un factor de conversión, más no quiere decir que un grado centígrado como valor de una temperatura, sea igual a 1.8^oF. Este factor lo usaremos más adelante.

Las ecuaciones usadas para efectuar cambios de escalas o transformaciones de temperatura son:

$$^oC = \frac{5}{9}\,(^oF - 32) \quad ....1\text{-}4\text{-}2$$

$$^oF = \frac{9}{5}\,^oC + 32 \quad ....1\text{-}4\text{-}3$$

Tanto la escala centígrada como la Fahrenheit, registrarán temperaturas negativas, las cuales se localizan abajo del cero de cada escala. Debido a ésto, y a que su cero de temperatura las invalida para ser usadas en problemas que requieren de ecuaciones que incluyen a la temperatura como una variable, como la ecuación general --

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

del estado gaseoso: PV = nRT, se ha hecho necesario del uso de escalas absolutas de temperatura, que no tienen temperaturas negativas y que su cero de temperatura es inalcansable.

1-5 ESCALAS ABSOLUTAS DE TEMPERATURA.-

Hay dos escalas absolutas de temperatura: La Kelvin y la Rankine. La Kelvin es aplicada en el sistema métrico internacional (SI), mientras que la Rankine es aplicada en el sistema inglés. Por estas razones, los segmentos de la escala celsius y Kelvin coinciden:

$$1^{o}C = 1^{o}K \quad ...... \quad 1\text{-}5\text{-}1$$

y en segmentos de la escala Fahrenheit y Rankine también coinciden entre sí:

$$1^{o}F = 1^{o}R \quad ..... \quad 1\text{-}5\text{-}2$$

Recuerda, las expresiones 1-5-1 y la 1-5-2, son factores de conversión, que usaremos más adelante, más no son ecuaciones de transformación.

A continuación aparecen las cuatro escalas de temperatura con sus valores característicos:

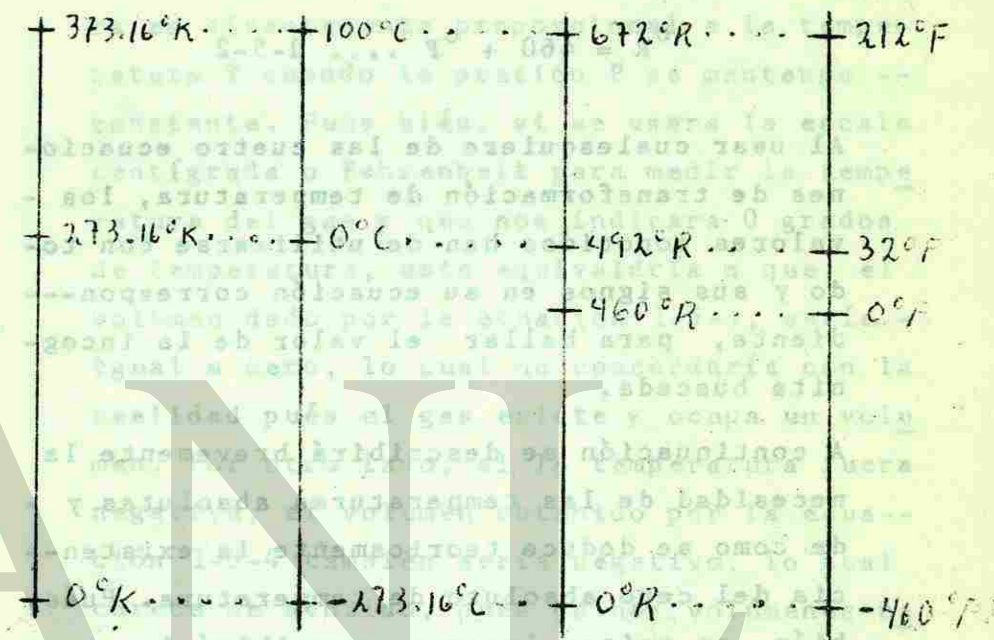


Fig. 1-5-1

La ecuación de transformación que relaciona a la escala Celsius y a la Kelvin, en base a las escalas correspondientes de la figura 1-5-1 es:

$$^{o}K = 273.16 + {^{o}C} \quad ... \quad 1\text{-}5\text{-}1$$

y la ecuación de transformación que relaciona a la escala Fahrenheit y a la Rankine, en

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

base a las escalas correspondientes de la figura 1-5-1 es:

$$°R = 460 + °F \quad .... \quad 1\text{-}5\text{-}2$$

Al usar cualesquiera de las cuatro ecuaciones de transformación de temperatura, los valores conocidos han de utilizarse con todo y sus signos en su ecuación correspondiente, para hallar el valor de la incognita buscada.

A continuación se describirá brevemente la necesidad de las temperaturas absolutas y de como se deduce teoricamente la existencia del cero absoluto de temperatura. Pués bién, en primer lugar se escribirá la ecuación general del estado gaseoso: PV = nRT, de la cual despejaremos V:

$$V = \frac{nR}{P} T \quad .... \quad 1\text{-}5\text{-}3$$

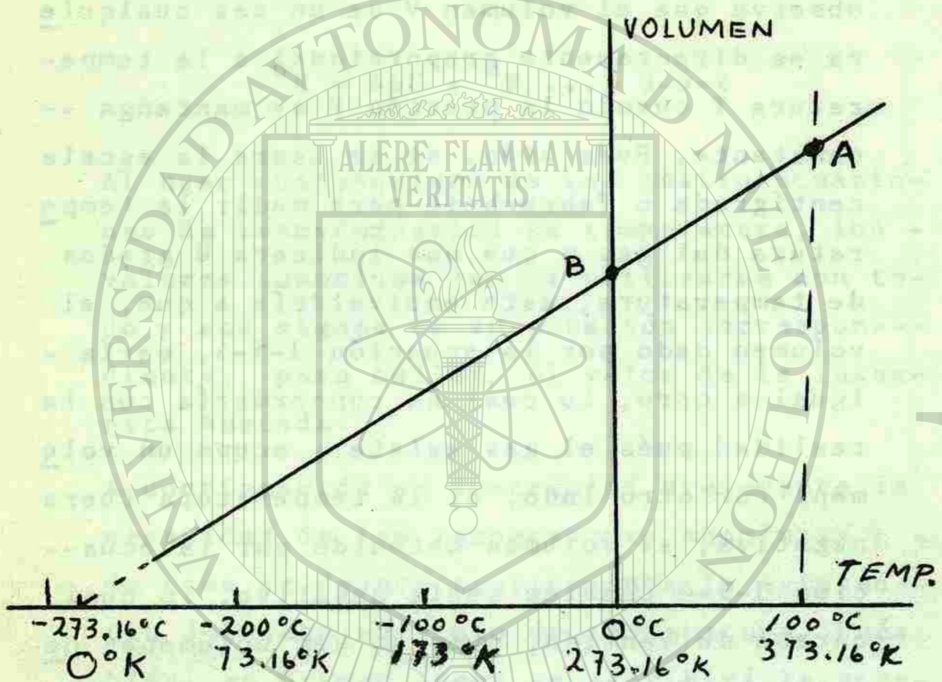
o bién: $V = kT \quad .... \quad 1\text{-}5\text{-}4$

La relación $\frac{nR}{P}$ de la ecuación 1-5-3, se ha sustituído por una constante de proporcionalidad representada por la letra k, para dar lugar a la ecuación 1-5-4. En esta ecuación, observa que el volumen V de un gas cualquiera es directamente proporcional a la temperatura T cuando la presión P se mantenga constante. Pués bién, si se usara la escala centígrada o Fahrenheit para medir la temperatura del gas y que nos indicara 0 grados de temperatura, esto equivaldría a que, el volumen dado por la ecuación 1-5-4, sería igual a cero, lo cual no concordaría con la realidad pués el gas existe y ocupa un volumen. Por otro lado, si la temperatura fuera negativa, el volumen obtenido por la ecuación 1-5-4 también sería negativo, lo cual carece de sentido, pués no hay volúmenes negativos. Entonces, podemos decir, que estas son dos razones por las que hay necesidad de las temperaturas absolutas.

Ahora, si graficaramos la variación del volumen de un gas con respecto a la temperatura, llegaríamos realmente al cero de temperatura para el cual, el volumen de un gas se reduce a cero, de acuerdo con la ecuación 1-5-4.

UANL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ® DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La siguiente gráfica nos demuestra lo anterior:



Gráfica 1-5-1

Observa como en ésta fráfica, al aumentar - la temperatura, el aumento del volumen del gas no tiene límite.

A la temperatura de 0°C el gas tiene un volumen B menor que el volumen A a 100°C.

Al ir disminuyendo la temperatura, el volu-

men irá también disminuyendo. Como el gas, antes de llegar a temperaturas más bajas, - se convierte en líquido, entonces la recta AB de la gráfica ha de continuarse por me-- dio de una recta segmentada, hasta que el - volumen se haga cero, cuando la temperatura es de $-273.16^{o}C$, correspondiendo esta temperatura a $0^{o}K$, que es, el cero absoluto, según la gráfica.

Experimentalmente, ésta temperatura nunca - se ha alcanzado.

1-6 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- La longitud de la columna de un termómetro de vidrio-mercurio, es de 10 cm --- cuando su bulbo se encuentra sumergido en una mezcla de agua-hielo en equili-- brio térmico. ¿Qué temperatura reportará dicho termómetro cuando la longitud de la columna es de 15 cm?. ¿Qué longitud tendrá la columna cuando la temperatura sea de $-100^{o}C$?.

Soluciones.- Para la primer pregunta -- los datos a usar son: $T_o = 273.16^{o}K$, --

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

L_o = 10 cm y L = 15 cm, y sustituyendo estos valores en la ecuación de los termómetros de vidrio-mercurio:

$$T = \frac{273.16^oK}{L_o}\ L = \frac{273.16^oK}{10\ cm}\ 15\ cm$$

$$T = 409.74^oK$$

Para contestar la segunda pregunta, ha de despejarse la longitud L de la columna, de la ecuación anterior:

$$L = \frac{T}{273.16^oK}\ L_o$$, los datos proporcionados para contestar dicha pregunta son: T = -100°C y L_o = 10 cm. Antes de usar la ecuación, hemos de convertir 100°C a °K, porque así lo exige la ecuación.

Por lo tanto, usando la ecuación 1-5-1 y sustituyendo °C por su valor: -100, en tal ecuación, tenemos:

$$^oK = 273.16 + {}^oC = 273.16 + (-100) = 273.16 - 100$$

$$^oK = 173.16,\ \text{es decir que; } -100^oC = 173.16^oK$$

Ahora sí, volviendo a la ecuación:

$$L = \frac{T}{273.16^oK}\ L_o$$

y sustituyendo T y L_o por sus valores correspondientes, tenemos:

$$L = \frac{173.16^oK}{273.16^oK}\ 10\ cm = 6.34\ cm$$

o sea que la longitud de la columna de mercurio en el termómetro a -100°C, es de 6.34 cm.

2.- Un termómetro de gas hidrógeno a volumen constante, registra una presión total de 30 cm-Hg en el punto triple del agua.

a) ¿Qué temperatura se leerá en éste termómetro cuando la presión del hidrógeno es de 20 cm-Hg? (b) ¿Qué presión corresponderá cuando la temperatura en el termómetro es de 150°C?.

Soluciones.- (a) Los datos para la solución de éste inciso son:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$P_o = 30$ cm-Hg, $T_o = 273.16^{o}K$

$P = 20$ cm-Hg y sustituyendo estos valores en la ecuación:

$$T = \frac{273.16^{o}K}{P_o}\,P = \frac{273.16^{o}K}{30 \text{ cm-Hg}}\,20 \text{ cm-Hg}$$

$T = 182.10^{o}K$

(b) Primero, despejaremos la presión P de la ecuación anterior, obteniéndose:

$$P = \frac{T}{273.16^{o}K}\,P_o$$

Como T debe estar expresada en ^{o}K y se nos dá en ^{o}C, convertiremos primero los $150^{o}C$ a ^{o}K, mediante la ecuación: $^{o}K = 273.16 + {}^{o}C$, y sustituyendo ^{o}C por su valor, tendremos;

$^{o}K = 273.16 + 150 = 423.16$

o sea, que $150^{o}C = 423.16^{o}K$, por lo tanto:

$$P = \frac{423.16^{o}K}{273.16^{o}K}\,30 \text{ cm-Hg} = 46.47 \text{ cm-Hg}$$

o sea, que la presión total del hidrógeno será de 46.47 cm-Hg, cuando registre una

temperatura de $150^{o}C$.

3.- Cierto termómetro de resistencia de platino tiene una resitencia de 90.35 ohms cuando su bulbo se coloca en una celda de punto triple. ¿Qué temperatura reportará éste termómetro si su bulbo se coloca en un medio ambiente tal que su resistencia sea de 90 ohms? ¿Qué resistencia ofrecerá éste mismo termómetro cuando registre una temperatura de $-50^{o}C$?

Soluciones.- En este problema, se tiene un termómetro, cuya sustancia termométrica es el platino y su propiedad termométrica es su resistencia eleéctrica R., por lo tanto, su ecuación será:

$$T = \frac{T_o}{R_o}\,R$$

Sustituyendo; T_o por su valor: $273.16^{o}K$

R_o por su valor: 90.35 ohms

y R por su valor: 90 ohms, tenemos:

$$T = \frac{273.16^{o}K}{90.35 \text{ ohms}}\,90 \text{ ohms} = 272.10^{o}K$$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Ahora, si despejamos la resistencia R:

$$R = \frac{T}{T_o} R_o \quad \text{, pero como } T = -50^oC,$$

hemos de convertir -50^oC a ^oK,

$$^oK = 273.16 + {}^oC = 273.16 + (-50)$$

$$^oK = 273.16 - 50 = 223.16$$

o sea, que $-50^oC = 223.16^oK$, por lo tanto:

$$R = \frac{223.16^oK}{273.16^oK} \; 90.35 \text{ ohms} = 73.81 \text{ ohms}.$$

4.- ¿75^oK a cuantos ^oC equivalen?

Solución.- Como la ecuación de transformación es: $^oK = 273.16 + {}^oC$ y despejando ^oC, tenemos:

$$^oC = {}^oK - 273.16 = 75 - 273.16 = -198.16$$

o sea: 75^oK equivalen a -198.16^oC

5.- ¿-80^oF a cuantos grados Rankine equivalen?

Solución.- Empleando la ecuación de transformación: $^oR = 460 + {}^oF$ y sustituyendo ^oF -- por su valor dado:

$$^oR = 460 + (-80) = 460 - 80 = 380$$

o sea: $-80\ ^oF = 380\ ^oR$

6.- ¿$520\ ^oR$ a cuantos grados Fahrenheit --- equivalen?

Solución.- Partiendo de: $^oR = 460 + {}^oF$ y despejando ^oF, tenemos:

$$^oF = {}^oR - 460$$

y sustituyendo ^oR por su igual:

$$^oF = 520 - 460 = 60$$

o sea: $520\ ^oR$ equivalen a 60^oF

7.- ¿-10^oF a cuantos ^oC equivalen?

Solución.- Usando la ecuación:

$$^oC = \frac{5}{9}({}^oF - 32), \text{ y sustituyendo } {}^oF$$

por el dato conocido:

$$^oC = \frac{5}{9}\left[(-10) - 32\right]$$

$$^oC = \frac{5}{9}(-10-32) = \frac{5}{9}(-42)$$

$$^oC = \frac{-210}{9} = -23.33$$

o sea: $-10^{\circ}F = -23.33\ ^{\circ}C$

8.- ¿10 $^{\circ}F$ a cuántos $^{\circ}C$ equivalen?

Solución.- De nuevo, usando la siguiente ecuación y sustituyendo $^{\circ}F$ por su valor conocido;

$$^{\circ}C = \frac{5}{9}\,(^{\circ}F - 32) = \frac{5}{9}(10-32)$$

$$^{\circ}C = \frac{5}{9}\,(-22) = \frac{-110}{9} = -12.22$$

o sea: $10^{\circ}F = -12.22^{\circ}C$

9.- ¿85 $^{\circ}C$ a cuantos $^{\circ}F$ equivalen?

Solución.- Empleando la siguiente ecuación y sustituyendo $^{\circ}C$ por su dato:

$$^{\circ}F = \frac{9}{5}\ ^{\circ}C + 32 = \frac{9}{5}(85) + 32$$

$$^{\circ}F = \frac{765}{5} + 32 = 153 + 32 = 185$$

o sea: $85^{\circ}C = 185\ ^{\circ}F$

10.- ¿$-60^{\circ}C$ a cuantos grados Fahrenheit equivalen?

Solución.- De nuevo, usando la siguiente ecuación y sustituyendo $^{\circ}C$ por su dato:

$$^{\circ}F = \frac{9}{5}\ ^{\circ}C + 32 = \frac{9}{5}(-60) + 32 = \frac{-540}{5} + 32$$

$$^{\circ}F = -108 + 32 = -76$$

o sea: $-60^{\circ}C$ equivalen a $-76\ ^{\circ}F$

11.- ¿200 $^{\circ}R$ a cuántos $^{\circ}K$ equivalen?

Solución.- Primero convertiremos los $^{\circ}R$ a $^{\circ}F$, o sea: $^{\circ}R = 460 + {}^{\circ}F$, y despejando $^{\circ}F$; $^{\circ}F = {}^{\circ}R - 460$, y sustituyendo $^{\circ}R$ por su valor:

$$^{\circ}F = 200 - 460 = -260$$

Ahora, si sustituímos éste valor en la ecuación: $^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$, tenemos:

$$^{\circ}C = \frac{5}{9}\left[(-260) - 32\right] = \frac{5}{9}\,(-292)$$

$$^{\circ}C = \frac{-1460}{9} = -162.22$$

Finalmente, sustituyendo éste valor en:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$°K = 273.16 + °C = 273.16 + (-162.22)$

$°K = 273.16 - 162.22 = 110.94$

o sea: $200°R$ equivalen a $110.94\ °K$

12.- ¿400 °K a cuantos °F equivalen?

Solución.- Primero convertiremos los °K a °C, - mediante la ecuación:

$°K = 273.16 + °C$ y despejando °C;

$°C = °K - 273.16$, sustituyendo °K por -- su valor conocido:

$°C = 400 - 273.16 = 126.84$

Sustituyendo este valor en la ecuación:

$$°F = \frac{9}{5}\ °C + 32 = \frac{9}{5}(126.84) + 32$$

$$°F = \frac{634.20}{5} + 32 = 126.84 + 32$$

$°F = 158.84$, o sea:

$400\ °K = 158.84\ °F$

13.- ¿A que temperatura dan la misma lectura

las escalas Fahrenheit y Celsius? ¿A qué temperatura las escalas Fahrenheit y Kelvin?

Soluciones.- Para resolver la primer pregunta se pueden usar cualesquiera de las dos ecuaciones de transformación:

$$°F = \frac{9}{5}\ °C + 32 \quad o \quad °C = \frac{5}{9}(°F - 32)$$

usemos la primera (como ejercicio para ti, puedes hacer lo mismo con la segunda) sustituyendo °F y °C por x, pués se trata de que sean iguales los grados Fahrenheit y los grados Celsius:

$$x = \frac{9}{5}\ x + 32\ ,\quad 5\ x = 9\ x + 160$$

$$5\ x - 9\ x = 160\ ,\quad -4\ x = 160\ ,\quad x = -\frac{160}{4}$$

$x = -40$, éste resultado indica que la escala centígrada y la Fahrenheit se igualan a -40 grados.

Ahora, para contestar la segunda pregunta, usaremos la ecuación: $°K = 273.16 + °C$ y despejando °C, tenemos: $°C = °K - 273.16$ y - sustituyendo éste valor de °C, en la --

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ecuación anteriormente usada, tenemos:

$$°F = \frac{9}{5} (°K - 273.16) + 32$$

y sustituyendo °F y °K por x:

$$x = \frac{9}{5} (x - 273.16) + 32$$

$$5 x = 9 x - 2458.44 + 160$$

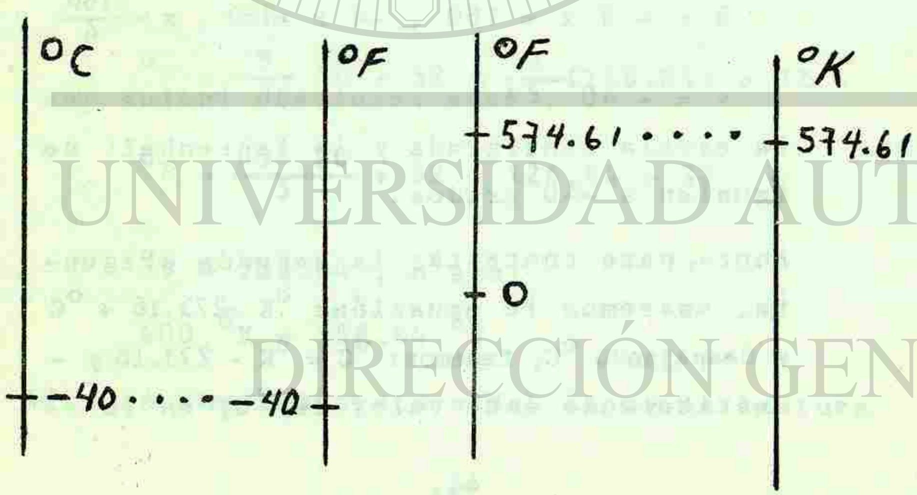
$$5 x - 9 x = - 2298.44$$

$$- 4 x = - 2298.44$$

$$x = \frac{2298.44}{4} = 574.61$$

Es decir, la escala Kelvin y Fahrenheit coinciden a 574.61 grados

Estos resultados podemos representarlos graficamente así:



1-7 TEORIA DEL CALORICO.- Por mucho tiempo se aceptó la Teoría del Calorico (Calorico era el nombre que se le daba al calor) para explicar los procesos en los que intervenían los fenómenos del calentamiento y enfriamiento de los cuerpos.

La Teoría del Calorico establecía que todo cuerpo caliente contenía más calorico que cualquier cuerpo frío, de tal manera que al poner en contacto un cuerpo caliente con otro cuerpo frío, el calorico fluía del cuerpo caliente al cuerpo frío, hasta llegar al equilibrio térmico, es decir, cuando los dos cuerpos alcanzaban a tener la misma temperatura.

De acuerdo con la Teoría del Calorico, se admitía que el calorico era una especie de sustancia. Esta teoría dejó de tener validez, cuando el Conde Rumford de Baviera (su nombre era: Benjamín Thompson, Personaje Norteamericano) supervisaba la perforación de cañones para el Gobierno Bávaro. Para impedir que los cañones se sobrecalentaran durante su perforación, se conservaban llenos de agua. El agua se reponía conforme se iba eva

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

porando durante el proceso de taladrado. Se aceptaba que era calorico lo que tenía que proporcionarse al agua para ponerla a hervir. La producción continua de calorico se explicaba admitiendo que cuando el taladro y el cañón se iban gastando (al taladro se le iba acabando el filo y el cañón iba soltando materia: rebaba, durante su perforación) su capacidad para retener al calorico disminuía siendo absorbido por el agua, aumentando así su temperatura hasta hervir. - Sin embargo, Rumford observó que aún cuando el taladro ya no cortaba al metal del cañón, el agua seguía hirviendo. Entonces se le vino la pregunta: Porqué el agua seguía hirviendo, si de acuerdo con la teoría del calorico ya no debía haber pérdida de calorico por parte del taladro y del cañón, --- pués ya no se perforaba. ¿Entonces, de donde provenía el calorico, que hacia que el - agua se calentara e hirviera?. La conclusión de Rumford fué la siguiente: El taladro sin filo (chato o romo) durante su movimiento continuo sobre el metal del cañón, - daba lugar a la fricción o rozamiento entre

las superficies, generandose de ésta forma: Calor, el cual era absorbido por el agua. - De ésta manera, la teoría del calorico cayó por tierra, naciendo un nuevo concepto: El calor es una forma de energía, pués en el - caso de la perforación de los cañones, el - trabajo mecánico gastado para mover al taladro, se transformaba mediante el trabajo -- hecho por las fuerzas de fricción, a energía calorifica o simplemente calor.

De todo lo anterior podemos sacar una nueva definición para el calor, pués recuerda que, durante la fricción las superficies se calientan --- (Las del taladro y del cañón). Y como el agua que se usaba estaba en íntimo contacto con dichas superficies calientes, se encargaba de enfriarlas, absorbiendo el calor generado - en ellas: Las superficies se encontraban a una mayor temperatura que el agua. Entonces definiremos al calor así:

Calor es una forma de la energía, que se -- transmite de un sistema a su medio ambiente, como resultado unicamente de la diferencia de temperaturas: Entre el sistema y su

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

medio ambiente.

El taladro y el cañón constituyen el sistema y el agua es el medio ambiente: En el caso de la perforación de Cañones.

1-8 EL CALOR Y SUS UNIDADES.- Para medir el calor que transmite un cuerpo caliente o el calor que absorbe un cuerpo frío, es necesario medir el cambio que experimentan estos cuerpos en su temperatura. Para ésto, utilizaremos los conceptos de capacidad calorifica y de calor específico.

La capacidad calorifica es: La cantidad de calor que absorbe un cuerpo dado, para aumentar su temperatura. Su expresión matemática es:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad \ldots\ldots \text{ 1-8-1}$$

En ésta ecuación, C representa la capacidad calorifica, Q la cantidad de calor y ΔT el aumento en la temperatura del cuerpo.

En realidad, éste concepto es algo vago, -- pués no especifica que cantidad de materia del cuerpo interviene en su definición. Por ésto, se utiliza más comunmente el calor específico, que viene siendo una capacidad -- calorífica específica.

Antes de dar la definición del calor específico es conveniente aclarar que hay dos clases de calores específicos: Uno a volumen - constante o C_v y el otro a presión constante o C_p., Este último es el más familiar, - pués, la determinación de su valor se realiza a la presión atmosférica, la cual se considera constante al nivel del mar. (Recuerda que la presión atmosférica varía, según la altura sobre el nivel del mar: En la ciudad de México es menor que en la ciudad de Monterrey, pués, la ciudad de México está a una mayor latura que Monterrey).

También cabe aclarar, que el calor específico en general, cambia con la temperatura, pero para fines prácticos, consideramos que - permanece invariable.

Pués bien, utilizaremos el calor específico a presión constante; o sea el C_p., y lo definiremos así; es la cantidad de calor que hay que aplicar a la unidad de masa para -- que aumente en un grado su temperatura. Su expresión matemática es:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$C_p = \frac{Q}{m\,\Delta T} \quad \ldots\ldots \; 1\text{-}8\text{-}2$$

siendo m la masa del cuerpo o la masa de -- una sustancia en general.

A continuación daremos a conocer las unidades de: Cantidad de calor Q así como sus definiciones respectivas:

Caloría es: La cantidad de calor que hay -- que agregar a un gramo de agua, para elevar su temperatura de $14.5^{o}C$ a $15.5^{o}C$.

Kilocaloría es: La cantidad de calor que -- hay que agregar a un kilogramo de agua, para elevar su temperatura de $14.5^{o}C$ a $15.5^{o}C$.

B.T.U. (Unidad térmica Británica) es: La -- cantidad de calor que hay que agregar a una libra masa de agua, para elevar su temperatura de $63^{o}F$ a $64^{o}F$.

Recuerda que ya se había aclarado, que el - calor específico varía con la temperatura, por eso hay necesidad de mencionar los valores de las temperaturas entre las cuales -- se hace la medición de la cantidad de calor

agregado o absorbido, como se acaba de hacer en las tres definiciones anteriores.

Entre las tres unidades de la cantidad de calor existen sus equivalencias y son las siguientes:

1 Kilocaloría = 1000 Calorías =3.97 B.T.U.

o también:

1 B.T.U. = 252 Calorías = 0.252 Kilocalorías

La caloría la abreviaremos de aquí en adelante así: Cal y la Kilocaloría: Kcal.

Una aclaración: La caloría que se usa para - medir el contenido de energía en los alimentos es en realidad una kilocaloría.

Una vez conocidas las unidades de la cantidad de calor Q, podremos sustituir Q por dichas unidades en las ecuaciones 1-8-1 y ---- 1-8-2, para obtener las unidades de la capacidad calorífica C y del calor específico, como sigue:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{Cal}{^{o}C}, \quad C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{Kcal}{^{o}C}, \text{ y}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{B.T.U.}{^{o}F}$$

Entonces, las unidades de la capacidad calorífica pueden ser: Cal/^oC , Kcal/^oC y B.T.U./^oF.
Ahora para el C_p (calor específico a presión constante):

$$C_p = \frac{Q}{m \Delta T} = \frac{Cal}{gr\text{-}^oC} \; , \quad C_p = \frac{Q}{m \Delta T} = \frac{Kcal}{Kgr\text{-}^oC} \; , \; y$$

$$C_p = \frac{B.T.U.}{Lb_m\text{-}^oF} = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Por lo tanto, las unidades del C_p pueden ser:

$$\frac{Cal}{gr - {}^oC} \; , \quad \frac{Kcal}{Kgr - {}^oC} \quad y \quad \frac{B.T.U.}{Lb_m - {}^oF}$$

El calor específico es una propiedad característica de las sustancias, es decir, cada sustancia tiene un calor específico determinado, diferente al del resto de las sustancias. El agua líquida se distingue del resto de las sustancias, en que su C_p es grande comparado al C_p de ellas. Enseguida se muestra una tabla de C_p, a la presión de una atmósfera, para diferentes sustancias:

TABLA 1-8-1

Sustancia	C_p Cal/gr -^oC ó B.T.U./Lb_m-^oF
Aluminio	.... 0.220
Latón	.... 0.094
Cobre	.... 0.093
Alcohol etílico	.... 0.600
Vidrio	.... 0.200
Oro	.... 0.030
Hielo	.... 0.500
Plomo	.... 0.031
Mercurio	.... 0.033
Plata	.... 0.056
Zinc	.... 0.092
Fierro	.... 0.113
Tungsteno	.... 0.032
Agua	.... 1.000

Con los datos de C_p anteriores, podemos decir o establecer lo siguiente:
Si calentamos un gramo o una libra-masa de Aluminio y un gramo o una libra-masa de cobre, con una misma llama de gas, notaremos que el cobre tardará menos en aumentar los mismos grados de temperatura que el alumi--

1020115260

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

nio, partiendo de que tanto el cobre como el aluminio tenían la misma temperatura inicial o antes de que comenzaran a calentarse.

Lo anterior se explica, pués el C_p del Aluminio es 2.34 veces más grande que el del cobre. De la misma manera, el aluminio tardará más tiempo en enfriarse que el cobre, pués había absorbido más calor. Es decir, que entre más grande sea el C_p, más tiempo tardará en calentarse la sustancia, más calor absorberá y más tiempo tardará en enfriarse. Naturalmente que, la misma cantidad de calor que se absorbe al calentarse, será la misma cantidad de calor que se libere al enfriarse.

1-9 CAMBIOS DE FASE.- La materia se presenta en la naturaleza en sus tres estados físicos: Sólido, líquido y gaseoso. A cada uno de estos estados físicos también se les llama: Fase.

Cuando un sólido se convierte en líquido se dirá que sufrió un cambio de fase: De la fase sólida pasó a la fase líquida. O también,

si un líquido se transforma a vapor, se dirá que pasó de la fase líquida a la fase vapor, es decir, el líquido sufrió un cambio de fase.

Para pasar de sólido a líquido o de líquido a vapor, es necesario aplicar calor. Esta misma cantidad de calor que se aplicó para realizar los cambios de fase, será la misma cantidad de calor que se libere al convertirse el vapor en líquido y el líquido en sólido.

En los cambios de fase de las sustancias, intervienen las temperaturas: La temperatura de fusión o de congelación y la temperatura de ebullición o de licuación.

La temperatura de fusión, también llamada punto de fusión, es; en la que un sólido se transforma en líquido.

Los sólidos cristalinos, o sea los que están constituídos por cristales en su estructura, tienen puntos de fusión bien definidos y puntos de congelación. Como por ejemplo; el cobre, el hielo, la sal de comer, etc. En cambio los sólidos amorfos, es de--

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

cir, los que no están constituídos por ---- cristales, no tienen puntos de fusión definidos, como: La manteca, la cera, el vidrio, etc.

Existen sólidos de elevado punto de fusión como: El tungsteno (3,370°C), el tántalo -- (3030°C), el Molibdeno (2620°C), otros de puntos de fusión intermedios como; el Platino (2774°C), el Hierro (1535°C), el Aluminío (650.7°C) y otros con puntos de fusión relativamente bajos como: El Zinc (420°C), el Plomo (327.4°C), el Estaño (231.9°C), -- etc.

La temperatura de congelación o de solidificación, es la temperatura en la cual, un líquido se transforma en sólido.

La temperatura de fusión y de congelación, son las mismas en magnitud, para una misma sustancia. Por ejemplo; en el caso del hielo, su punto de fusión es 0°C y su punto de solidificación también es 0°C.

El punto de ebullición se define como: La temperatura en que un líquido hierve, transformándose en vapor.

Por lo general, todos los líquidos continuamente están evaporándose sin hervir, a diferentes temperaturas. Por ejemplo, si dejamos un vaso con agua, a los pocos días notaremos que el agua se ha reducido a la mitad de su volumen, sin que en ningún momento -- hirviera. De ahí, la importancia de la definición correcta del punto de ebullición.

Entre los líquidos de mayor punto de ebullición se cuenta el Mercurio (356.6°C), de -- punto de ebullición intermedio como el Agua (100°C), y de punto de ebullición relativamente bajo se cuenta al Bromo (58°C).

La temperatura de licuación o de condensación, es la que un vapor se transforma en líquido.

La temperatura de ebullición y la temperatura de licuación, son las mismas en magnitud, para una misma sustancia. Por ejemplo; en el caso del Agua, su temperatura de ebullición es de 100°C y su temperatura de condensación es de 100°C.

Los valores de las temperaturas de fusión y de ebullición anotadas, fueron medidas a la

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

presión de una atmósfera.

Cuando se habla de un sólido, es porque la sustancia en cuestión, es sólida a la temperatura ordinaria; 20°C y presión ordinaria; una atmósfera, lo mismo se dice en el caso de los líquidos.

Para fundir un sólido es necesario aplicarle calor. Durante este proceso de fusión, el sólido absorberá el calor para convertirse en líquido.

Durante la fusión, la temperatura de la mezcla: Sólido-líquido, no aumenta, es decir, hay un equilibrio térmico entre el sólido que se funde y su líquido que se forma. Estamos hablando en este preciso momento, de la temperatura de fusión del sólido.

Al calor n ecesario para convertir un sólido a líquido, se le llama; calor latente de fusión.

Entonces, el calor latente de fusión es: La cantidad de calor que se aplica a la unidad de masa de un sólido en su punto de fusión, para convertirlo a líquido.

De la misma manera, para hervir un líquido, hemos de aplicarle calor. Durante éste proceso, el líquido obsorberá el calor aplicado para transformarse en vapor.

Durante la ebullición (cuando el líquido hierve), la temperatura del líquido no debe aumentar aunque se le aplique calor, pués ésta calor es absorbido por el líquido para convertirse en su vapor. Estamos hablando en éste preciso momento del punto de ebullición del líquido.

Al calor necesario para convertir un líquido en su vapor durante la ebullición, se le llama; calor latente de vaporización.

Entonces, el calor latente de vaporización se define como: La cantidad de calor que se aplica a la unidad de masa de un líquido en su punto de ebullición, para convertirlo en vapor.

Si representamos con las letras L_f al calor latente de fusión y con las letras L_v al calor latente de vaporización, podemos representar sus expresiones matemáticas correspondientes:

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$L_f = \frac{Q}{m} \quad .... \; 1\text{-}9\text{-}1$$

$$L_v = \frac{Q}{m} \quad .... \; 1\text{-}9\text{-}2$$

De acuerdo con las ecuaciones 1-9-1 y 1-9-2, determinaremos que las unidades de los calores latentes pueden ser:

$$\frac{Cal}{gr} \;,\; \frac{Kcal}{Kg} \;\; y \;\; \frac{B.T.U.}{Lb_m}$$

Así como cada sustancia tiene un C_p, también tendrá un L_f, un L_v, una T_f (temperatura de fusión) y una T_e (temperatura de ebullición) que las caracterizará o la identificará del resto de las demás sustancias.

A continuación se dan los valores del punto de fusión: T_f, del punto de ebullición: T_e, del calor latente de fusión L_f y del calor latente de vaporización: L_v, del agua a la presión de una atmósfera.

T_f	T_e	L_f	L_v
$0^{o}C$	$100^{o}C$	$80\ \frac{Cal}{gr}$	$540\ \frac{Cal}{gr}$

El calor latente de fusión, será el mismo -

que libere el líquido al solidificarse en su punto de congelación. De la misma manera, el vapor al licuarse en su punto de condensación, liberará la misma cantidad de calor que se le aplicó para evaporarlo en su punto de ebullición: O sea, será igual a su calor latente de vaporización.

Lo anterior da a entender, que un vapor contiene más energía interna que su líquido, y el líquido contiene más energía interna que su sólido.

1-10 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- La capacidad calorífica de cierta sustancia es de 50 $\frac{cal}{^{o}C}$. Expresar ésta capacidad en (a) $\frac{Kcal}{^{o}C}$ y (b) $\frac{B.T.U.}{^{o}F}$

Soluciones.- (a) Empleando el modelo matemático de conversiones de unidades ya conocido:

$$50\ \frac{Cal}{^{o}C} = X\ \frac{KCal}{^{o}C}$$

$$50\ \frac{Cal}{Kcal}\ \frac{\cancel{^{o}C}}{\cancel{^{o}C}} = X$$

$$50\ \frac{\cancel{Cal}}{1000\ \cancel{Cal}} = X$$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$\frac{50}{1000} = X$$

$$X = .050$$

Entonces; $50 \frac{Cal}{^oC} = .050 \frac{Kcal}{^oC}$

(b) $50 \frac{Cal}{^oC} = X \frac{B.T.U.}{^oF}$

$$50 \frac{Cal}{B.T.U.} \frac{^oF}{^oC} = X$$

$$50 \frac{\cancel{Cal}}{252\ \cancel{Cal}} \frac{^o\cancel{F}}{1.8^o\cancel{F}} = X$$

$$\frac{50}{252X1.8} = X$$

$$X = .110$$

Por lo tanto: $50 \frac{Cal}{^oC} = .110 \frac{B.T.U.}{^oF}$

Nota.- En éste inciso, se sustituyeron los ^oC por su equivalente 1.8^oF, no lo olvides.

2.- Demostrar, que cualesquier calor específico expresado en $\frac{Cal}{gr-^oC}$, se puede expresar también con el mismo valor numérico en $\frac{B.T.U.}{Lb_m-^oF}$.

Demostración.- Supongamos el C_p del Aluminio:

$$.220 \frac{Cal}{gr-^oC} = X \frac{B.T.U.}{Lb_m - ^oF}$$

$$.220 \frac{Cal}{B.T.U.} \frac{Lb_m}{gr} \frac{^oF}{^oC} = X$$

$$.220 \frac{\cancel{Cal}}{252\ \cancel{Cal}} \frac{453.5\ \cancel{gr}}{\cancel{gr}} \frac{^o\cancel{F}}{1.8^o\cancel{F}} = X$$

$$\frac{.220 X 453.5}{252 X 1.8} = X$$

$$\frac{99.77}{453.6} = X$$

$$.220 = X$$

Al sustituir la X por su valor encontrado: .220 en la primera ecuación, tendremos:

$$.220 \frac{Cal}{gr-^oC} = .220 \frac{B.T.U.}{Lb_m-^oF}$$

Con esto se demuestra el enunciado de éste problema.

3.- El calor específico del hielo es de $0.5 \frac{Cal}{gr-^oC}$, expresarlo en $\frac{Kcal}{Kg-^oC}$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Solución.-

$$.5\ \frac{Cal}{gr\text{-}{}^oC} = X\ \frac{Kcal}{Kg\text{-}{}^oC}$$

$$.5\ \frac{Cal}{Kcal}\ \frac{\cancel{{}^oC}}{\cancel{{}^oC}}\ \frac{Kg}{gr} = X$$

$$.5\ \frac{\cancel{Cal}}{1000\ \cancel{Cal}}\ \frac{1000\ \cancel{gr}}{\cancel{gr}} = X$$

$$.\,500 = X$$

$$X = .5$$

así es que:

$$.5\ \frac{Cal}{gr\text{-}{}^oC} = .5\ \frac{Kcal}{Kg\text{-}{}^oC}$$

Este resultado nos conduce a ampliar el --- enunciado del problema 2, diciendo; cualesquier calor específico expresado en $\frac{Cal}{gr\text{-}{}^oC}$ se puede también expresar con el mismo va-- lor numérico en $\frac{B.T.U.}{Lb_m\text{-}{}^oF}$ y además en $\frac{Kcal}{Kg\text{-}{}^oC}$.

Entonces, para el caso del hielo tendremos:

$$.5\ \frac{Cal}{gr\text{-}{}^oC} = .5\ \frac{Kcal}{Kg\text{-}{}^oC} = .5\ \frac{B.T.U.}{Lb_m\text{-}{}^oF}$$

4.- Calcular la cantidad de calor necesario para fundir 50 gr de hielo. El calor la

tente de fusión del hielo es de $80\frac{Cal}{gr}$. Expresar el resultado en B.T.U.

Solución.- Partiendo de la ecuación:

$L_f = \frac{Q}{m}$ y despejando Q, tenemos:

$Q = mL_f$, sustituyendo m y L_f por sus valores;

$$Q = 50\ \cancel{gr}\ (80\ \frac{Cal}{\cancel{gr}}) = 4000\ Cal$$

La cantidad de calor necesaria es de 4000 - Cal, pero se pide que se exprese en B.T.U., por lo tanto:

$$4000\ Cal = X\ B.T.U.$$

$$4000\ \frac{Cal}{B.T.U.} = X$$

$$4000\ \frac{\cancel{Cal}}{252\ \cancel{Cal}} = X$$

$$\frac{4000}{252} = X$$

$$X = 15.87$$

Por lo tanto, la cantidad de calor Q será - de 15.87 B.T.U.

5.- El calor latente de fusión del hielo es

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

de 80 $\frac{Cal}{gr}$, expresar L_f en $\frac{B.T.U.}{Lb_m}$

Solución.-

$$80\ \frac{Cal}{gr} = X\ \frac{B.T.U.}{Lb_m}$$

$$80\ \frac{Cal}{B.T.U.}\ \frac{Lb_m}{gr} = X$$

$$80\ \frac{\cancel{Cal}}{252\ \cancel{Cal}}\ \frac{453.5\ \cancel{gr}}{\cancel{gr}} = X$$

$$\frac{80 \times 453.5}{252} = X$$

$$X = 143.96$$

Entonces: $80\ \frac{Cal}{gr} = 143.96\ \frac{B.T.U.}{Lb_m}$

6.- El calor latente de vaporización del agua es de 540 $\frac{Cal}{gr}$, expresarlo en $\frac{Kcal}{Kg}$

Solución.-

$$540\ \frac{Cal}{gr} = X\ \frac{Kcal}{Kg}$$

$$540\ \frac{Cal}{Kcal}\ \frac{Kg}{gr} = X$$

$$540\ \frac{\cancel{Cal}}{1000\ \cancel{Cal}}\ \frac{1000\ \cancel{gr}}{\cancel{gr}} = X$$

$$\frac{540 \times 1000}{1000} = X$$

$$X = 540$$

así es que: $540\ \frac{Cal}{gr} = 540\ \frac{Kcal}{Kg}$

7.- ¿Cuánto hielo se fundirá al aplicarle 200 B.T.U. en su punto de fusión?

Solución.- Si partimos de que:

$L_f = \frac{Q}{m}$ y despejamos m:

$m = \frac{Q}{L_f}$, y aprovechando el resultado del problema 5 en que: $L_f = 143.96\ \frac{B.T.U.}{Lb_m}$, tendremos que:

$$m = \frac{Q}{L_f} = \frac{200\ B.\cancel{T}.U.}{143.96\frac{B.\cancel{T}.U.}{Lb_m}} = 1.39\ Lb_m$$

o sea que, se fundirán 1.39 Libras de hielo.

8.- ¿Cuánta agua ha de evaporarse en su punto de ebullición, si le aplicamos -----

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

10 Kcal?

Solución.- Si tenemos que:

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

$m = \frac{Q}{L_v}$ y aprovechando el resultado del problema 6, en el cual: $L_v = 540 \frac{Kcal}{Kg}$,

entonces: $m = \frac{Q}{L_v} = \frac{10\ Kcal}{540\ \frac{Kcal}{Kg}} = .185\ Kg$

o sea, que se evaporarán: .0185 Kg = 18.5 gr de agua.

9.- ¿Cuanta energía calorífica hemos de aplicar para evaporar 100 litros de agua, en su temperatura de ebullición?

Solución.- Como tenemos que: $L_v = \frac{Q}{m}$,

despejamos : $Q = m\ L_v$

Ahora, como la densidad del agua es $1 \frac{Kg}{Lto}$:

y usando la fórmula de la Densidad: $D = \frac{M}{V}$, y

y despejando M, tenemos, M = DV, al sustituir D y V por los datos conocidos:

$$M = 1 \frac{Kg}{Litro} (100\ Litros) = 100\ Kg$$

o sea que 100 Litros de agua equivalen a 100 Kg.

Como el calor latente de vaporización - L_v del agua es de $540 \frac{Kcal}{Kg}$, tenemos:

$$Q = mL_v = 100\ Kg\ (540 \frac{Kcal}{Kg}) = 54{,}000\ Kcal$$

o sea, que habrá necesidad de gastar: 54,000 --- Kcal, para evaporar los 100 litros de agua.

1-11 CALENTAMIENTO.- Un cuerpo frío lo podemos - calentar aplicándole directamente energía - térmica, por ejemplo; poniéndolo al sol o - sobre la llama de una estufa. O ejerciendo directamente sobre él, un trabajo mecánico, por ejemplo; frotándolo. O también, si lo - sumergimos directamente en un medio caliente, por ejemplo: echándolo en agua que esté a una temperatura superior a la del cuerpo.

En cualesquiera de los casos anteriores, el cuerpo recibirá energía térmica: Q , dando lugar a un aumento en su temperatura.

Para una masa m dada, la cantidad de calor Q que reciba para que su temperatura aumen

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

te un cierto valor dado por ΔT, estará expresada por:

$$Q = m\,C_p\,\Delta T \quad ..... \quad 1\text{-}11\text{-}1$$

siendo el C_p, el calor específico de la substancia de que se trate, mientras que ΔT será igual a: $T - T_o$, siendo T la temperatura final y T_o la temperatura inicial. La ecuación 1-11-1, también se puede expresar así:

$$Q = m\,C_p\,(T - T_o) \quad .... \quad 1\text{-}11\text{-}2$$

Las ecuaciones 1-11-1 y 1-11-2, se pueden usar tanto para un cuerpo que se calienta, como para un cuerpo que se enfría, con la diferencia de que al enfriarse; ΔT será negativo, pués T será menor que T_o, escribiéndose entonces las ecuaciones de la siguiente manera, para un cuerpo que se enfría:

$$Q = -\,m\,C_p\,\Delta T \quad ...... \quad 1\text{-}11\text{-}3$$

$$Q = -\,m\,C_p\,(T - T_o) \quad ... \quad 1\text{-}11\text{-}4$$

El signo menos en estas ecuaciones significan fisicamente: pérdida de calor, que es lo que le pasa a un cuerpo que se enfría.

Ahora, si combinamos las ecuaciones de un cuerpo que se enfría, con las ecuaciones de un cuerpo que se calienta:

$$m_1 C_{p1}\,\Delta T_1 = -\,m_2 C_{p2}\,\Delta T_2 \quad .... \quad 1\text{-}11\text{-}15$$

$$m_1 C_{p1}\,(T - T_o)_1 = -\,m_2 C_{p2}\,(T - T_o)_2 \; .... \; 1\text{-}11\text{-}6$$

Las ecuaciones 1-11-2 1-11-4 y 1-11-6, son las que más usaremos: La ecuación 1-11-2 para calcular la cantidad de calor necesaria para calentar un cuerpo, la 1-11-4 para calcular la cantidad de calor que pierde un cuerpo al enfriarse y la 1-11-6 para calcular la cantidad de calor que pierde un cuerpo al enfriarse, pero que la gana a la vez, el otro cuerpo al calentarse.

En la ecuación 1-11-6, el subindice 1 es para el cuerpo que se calienta y el subindice 2 es para el cuerpo que se enfría.

La ecuación 1-11-6 indica una forma de expresar la conservación de la energía, pués la energía interna que pierde el cuerpo 2 en forma de energía calorífica, la gana el cuerpo 1, para aumentar su energía interna. En éste proceso termodinámico, el cuerpo 2

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

se enfría: disminuye su temperatura inicial T_o y el cuerpo 1, aumenta su temperatura -- inicial, calentándose.

En la ecuación 1-11-6, una vez alcanzado el equilibrio térmico entre el cuerpo caliente y el cuerpo frío, la temperatura final T de los dos cuerpos se iguala, es decir, es la misma para los dos.

1-12 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- ¿Qué cantidad de calor debemos aplicar a 100 gr de plomo para elevar su temperatura de 20°C a 150°C, si su $C_p = 0.031 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$?

Solución.- Los datos de éste problema - son:

$$m = 100 \text{ gr},\ T = 150^oC,\ T_o = 20^oC \text{ y su } C_p .$$

Como el plomo se va a calentar, pués su temperatura final T es mayor que su temperatura inicial T_o, entonces: $Q = mC_p(T-T_o)$ y sustituyendo, tenemos:

$$Q = (100\ \cancel{gr})\ 0.031 \frac{Cal}{\cancel{gr}\text{-}^o\cancel{C}}(150^o\cancel{C} - 20^o\cancel{C})$$

$$Q = 3.1\ (30)\ Cal = 93\ Cal$$

Entonces, la cantidad de calor Q será: 93 Cal.

2.- 500 Libras de fierro se sacan de un horno que está a 1000°F. Calcular la cantidad de calor que perderá el fierro al adquirir la temperatura del medio ambiente que le rodea: 80°F.

Solución.- Los datos del problema son:

$$m = 500\ Lb_m,\ T_o = 1000^oF,\ T = 80^oF$$

El C_p del fierro se busca en la tabla 1-8-1 resultando, $C_p = .113 \frac{B.T.U.}{Lb_m\text{-}^oF}$, que es el -- adecuado, pués sus unidades deben ser -- las mismas que las unidades de los da--- tos.

Empleando la ecuación: $Q = - mC_p(T-T_o)$ pués el fierro se enfría, ya que la temperatura final T es menor que su temperatura - inicial T_o, y sustituyendo;

$$Q = - (500\ \cancel{Lb}_m)\ 0.113 \frac{B.T.U.}{\cancel{Lb}_m\text{-}^o\cancel{F}}(80^o\cancel{F} - 1000^o\cancel{F})$$

$$Q = - 500 \text{ X } 0.113\ (- 920) \text{ B.T.U.}$$

$$Q = 56.5 \text{ X } 920 \text{ B.T.U.} = 51{,}980 \text{ B.T.U.}$$

UANL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ® DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Es decir, al enfriarse el trozo de fie--rro, liberará 51,980 B.T.U.

3.- A 100 gr de hielo se le aplican 200 Cal sin fundirlo, elevando su temperatura -- hasta -1^oC. Si su C_p es de $.5 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$ ¿A -- qué temperatura se encontraba?

Solución.- Los datos con que se cuenta - son:

$m = 100\ gr, Q = 200\ Cal, T = -1^oC$ y el C_p

Como el hielo se calentó, usaremos la -- ecuación $Q = mC_p(T-T_o)$, y como se pregunta la temperatura inicial, despejaremos T_o:

$$\frac{Q}{mC_p} = T-T_o, \quad -T_o = -T + \frac{Q}{mC_p}, \quad T_o = T - \frac{Q}{mC_p}$$

y sustituyendo:

$$T_o = -1^oC - \frac{200\ \cancel{Cal}}{100\ \cancel{gr}\ (.5\ \frac{\cancel{Cal}}{\cancel{gr}\text{-}^oC})}$$

$$T_o = -1^oC - \frac{200\ ^oC}{100 \times .5}$$

$$T_o = -1^oC - \frac{200^oC}{50} = -1^oC - 4^oC$$

$T_o = -5^oC$, ésta será la temperatura inicial del hielo.

4.- Un volumen de 50 cm³ de mercurio a 25^oC, se introduce a un refrigerador, liberando 381.48 Cal. Calcular la temperatura - interior del refrigerador, si la densi-- dad del mercurio es de 13.6 gr/cm³ y su $C_p = .033 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$.

Solución.- Primero hemos de calcular la masa de mercurio contenida en los 50 cm³, usando la ecuación de la densidad y despejando la masa, o sea: $D = \frac{M}{V}$, $M = D_V$ --- y sustituyendo; $M = 13.6 \frac{gr}{\cancel{cm^3}} (50\ \cancel{cm^3})$

$M = 680$ gr, y el resto de los datos son:

$T_o = 25^oC$, $Q = 381.48$ Cal. (Al enfriarse)

Como el mercurio se enfría, pués libera calor, entonces la ecuación a usar es: -

$Q = -mC_p(T-T_o)$ y despejando T ;

$$\frac{Q}{mC_p} = T-T_o$$

$$\frac{Q}{mC_p} + T_o = T$$, y sustituyendo:

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$T = \frac{-381.48\ \cancel{Cal}}{680\ \cancel{gr}(.033\ \frac{\cancel{Cal}}{\cancel{gr}-^{o}C})} + 25^{o}C$$

$$T = \frac{-381.48^{o}C}{22.44} + 25^{o}C = -17^{o}C + 25^{o}C$$

$T = 8^{o}C$, ésta será la temperatura interior del refrigerador.

5.- A un líquido determinado, se le aplicaron 5.0 Cal para aumentar su temperatura en $4^{o}C$. Si la masa del líquido era de 5 gr, calcular su C_p.

Solución.- En éste problema se nos dá un cambio en la temperatura: ΔT del líquido, por lo que, usaremos la ecuación:

$Q = mC_p \Delta T$, pués además el líquido se calentó, y despejando el C_p;

$$C_p = \frac{Q}{m \Delta T} \text{ y sustituyendo;}$$

$$C_p = \frac{5.0\ Cal}{5\ gr(4^{o}C)} = .25\ \frac{Cal}{gr-^{o}C}$$

6.- El mismo líquido del problema anterior, sufre un enfriamiento provocando un cambio en su temperatura de: $\Delta T = -50^{o}C$.

¿Qué cantidad de calor desprenderá el líquido al enfriarse?

Solución.- Como el líquido se enfrió, usaremos la ecuación: $Q = -mC_p \Delta T$ y sustituyendo:

$$Q = -5\ \cancel{gr}\ (.25\ \frac{Cal}{\cancel{gr}-^{o}\cancel{C}})\ (-50^{o}\cancel{C})$$

$$Q = -5\ (-12.5)\ Cal = 62.5\ Cal$$

Esta será la cantidad de calor desprendido.

7.- Un trozo de hielo a $-5^{o}C$ y de 500 gr, ha de calentarse hasta hervirlo y convertirlo totalmente en vapor a la presión de una atmósfera. Calcular la cantidad total de calor que debe emplearse para tal efecto.

Solución.- El problema ha de resolverse en 4 pasos: El primero para llevar al hielo desde $-5^{o}C$ hasta $0^{o}C$; su punto de fusión, el segundo para fundir el hielo, el tercero psra llevarlo desde $0^{o}C$ hasta $100^{o}C$ y por último para convertirlo en vapor en su punto de ebullición.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Para el primer paso usaremos la ecuación $Q = mC_p(T-T_o)$, pués el hielo se calentará, por lo tanto:

$$Q = 500\ \cancel{gr}(.5\ \frac{Cal}{\cancel{gr}-\cancel{^oC}})\left[0^o\cancel{C}-(-5^o\cancel{C})\right]$$

$$Q = 250\ (0 + 5)\ Cal = 250 \times 5\ Cal$$

$$Q = 1250\ Cal$$

Para el segundo paso, utilizaremos la ecuación: $L_f = \frac{Q}{m}$, y despejando Q :

$Q = mL_f$ y como L_f del hielo vale 80 $\frac{Cal}{gr}$:

$$Q = (500\ \cancel{gr})\ 80\ \frac{Cal}{\cancel{gr}} = 40{,}000\ Cal$$

Para el tercer paso, de nuevo usaremos la ecuación: $Q = mC_p(T-T_o)$, pues el agua obtenida al fundir el hielo en el segundo paso ha de calentarse desde 0^oC hasta 100^oC, por lo tanto:

$$Q = 500\ \cancel{gr}\ (1\ \frac{Cal}{\cancel{gr}-\cancel{^oC}})\ (100^o\cancel{C}-0^o\cancel{C})$$

$$Q = 500\ (100)\ Cal = 50{,}000\ Cal$$

y finalmente, para evaporar al agua en su punto de ebullición: 100^oC, hemos de agregarle su calor latente de vaporización: $L_v = 540\ \frac{Cal}{gr}$ y usando la ecuación: $L_v = \frac{Q}{m}$, despejaremos Q y tenemos:

$$Q = mL_v = (500\ \cancel{gr})\ 540\ \frac{Cal}{\cancel{gr}}$$

$$Q = 500 \times 540\ Cal = 270{,}000\ Cal$$

Por lo tanto, el calor total se obtendrá sumando cada uno de los calores aplicados en cada paso, así es que:

$$Q\ Total = 1250 + 40000 + 50000 + 270{,}000$$
$$Q\ Total = 361{,}250\ Cal = 361.25\ Kcal$$

Esta misma cantidad de calor total, devolverá el vapor de agua obtenido, al convertirse de nuevo en hielo a;-5^oC.

8.- Un termómetro de masa 60 gr y de calor específico 0.20 $\frac{Cal}{gr-^oC}$ marca 15^oC. Se introduce en 300 gr de agua y alcanza la misma temperatura final del agua. Si el termómetro marca 44. ^oC y es exacto ¿Cuál era la temperatura del agua antes de introducir el termómetro, no tomando en cuenta otras pérdidas de calor?

Solución.- Como el termómetro elevó su - temperatura, de $T_o = 15^oC$ a $T = 44.^oC$, - su ecuación será: $Q_1 = m_1 C_{p1} (T-T_o)_1$, y como el agua perdió calor al introducir el termómetro en ella, su ecuación será: $Q_2 = - m_2 C_{p2} (T-T_o)_2$. El calor: Q_1, que ganó el termómetro será igual al calor - Q_2 que perdió el agua, por lo tanto: -- $Q_1 = Q_2$, o bién,

$$m_1 C_{p1} (T-T_o)_1 = - m_2 C_{p2} (T-T_o)_2$$

Como el termómetro y el agua finalmente alcanzan el equilibrio térmico, es decir, La temperatura final T_1 del termómetro será ---- igual a la temperatura final T_2 del agua, o sea; $T_1 = T_2 = T$, y desarrollando la -- ecuación anterior:

$$m_1 C_{p1} T_1 - m_1 C_{p1} T_{o1} = - m_2 C_{p2} T_2 + m_2 C_{p2} T_{o2}$$

Arreglando ésta ecuación para que en el -- miembro izquierdo queden solamente términos que contengan a T_1 y T_2:

$$m_1 C_{p1} T_1 + m_1 C_{p2} T_2 = m_2 C_{p2} T_{o2} + m_1 C_{p1} T_{o1}$$

y como: $T_1 = T_2 = T$, tendremos:

$$m_1 C_{p1} T + m_2 C_{p2} T = m_2 C_{p2} T_{o2} + m_1 C_{p1} T_{o1}$$

y sacando como factor común a T:

$$T (m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) = m_2 C_{p2} T_{o2} + m_1 C_{p1} T_{o1}$$

Ahora, pasando al miembro izquierdo el -- término $m_1 C_{p1} T_{o1}$:

$$T (m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) - m_1 C_{p1} T_{o1} = m_2 C_{p2} T_{o2}$$

y despejando T_{o2}:

$$T_{o2} = \frac{T (m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) - m_1 C_{p1} T_{o1}}{m_2 C_{p2}}$$

Los datos del problema son:

$m_1 = 60$ gr, $m_2 = 300$ gr, $C_{p1} = 0.20 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$, $C_{p2} = 1 \frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$, $T_{o1} = 15^oC$ y $T = 44\ ^oC$

Como las unidades de todos los datos son del mismo sistema, para no complicar la - ecuación, se escribirán solamente los valores de las variables al sustituirlas:

$$T_{o2} = \frac{44(60 \times 0.20 + 300 \times 1) - 60 \times 0.20 \times 15}{300 \times 1}$$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Finalmente: $T_{o2} = 45.16^{o}C$

Esta es la temperatura del agua, antes de introducir el termómetro.

9.- Calcular el calor específico de un metal a partir de los siguientes datos. Un depósito hecho del mismo metal tiene una masa de 3.6 Kg que contiene además 13.6 Kg de agua. Un trozo de metal de 1.8 Kg, que está inicialmente a una temperatura de $175^{o}C$ se arroja al agua. Esta y el depósito tienen inicialmente una temperatura de $15^{o}C$ y la temperatura final de todo el sistema fué de $18^{o}C$.

Solución.- Como el depósito y el agua se calentaron durante el proceso, ganaron energía calorífica, perdida por el metal caliente. Entonces podemos escribir:

$Q = Q_1 + Q_2$, siendo Q_1 y Q_2, los calores ganados por el agua y el depósito respectivamente, y Q el calor total ganado por ellos dos.

Entonces: $Q_1 = m_1 C_{p1}(T-T_o)_1$

$$Q_2 = m_2 C_{p2}(T-T_o)_2$$

que al sustituir Q_1 y Q_2 por sus iguales en la ecuación anterior, tenemos:

$$Q = m_1 C_{p1}(T-T_o)_1 + m_2 C_{p2}(T-T_o)_2$$

Ahora, como el calor perdido por el metal caliente está dado por:

$$Q = - m_3 C_{p2}(T-T_o)_3$$

y además, el calor ganado es igual al calor perdido;

$$m_1 C_{p1}(T-T_o)_1 + m_2 C_{p2}(T-T_o)_2 = - m_3 C_{p2}(T-T_o)_3$$

Arreglando esta ecuación con el fin de tener en el miembro izquierdo solamente al metal:

$$m_2 C_{p2}(T-T_o)_2 + m_3 C_{p2}(T-T_o)_3 = - m_1 C_{p1}(T-T_o)_1$$

Sacando como factor común al C_{p2} y despejándolo;

$$C_{p2} = \frac{-m_1 C_{p1}(T-T_o)_1}{m_2(T-T_o)_2 + m_3(T-T_o)_3}$$

Ahora escribiremos los valores de los datos:

$m_1 = 13.6$ Kg, $C_{p1} = 1 \frac{Kcal}{Kg\text{-}^{o}C}$, $T_1 = 18^{o}C$, $T_{o1} = 15^{o}C$

$m_2 = 3.6$ Kg, $C_{p2} = ?$, $T_2 = 18^{o}C$, $T_{o2} = 15^{o}C$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

m_3 = 1.8 Kg, $T_3 = 18^oC$ y $T_{o3} = 175^oC$

Vuelve a leer la redacción del problema, para que compruebes éstos datos. El subindice 1 se refiere al agua, el subindice 2 se refiere al depósito y el subindice 3 se refiere al metal caliente. Recuerda que el depósito está hecho del mismo metal, que el metal caliente.

Sustituyendo las variables por sus respectivos datos en la ecuación última:

$$C_{p2} = \frac{-13.6 \times 1\ (18-15)}{3.6\ (18-15) + 1.8(18-175)}$$

$$C_{p2} = \frac{-40.8}{10.8 - 282.6} = \frac{-40.8}{-271.8} = 0.15$$

De acuerdo con las unidades de los datos, el C_p del metal será:

$$C_p = 0.15\ \frac{Kcal}{Kg\text{-}^oC}$$

10.-Un calorímetro hecho de aluminio, tiene un depósito cilíndrico de 50 gr. Se le agregan 200 grs de agua y una vez alcanzado el equilibrio térmico entre el depósito y el agua su temperatura es de 20^oC.

Al agregar 50 grs de un líquido que se encuentra a 70^oC, al agua y depósito, se llega finalmente a una temperatura de 25^oC. Calcular el C_p del líquido, si el C_p del aluminio es de 0.22 $\frac{Cal}{gr\text{-}^oC}$.

Solución.- El depósito y el agua se calientan después de agregar el líquido, enfriándose éste.

Entonces: $Q_1 = m_1 C_{p1} \Delta T_1$ y $Q_2 = m_2 C_{p2} \Delta T_2$

Siendo Q_1 y Q_2, los calores ganados por el agua y su depósito respectivamente.

Entonces, el calor total ganado Q, será:

$$Q = Q_1 + Q_2 = m_1 C_{p1} \Delta T_1 + m_2 C_{p2} \Delta T_2$$

Como el agua y el depósito sufren el mismo aumento en su tenperatura, es decir; $\Delta T_1 = \Delta T_2$, ΔT_1 y ΔT_2 se pueden también hacer iguales a ΔT simplemente, de modo que la ecuación del calor total, se pueda escribir ahora, así:

$$Q = m_1 C_{p1} \Delta T + m_2 C_{p2} \Delta T$$

y como ΔT es factor común, entonces:

UANL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$Q = (m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) \Delta T$$

Este calor total debe ser igual al calor perdido por el líquido: $-m_3 C_{p3} \Delta T_3$ por lo tanto:

$$(m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) \Delta T = - m_3 C_{p3} \Delta T_3$$

y despejando C_{p3}, que representa el calor específico del líquido:

$$C_{p3} = \frac{(m_1 C_{p1} + m_2 C_{p2}) \Delta T}{- m_3 \Delta T_3}$$

Ahora sacaremos los datos del enunciado del problema:

$$m_1 = 200 \text{ gr}, \ C_{p1} = 1 \ \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{o}\text{C}},$$

$$m_2 = 50 \text{ gr}, \ C_{p2} = 0.22 \ \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{o}\text{C}}$$

$$m_3 = 50 \text{ gr}, \ \Delta T = T - T_o = 25^oC - 20^oC = 5^oC$$

$$\Delta T_3 = T - T_o = 25^oC - 70^oC = -45^oC$$

Como todos los datos tienen unidades del mismo sistema, procederemos a sustituir

las variables por sus respectivos valores:

$$C_{p3} = \frac{(200 \times 1 + 50 \times .22)\ 5}{-50(-45)}$$

$$C_{p3} = \frac{(200 + 11.0)\ 5}{2250} = \frac{1055}{2250} = .468$$

Entonces, el calor específico del líquido, es de: $0.468 \ \frac{\text{Cal}}{\text{gr-}^{o}\text{C}}$.

1-13 TRANSFERENCIA DE CALOR.- Cuando entre el sistema y su medio ambiente, exista una diferencia de temperaturas, siempre se generará un flujo de energía térmica: Del cuerpo caliente al cuerpo frío. El sistema puede ser el cuerpo caliente o el frío, según sea el caso, así como también, el medio ambiente puede ser cualesquiera de los dos: El caliente o el frío.

Al decir que el flujo térmico siempre será del caliente al frío, ya se le está dando un sentido o una dirección.

Hay tres métodos de transferencia de calor, que son: Por conducción, por convección y por radiación.

UANL UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ® DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A.- TRANSMISION DE CALOR POR CONDUCCION: En éste método, la transferencia de calor se efectúa mediante las vibraciones de las moléculas y electrones libres, que constituyen a un material dado., iniciándose las vibraciones o exitación de las partículas mencionadas, en el extremo caliente del material, dirigiéndose siempre hacia el extremo frío.

Entonces daremos una definición de éste método diciendo: La conducción es la transmisión de energía térmica a través de un material que no se mueve, por medio de sus moléculas, átomos y electrones en vibración.

La mayoría de los metales son buenos conductores del calor, ya que tienen un buen número de electrones libres, además de sus átomos que vibran facilmente bajo una diferencia de temperatura, por más pequeña que sea ésta.

La ecuación fundamental de la conducción del calor es una generalización de los resultados experimentales que se obtuvieron en relación con el flujo térmico a través de un material en forma de placa rectangular.

Consideremos la placa de la siguiente figura:

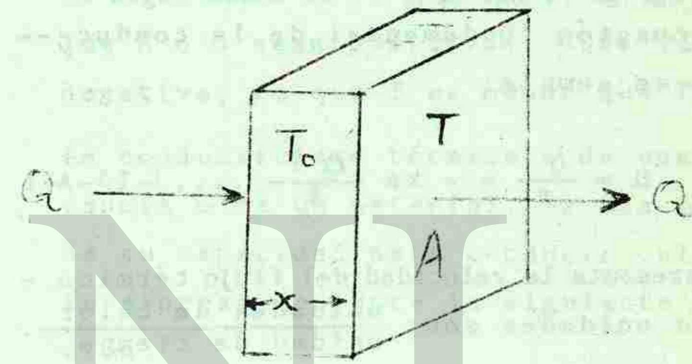


Fig. 1-13-A-1

En esta figura, la placa es de un espesor X, a lo largo del cual fluye el calor Q . Observa que al flujo del calor se le ha asignado una dirección: paralela al espesor y un sentido: de izquierda a derecha, pués la cara izquierda de la placa, está a una temperatura T_o mayor que la cara derecha de la placa, que se encuentra a una temperatura final T, menor que T_o.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Cada cara de flujo de la placa tiene un Area A, que se le llamará: Area de flujo, porque a través de ella fluye el calor: Q.

En régimen permanente, es decir cuando T_o y T no cambian de valor, la siguiente ecuación fundamental de la conducción se cumple:

$$H = \frac{Q}{t} = -kA\frac{\Delta T}{X} \quad \text{....1-13-A-1}$$

H representa la velocidad del flujo térmico y sus unidades son: $\frac{\text{unidades de calor}}{\text{unidad de tiempo}}$.

Q es la cantidad de calor total que fluye por la placa durante el tiempo t.

k es la constante de proporcionalidad de la ecuación fundamental y se llama: Conductividad térmica, y es una propiedad física, característica del material de que esté hecha la placa. Los buenos conductores del calor tienen conductividades térmicas muy grandes, comparadas con las de los malos conductores del calor, llamados también: Aisladores térmicos.

A es el área del flujo térmico de la placa y X es su espesor.

ΔT es la diferencia de temperaturas entre las dos caras de la placa, dada por: $T-T_o$.

El signo menos de la ecuación se agrega, para que H o Q sean positivas, pués ΔT es negativa, ya que T es menor que T_o.

La conductividad térmica k de una sustancia o de un material, es una medida de su capacidad para conducir calor y se expresa mediante la siguiente relación:

$$k = \frac{Q\ X}{At\ \Delta T} \quad \text{.... 1-13-A-2}$$

Naturalmente que esta expresión se obtiene al despejar k de la ecuación: 1-13-A-1.

En el sistema inglés, las unidades de k se obtienen al sustituir cada variable por sus unidades respectivas:

$$\frac{\text{B.T.U. - Pié}}{\text{Pié}^2\text{-seg-}^o\text{F}}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Para el sistema métrico se hará lo mismo:

$$\frac{Kcal-M}{M^2 - seg-{}^oC}$$

o también:

$$\frac{Cal - cm}{cm^2 - seg-{}^oC}$$

Conocido el valor de la conductividad térmica de un material dado con sus respectivas unidades, se podrá convertir a otras unidades siguiendo los pasos del método típico de conversión de unidades seguido hasta aquí.

Un factor de conversión de k entre el sistema métrico y el inglés, es:

$$1\ \frac{B.T.U. - pulg}{Pié^2-h-{}^oF} = 3.445 \times 10^{-5}\ \frac{Kcal - M}{M^2-seg-{}^oC}$$

A continuación se muestra la tabla de conductividades térmicas para diferentes materiales.

TABLA 1-13-A-1

	k	
Sustancia	B.T.U.-Pulg/Pié^2-h-^{o}F	Kcal-M/M^2-seg-^{o}C
Aluminio	1451	5.0×10^{-2}
Latón	750	2.6×10^{-2}
Cobre	2660	9.2×10^{-2}
Plata	2870	9.9×10^{-2}
Acero	320	1.1×10^{-2}
Asbesto	4.0	1.4×10^{-4}
Ladrillo	5.0	1.7×10^{-4}
Concreto	12.0	4.1×10^{-4}
Vidrio	7.3	2.5×10^{-4}
Aire	0.16	5.3×10^{-6}
Agua	4.15	1.4×10^{-4}
Corcho	0.30	1.0×10^{-5}

La ecuación fundamental de la conducción del calor, también se aplica para barras rectas, según muestra la figura siguiente:

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Fig. 1-13-A-2

B.- TRANSMISION DE CALOR POR CONVECCION: En éste metodo, la transferencia de calor se realiza mediante el movimiento de las moléculas de un fluído: líquido o gas; partiendo de una superficie caliente a una parte fría o menos caliente.

La convección difiere de la conducción, en que: En la conducción el material no se mueve y enla convección sí.

Entonces, daremos la siguiente defini-ción: La convección es un proceso en el

cual, el calor se transfiere mediante el movimiento real de un fluído.

En éste método de transferencia del calor, juegan un importante papel las llamadas: Corrientes de convección, ya sea de un líquido o de un gas que absorben energía calorífica en un lugar y luego se mueve a otro sitio, donde libera el calor a la porción más fría del fluído.

Por ejemplo: El aire que rodea la superficie caliente de un calentador tubular (dentro de sus tubos puede circular agua caliente o gases calientes o simplemente, puede tener una resistencia eléctrica), al estar en contacto con la superficie caliente de los tubos, comenzará a moverse hacia los alrededores del calentador, alejándose de él, estableciéndose así, un cambio de aire frío por caliente en lugares un poco alejados del calentador, siendo sustituído el aire caliente por el frío, cerca de la superficie de los tubos. Este movimiento continuo del aire constituye: Corrientes de convección, que por el he--

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

cho de moverse por una diferencia de densidades: El aire caliente es más ligero que el frío, y por lo tanto subirá y el aire frío bajará por ser más pesado; la convección será natural y las corrientes serán de convección natural.

Las corrientes de convección pueden ser también forzadas, como en el caso de los calentadores eléctricos que traen integrado un abanico, el cual hace circular al aire a travéz de la parte caliente del calentador. Se ha llegado por experimentación a la ecuación de transferencia de calor por convección:

$$H = \frac{Q}{t} = hA\Delta T \quad \ldots \; 1\text{-}13\text{-}B\text{-}1$$

H es la rapidez de la transferencia del calor por convección y sus unidades son: $\frac{\text{unidades de calor}}{\text{unidad de tiempo}}$.

Q es la cantidad de calor transmitida por el fluído en movimiento, durante el tiempo t.

ΔT es la diferencia de temperaturas entre la superficie caliente y el fluído.

A es el Area de transferencia de calor de la superficie caliente.

h es la constante de proporcionalidad de la ecuación 1-13-B-1 y se llama: coeficiente de convección. Este coeficiente, a diferencia del coeficiente de conductividad, no es una Propiedad del material caliente, ni del fluído transmisor del calor.

El coeficiente de convección h depende de: La geometría del sólido caliente y del acabado de su superficie, de la velocidad del fluído y su densidad, de la conductividad térmica, de las diferencias de temperatura y presión del fluído.

A continuación, se muestran los coeficientes de convección para ciertas geometrías.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TABLA 1-13-B-1

Geometría	h, $\frac{Kcal}{M^2\text{-seg-}^oC}$
Placa Vertical	$(4.24\ X10^{-4})\sqrt[4]{\Delta T}$
Placa horizontal, la cara hacia arriba.	$(5.95\ X10^{-4})\sqrt[4]{\Delta T}$
Placa horizontal, la cara hacia abajo.	$(3.14\ X10^{-4})\sqrt[4]{\Delta T}$
El diámetro D del tubo.	$(1.0\ X10^{-3})\sqrt[4]{\Delta T}$

Las unidades de h se pueden deducir al despejar h de la ecuación 1-13-B-1:

$$h = \frac{Q}{At\,\Delta T}$$

y sustituir las variables por sus respectivas unidades.

C.- TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACION: - En éste método, la transferencia de calor se realiza mediante ondas electromagnéticas. Estas ondas se propagan a la velocidad de la luz: $3\ X\ 10^8\ \frac{M}{seg}$ y no hay necesidad de un medio material para su propagación.

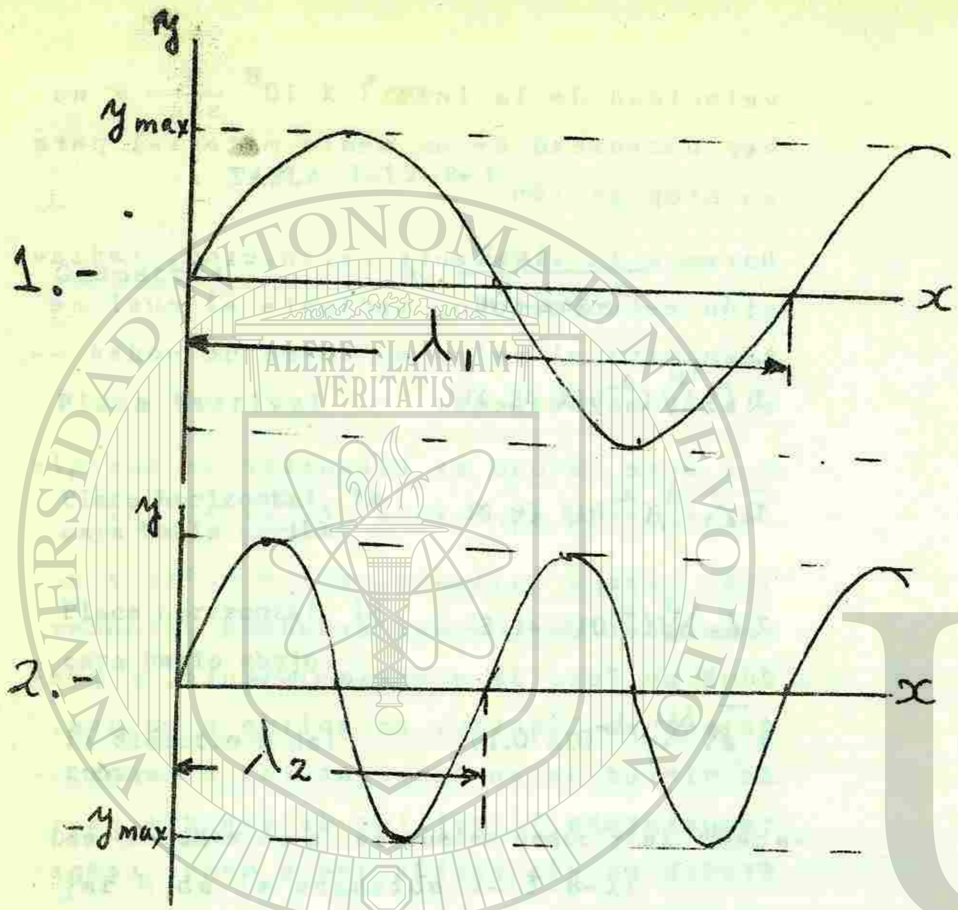
Daremos la siguiente definición: Radiación es un método, mediante el cual se transmite el calor en forma de ondas electromagnéticas.

Por éste método se transmite la energía solar desde su fuente que es el sol.

Todo cuerpo caliente, emite ondas electromagnéticas, considerándose entonces como un foco de energía radiante, y puede ser un líquido, un sólido o un gas, en virtud de su temperatura. A mayor temperatura la emisión de energía radiante es más rápida que a menor temperatura.

Para tener una idea de las características de una onda en general, contando entre ellas a las ondas electromagnéticas, hagamos los siguientes dibujos:

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



En el dibujo 1, λ_1 representa la longitud de una onda que viaja a la derecha, a lo largo del eje X. La Ymax representa la amplitud de la onda.

En el dibujo 2, λ_2 representa la longitud de la onda. Ymax es su amplitud.

Observa que la onda 1 es una onda larga pués su λ_1 es mayor que λ_2, la cual corresponde a una onda corta.

Entre más chica sea la longitud de una onda electromagnética, mayor será la energía térmica que transmite.

Los cuerpos muy calientes emiten ondas electromagnéticas mucho más cortas que los cuerpos menos calientes.

Si una barra de hierro se calienta continuamente, al final emitirá radiación visible, de ahí los términos Al rojo y al blanco. En el rojo las ondas son más largas que en el blanco.

Mediciones experimentales demuestran que la velocidad con la cual se irradia energía térmica desde una superficie varía directamente con la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo radiante. Por lo tanto, si se duplica la temperatura de un objeto, la velocidad con la cual emite energía se incrementará 16 veces.

Un factor adicional que debe considerar

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

se al calcular la rapidez de transferencia de calor por radiación es la naturaleza de las superficies opuestas. Objetos que son buenos emisores de radiación térmica resultan ser buenos absorbedores de radiación. Un objeto que absorbe toda la radiación incidente sobre su superficie se llama: Absorbedor ideal. Tal objeto también será un radiador ideal. En realidad no existe un absorbedor ideal, pero en general, las superficies más negras, serán las que mejor absorban energía térmica. Por ejemplo, una camisa negra absorbe más energía solar que otra más clara: Puesto que la camisa también es un buen emisor, su temperatura extrema será mayor que la temperatura del cuerpo, haciéndola incomoda.

Un absorbedor ideal o radiador ideal es también llamado: Cuerpo negro, por las razones antes mencionadas sobre la camisa.

A la radiación que emite un cuerpo negro se le llama: radiación de cuerpo negro. Aunque tales cuerpos no existen realmente, resulta muy util como un patrón para comparar las capacidades de varias superficies para absorber o emitir energía térmica.

Absorbancia, equivalente a poder emisivo y emisividad, se define como: la medida de la capacidad de un cuerpo para absorber o emitir radiación térmica.

La absorbancia es una cantidad sin unidades, cuyo valor numérico queda comprendido entre 0 y 1, dependiendo de la naturaleza de la superficie. Para un cuerpo negro, la absorbancia es igual a 1 y para una superficie plateada bien pulida se aproxima a cero.

La rapidez de radiación R de un cuerpo, está dada por la siguiente ecuación:

$$R = \frac{E}{tA} = \frac{P}{A} \quad \ldots 1\text{-}13\text{-}C\text{-}1$$

E representa la energía radiante emitida en el tiempo t, a través del área A del cuarpo radiante y P es la potencia radiante.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Como ya se había establecido que la rapidez de la radiación depende de la temperatura T absoluta y de la absorbancia e del cuerpo radiante, se escribirá la siguiente expresión:

$$R = \frac{P}{A} = e\,\sigma\,T^4 \quad .... \quad 1\text{-}13\text{-}C\text{-}2$$

Esta ecuación se conoce con el nombre de: Ley de Stefan-Boltzmann.

La constante de proporcionalidad σ es una constante universal e independiente de la naturaleza de la radiación y su valor es: $5.67 \times 10^{-8} \dfrac{\text{Watts}}{M^2\text{-}^oK}$.

Un cuerpo que está a la misma temperatura que sus alrededores, irradiará y absorberá calor con la misma rapidez.

La siguiente expresión matemática sirve para calcular la rapidez neta de radiación de un cuerpo caliente a sus alrededores:

$$R = e\,\sigma\,(T_1^{\,4} - T_2^{\,4}) \quad .... 1\text{-}13\text{-}C\text{-}3$$

T_1 es la temperatura de la superficie

caliente y T_2 es la temperatura de la superficie fría. Ambas temperaturas deben estar expresadas en grados absolutos. e es el poder emisivo del cuerpo caliente.

Esta ecuación, es otra forma de expresar la Ley de Stefan-Boltzmann.

1-14 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- La conductividad térmica del asbesto es $4 \dfrac{\text{B.T.U.-pulg}}{\text{Pie}^2\text{-h-}^oF}$, expresarla en $\dfrac{\text{Cal-cm}}{\text{cm}^2\text{-seg-}^oC}$.

Solución.- Partiendo del modelo de conversión de unidades;

$$4 \frac{\text{B.T.U.-pulg}}{\text{Pie}^2\text{-h-}^oF} = X \frac{\text{Cal-cm}}{\text{cm}^2\text{-seg-}^oC}$$

$$4 \frac{\text{B.T.U.}}{\text{Cal}} \; \frac{\text{cm}^2}{\text{Pie}^2} \; \frac{\text{pulg}}{\text{cm}} \; \frac{\text{seg}}{\text{h}} \; \frac{^oC}{^oF} = X$$

$$4 \frac{252\ \cancel{\text{Cal}}}{\cancel{\text{Cal}}} \; \frac{\text{cm}^2}{(30.50\text{cm})^2} \; \frac{2.54\cancel{\text{cm}}}{\cancel{\text{cm}}} \; \frac{\cancel{\text{seg}}}{3600\cancel{\text{seg}}} \; \frac{1.8\,^o\cancel{F}}{^o\cancel{F}} = X$$

$$\frac{4 \times 252\ \cancel{\text{cm}^2} \times 2.54 \times 1.8}{930.25\ \cancel{\text{cm}^2} \times 3600} = X$$

$$\frac{4608.6}{3348900} = X = 1.37 \times 10^{-3}$$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

o sea:

$$4 \frac{B.T.U.-pulg}{Pie^2-h-^{o}F} = 1.37 \times 10^{-3} \frac{Cal-cm}{cm^2-seg-^{o}C}$$

2.- Según la tabla 1-13-A-1, la k del acero es ------

$$320 \frac{B.T.U.-pulg}{Pie^2-h-^{o}F} \quad \text{o bién: } 1.1 \times 10^{-2} \frac{Kcal-M}{M^2-seg-^{o}C}$$

Demostración.- Partiendo del modelo de conver--- sión de unidades:

$$320 \frac{B.T.U.-pulg}{Pie^2-h-^{o}F} = X \frac{Kcal-M}{M^2-seg-^{o}C}$$

$$320 \frac{B.T.U.}{Kcal} \frac{Pulg}{M} \frac{M^2}{Pie^2} \frac{seg}{h} \frac{^{o}C}{^{o}F} = X$$

$$320 \frac{252\ \cancel{cal}}{1000\ \cancel{cal}} \frac{\cancel{Pulg}}{39.36\ \cancel{pulg}} \frac{(3.28\ pies)^2}{Pies^2} \frac{\cancel{seg}}{3600\cancel{seg}} \frac{1.8^{o}\cancel{F}}{^{o}\cancel{F}} = X$$

$$\frac{320 \times 252 \times 10.75\ \cancel{pies^2} \times 1.8}{1000 \times 39.39\ \cancel{pies^2} \times 3600} = X$$

$$\frac{1560384}{141804000} = X = 1.1 \times 10^{-2}$$

Al sustituir el valor encontrado para - X , en el modelo de conversión, se ha demostrado lo que se pidió.

3.- La pared exterior de un horno de ladri- lloa tiene un espesor de 4 pulg. La su-

perficie interior está a una temperatura de $500^{o}F$ y la exterior a $100^{o}F$. ¿Cuánto calor se pierde a través de la pared, si su área es de 20 pies² durante 10 horas?

Solución.- La ecuación fundamental de -- conducción del calor es:

$$\frac{Q}{t} = - kA \frac{\Delta T}{X}$$

despejando a Q , tenemos:

$$Q = - kAt \frac{\Delta T}{X}$$

Los datos del problema son: $A = 20$ Pies² $t = 10$ h, $\Delta T = T - T_o = 100^{o}F - 500^{o}F = - 400^{o}F$ $X = 4$ pulg y la k para el ladrillo según la - tabla 1-13-A-1 es: $5 \frac{BTU-Pulg}{Pie^2-h-^{o}F}$

Observa que las unidades de k están en - el mismo sistema que las unidades de los datos. Por lo tanto, sustituyendo las va riables de la ecuación fundamental por - sus valores:

$$Q = - 5\ (20)\ (10) \frac{-400}{4} = 100,000 \text{ B.T.U.}$$

Las unidades no se escribieron en la ecua- ción para no agrandarla y por estar con-

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

scientes de que se está trabajando en el mismo sistema, por lo que es lógico esperar que resulten solamente B.T.U. como unidades de la cantidad de calor .

4.- Un extremo de una barra de cobre de 30 cm de longitud y 4 cm² de sección transversal, se coloca en un baño de agua-hielo (0^oC). El otro extremo se coloca en un baño de vapor (100^oC). ¿Qué cantidad de calor fluye para la barra durante 30 min?.

Solución.- Partiendo de la ecuación:

$$Q = - kAt \frac{\Delta T}{X}$$

En base a la tabla 1-13-A1, la k del cobre es: 9.2×10^{-2} $\frac{Kcal-M}{M^2-seg-^oC}$ y los datos son:

$Q = 30$ cm $= .30$ M, $A = 4$ cm² $= 4 \times 10^{-4}$ M²

$t = 30$ min $= 0.5$ h, $\Delta T = T-T_o = 0^oC - 100^oC = -100^oC$

Observa que cada dato hubo de transformarse para que sus unidades estén acordes con las unidades de k, y así, no tener que escribirlas en la ecuación. Sustituyendo

las variables por sus valores respectivos:

$$Q = (- 9.2 \times 10^{-2}) (4 \times 10^{-4}) (0.5) \frac{-100}{.30}$$

$$Q = 6.13 \times 10^{-3} \text{ Kcal} = 6.13 \text{ Cal}$$

5.- Una pared plana vertical de 4 M² de área se mantiene a una temperatura constante de 150^oC y el aire que la rodea sobre ambas caras está a 30^oC ¿Cuánto calor se pierde en ambos lados de la pared durante 5 horas, por convección natural?

Solución.- Usando la ecuación:

$$\frac{Q}{t} = hA\Delta T$$, y despejando Q ,

$Q = hAt\Delta T$, antes de sustituir, hemos de calcular h. Según la tabla 1-13-B-1, para paredes verticales, $h = 4.24 \times 10^{-4} \sqrt[4]{\Delta T}$ y como $\Delta T = 150^oC - 30^oC = 120^oC$, entonces:

$$h = 4.24 \times 10^{-4} \sqrt[4]{120} = 4.24 \times 10^{-4} \times 3.31$$

$$h = 14.03 \times 10^{-4} = 1.403 \times 10^{-3} \text{ Kcal/M}^2\text{-seg-}^oC$$

y los datos del problema son:

$A = 4\ M^2$, $t = 5\ h$ y $\Delta T = 120^{o}C$

Solamente las unidades de t hay que convertirlas a seg, pués las unidades del tiempo de la constante h está en seg, -- por lo tanto: $t = 5\ h = 5 \times 3600$

$t = 18{,}000$ seg.

Ahora sí, sustituyendo las variables por sus valores, se tendrá:

$Q = 1.403 \times 10^{-3} \times 4 \times 18{,}000 \times 120 = \underline{8{,}640\ \text{Kcal}}$

Este calor corresponde a una cara de la pared, pero, como el aire rodea a las -- dos caras, el calor total será el doble del calculado, por lo tanto: -----------

$Q\ \text{Total} = 2\,Q = 2 \times 8640$

$Q\ \text{Total} = 17{,}280\ \text{Kcal}$

6.-El mismo problema anterior, pero ahora la pared está horizontal.

Solución.- Como el valor de h depende de la geometría del área caliente, entonces, según la tabla 1-13-B-1, habrá dos h para la misma pared, una para la cara que ve para arriba y otra para la cara que ve para abajo. Por lo tanto:

$h\ \text{arriba} = 5.95 \times 10^{-4}\sqrt[4]{\Delta T} = 5.95 \times 10^{-4}\sqrt[4]{120}$

$h\ \text{arriba} = 5.95 \times 10^{-4} \times 3.31 = 19.7 \times 10^{-4}\ \dfrac{\text{Kcal}}{M^2\text{-seg-}^{o}C}$

$h\ \text{abajo} = 3.14 \times 10^{-4}\sqrt[4]{\Delta T} = 3.14 \times 10^{-4}\sqrt[4]{120}$

$h\ \text{abajo} = 3.14 \times 10^{-4} \times 3.31 = 10.4 \times 10^{-4}\ \dfrac{\text{Kcal}}{M^2\text{-seg-}^{o}C}$

De ésta manera, habrá que usar dos veces la ecuación: $Q = hAt\Delta T$, pués hay dos h;

$Q\ \text{arriba} = 19.7 \times 10^{-4} \times 4 \times 18000 \times 120$

$Q\ \text{arriba} = 1.7 \times 10^{8} \times 10^{-4} = 1.7 \times 10^{4}\ \text{Kcal} = 17 \times 10^{3}\ \text{Kcal}$

$Q\ \text{abajo} = 10.4 \times 10^{-4} \times 4 \times 18000 \times 120$

$Q\ \text{abajo} = 8.98 \times 10^{7} \times 10^{-4} = 8.98 \times 10^{3}\ \text{Kcal}$

El calor total perdido por la pared horizontal por sus dos caras, es:

$Q\ \text{Total} = Q\ \text{arriba} + Q\ \text{abajo} = 17 \times 10^{3} + 8.98 \times 10^{3}$

$Q\ \text{Total} = 25.98 \times 10^{3}\ \text{Kcal} = 25{,}980\ \text{Kcal.}$

Comparando los resultados del problema 5 y 6, -- se concluye, que la pared horizontal pierde más

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

calor que la vertical.

7.- ¿Qué potencia radiará una superficie esférica de plata de 10 cm de diámetro, si su temperatura es de $500^{o}C$? La absorbancia de la superficie es 0.04.

Solución.- Para resolver éste problema de radiación térmica, hemos de usar la ecuación correspondiente:

$$R = \frac{P}{A} = e\sigma T^4 \text{, y despejando P;}$$

$P = A e\sigma T^4$. Como la constante de Stefan-Boltzman es $5.67 \times 10^{-8} \frac{Watts}{M^2\text{-}^oK}$ y sus unidades son diferentes a las de los datos, debemos adecuarlos, para poder usar dicha constante; Por lo tanto:

$T = 500^{o}C = 773.16^{o}K$, el área de una esfera es: πD^2

, por lo tanto: $A = 3.14(.10)^2 = 3.14 \times 10^{-2} M^2$

y sustituyendo en la ecuación:

$$P = 3.14 \times 10^{-2} \times 0.04 \times 5.67 \times 10^{-8} (773.16)^4$$

$$P = .712 \times 10^{-10} \times 3.75 \times 10^{11}$$

$$P = 2.67 \times 10^{1} = 26.7 \text{ Watts}$$

8.- Calcular la rapidez de radiación de un cuerpo negro ideal cuya superficie está a $327^{o}C$.

Solución.- La ecuación a usar es:

$$R = \frac{P}{A} = e\sigma T^4 \text{, o sea: } R = e\sigma T^4$$

Como se trata de un cuerpo negro ideal, e = 1.0 y como la temperatura dada está en grados centígrados hemos de convertirloa a grados absolutos: ^{o}K, o sea:

$T = 327^{o}C = 600.16^{o}K$ y sustituyendo en la ecuación:

$$R = 1.0 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (600.16)^4$$

$$R = 5.67 \times 10^{-8} \times 1.296 \times 10^{11}$$

$$R = 7.35 \times 10^{3} \frac{Watts}{M^2}$$

9.- La temperatura de operación de una lampara de 25 Watts es $1727^{o}C$. Si la emisividad del filamento es 0.3, calcular su área.

Solución.- La ecuación: $R = \frac{P}{A} = e\sigma T^4$ que representa la rapidez de radiación: R, se usará para resolver éste problema,

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

despejando el área A, $A = \frac{P}{e\,\sigma\,T^4}$, la temperatura del filamento ha de transformarse a ^oK, por lo tanto:

$T = 1727^oC = 2000.16^oK$ y como $e = 0.3$ y la potencia $P = 25$ Watts, sustituirán a sus variables en la ecuación:

$$A = \frac{25}{0.3 \times 5.67 \times 10^{-8}\ (2000.16)^4}$$

$$A = \frac{25}{1.701 \times 10^{-8} \times 16 \times 10^{12}}$$

$$A = .92 \times 10^{-4}\ M^2 = .92\ cm^2$$

10.- El filamento de una lampara, opera a una temperatura de 727^oC y está rodeado por una ampolla a 227^oC. Si el filamento tiene una emisividad de 0.25 y un área de 0.30 cm².

Calcular la potencia de operación de la lampara.

Solución.- Hay dos ecuaciones a usar:

$$R = e\sigma(T_1^{\,4} - T_2^{\,4}) \quad y \quad R = \frac{P}{A}$$

La segunda contiene a la incognita P, --

pero es necesario calcular R primero, -- por lo que usaremos la primera ecuación.

Antes de usarla, convertiremos las temperaturas a ^oK, $T_1 = 727^oC = 1000.16^oK$, ------- $T_2 = 227^oC = 500.16^oK$ y como $e = 0.25$, sustituimos estos datos en la segunda ecuación:

$$R = 0.25 \times 5.67 \times 10^{-8}(1000.16^4 - 500.16^4)$$

$$R = 1.4175 \times 10^{-8}(1.0 \times 10^{12} - .0625 \times 10^{12})$$

$$R = 1.4175 \times 10^{-8} \times .9375 \times 10^{12}$$

$$R = 1.33 \times 10^4\ \frac{Watts}{M^2}$$

Ya estamos en condiciones de usar la segunda ecuación, y despejando P: $P = RA$

Pero el dato que se nos dá acerca del área es: $A = .30$ cm², debemos de convertirlo a M², pués la R calculada contiene M², por lo tanto: $A = .30\ cm^2 = .30 \times 10^{-4}\ M^2$, - ahora sí, sustituyendo los valores de R y A;

$$P = 1.33 \times 10^4 \times .30 \times 10^{-4}$$

$$P = .399\ Watts$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

1-15 PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA.- Como recordatorio diremos que la termodinámica trata de los cambios que experimenta la energía y que en la Ley cero de la termodinámica la temperatura es fundamental en su enunciado, ya que trata sobre el equilibrio térmico. También se dijo que todo proceso es termodinámico cuando, durante su ejecución hay transformaciones de energía mecánica, y calorífica, además de presentarse cambios de volumen, presión o temperatura de un sistema termodinámico.

Enla primera Ley de la termodinámica juegan un importante papel, la energía interna, el calor y el trabajo mecánico, pués forman parte de su ecuación fundamental y general:

$$\Delta U = Q + W \quad ..... \text{ 1-15-1}$$

en la cual; ΔU representa el cambio en la energía interna de un sistema termodinámico. Q es la cantidad de calor que interviene durante el proceso termodinámico, y será positiva cuando se agregue calor al sistema y negativa cuando el sistema libere calor. W es el trabajo mecánico que se efectúa du-

rante el proceso termodinámico y es positivo cuando una fuerza externa realice trabajo sobre el sistema y será negativo cuando el sistema realice trabajo sobre el medio ambiente.

El cambio en la energía interna, también se puede escribir así:

$$\Delta U = U_f - U_i \quad .... \text{ 1-15-2}$$

Siendo U_f la energía interna del sistema al terminar el proceso termodinámico y U_i es la energía interna al momento de iniciarse el proceso.

La energía interna U es una función punto, porque su valor depende unicamente de las coordenadas y no de la trayectoria que se siguió durante el proceso, es decir, que la energía interna depende solamente de las condiciones iniciales y finales de un proceso determinado, en cambio el calor y el trabajo son funciones trayectoria, porque sus valores si dependen de la trayectoria seguida durante el proceso.

Cuando se dijo que la energía interna es --

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

una función punto porque depende de sus --- coordenadas, se entenderá por coordenadas - no las que conocemos como coordenadas cartesianas: x, y, sino, nos estaremos refiriendo a las coordenadas: Presión P, Volumen V y Temperatura T, de un sistema dado.

Diremos que un sistema está en equilibrio - termodinámico, cuando la fuerza resultante externa que obre sobre el sistema, sea cero y además, que el sistema esté en equilibrio térmico con su medio ambiente.

La ecuación 1-15-1 de la primera ley de la termodinámica representa una forma de expresar la conservación de la energía, pués establece que todo cambio que se presente en la energía interna de un sistema se deberá; a una transformación de energía calorífica, a una transformación de energía mecánica o a una transformación de los dos a la vez, - del medio ambiente que le rodea.

Recuerda que la energía interna de un sistema: Es la suma de las energías potenciales y cinéticas de sus moléculas y átomos.

En la práctica, más que la energía interna

U, interesa sus cambios: Δ U, que son determinados mediante cantidades medibles Q y W - de la ecuación 1-15-1.

El caso más general de la primera Ley de la termodinámica es aquel en el que: U , Q y W intervienen durante el proceso, por ejemplo: Al calentar un gas encerrado en un cilin--- dro:

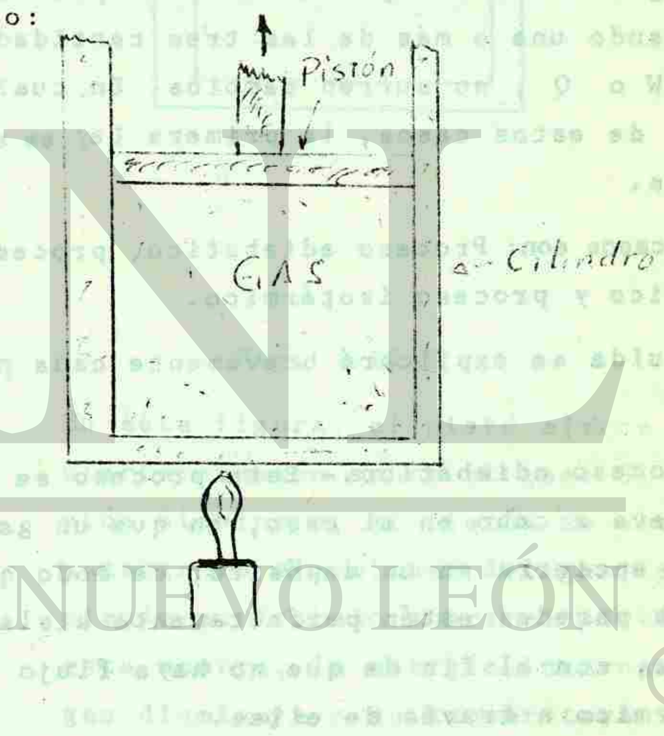


Fig. 1-15-1

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El calor suministrado por la llama, es -- absorbido por el gas, aumentando su energía interna, pero luego, parte de la energía interna se gasta para efectuar un trabajo mecánico al aumentar su volumen y elevar al pistón. En este proceso, Q es positivo y W será negativo.

Se originan casos especiales de la primera Ley cuando una o más de las tres cantidades: U, W o Q, no sufren cambios. En cualesquiera de estos casos, la primera Ley se simplifica.

Dichos casos son: Proceso adiabatico, proceso isocorico y proceso isotérmico.

En seguida se explicará brevemente cada proceso.

A.- Proceso adiabático.- Este proceso se -- lleva a cabo en el caso, en que un gas se encierra en un depósito, de modo que sus paredes estén perfectamente aisladas, con el fin de que no haya flujo -- térmico a través de ellas.

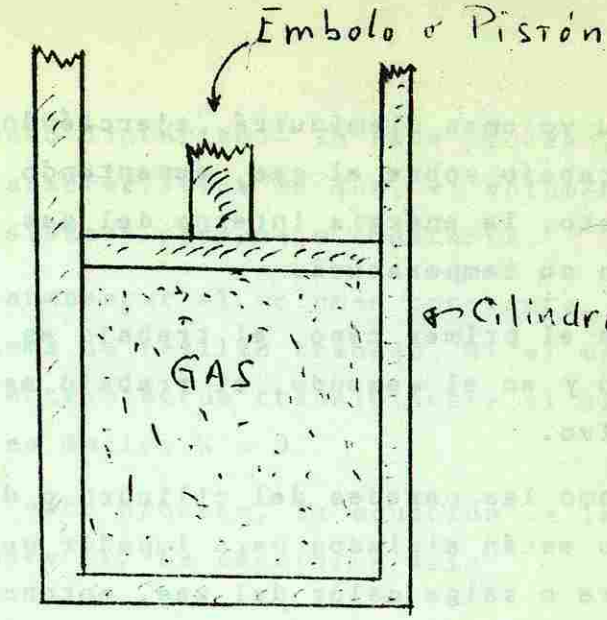


Fig. 1-15-2

En ésta figura, el pistó ejerce una -- cierta presión sobre el gas. Si la presión disminuye, el pistón se elevará, aumentando el volumen del gas, ejerciendo un trabajo sobre el pistón. De esta manera, la energía interna del -- gas disminuye y su temperatura también. Si por el contrario, se aumenta la presión sobre el gas por el pistón, su volumen disminuirá, ejerciéndose un trabajo sobre el gas, aumentando con -- esto, la energía interna del gas así como su temperatura.

En el primer caso, el trabajo es negativo y en el segundo, el trabajo es positivo.

Como las paredes del cilindro o depósito están aislados para impedir que en-- tre o salga calor del gas, entonces --- $Q = 0$, y la ecuación de la primera Ley se escribirá así:

$$\Delta U = -W \quad y \quad \Delta U = W$$

Para el primero y segundo caso, respectivamente.

Estas dos ecuaciones son típicas en todo proceso adiabático. Entonces;

Proceso adiabático, es aquel proceso -- termodinámico en el que no entra ni sale calor, o sea, que $Q = 0$.

Los procesos adiabáticos son procesos - rápidos o instantáneos.

B.- Proceso Isocórico.- En este proceso, -- la característica es que, el volumen -- del sistema permanece constante.

Al parmanecer el volumen constante, el sistema no realiza trabajo, ni el medio ambiente efectúa trabajo sobre el sistema, es decir; $W = 0$

Para este proceso, la ecuación de la -- primera Ley se escribirá así:

$$\Delta U = Q$$

Esta ecuación indica que la variación - de la energía interna de un sistema, en proceso isocórico, se deberá exclusivamente al calor Q que se le aplique (será positivo) o la transformación de la energía interna en calor (será negati-- vo).

Por ejemplo: Cuando se tiene un líquido encerrado en un depósito:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

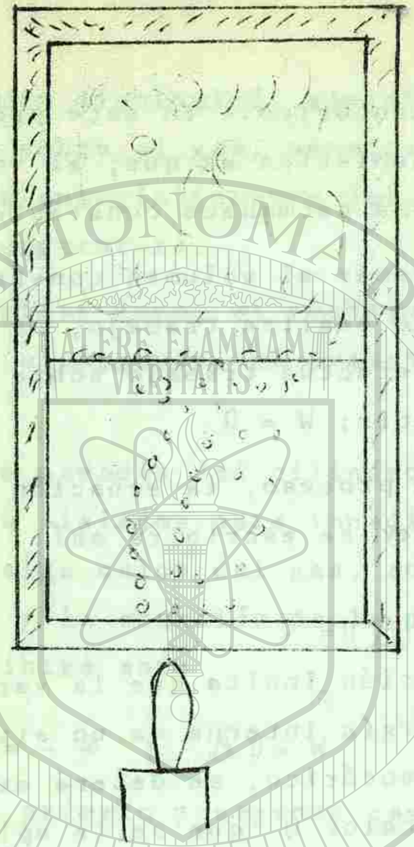


Fig. 1-15-3

Mientras el líquido no hierve y esté --- recibiendo calor: Q , su energía interna aumentará: ΔU . Aún cuando el agua hierva y se convierta en vapor, su volumen total: líquido-vapor, se considerará constante, pués el depósito está totalmente cerrado.

Al retirar la llama, el vapor se condensará sobre el agua líquida y el calor: - Q , que desprenderá el sistema: vapor-agua, al enfriarse, hará que la --- energía disminuya.

C.- Procesos Isotérmicos.- Estos procesos se caracterizan porque la temperatura de un sistema dado, permanece constante.

Para obtener un proceso de este tipo, es necesario que al variar tanto la presión como el volumen, la temperatura permanezca invariable. Para ésto, es necesario que el cambio de presión sea lo más lento posible, para que al variar la presión, se mantenga el sistema en equilibrio térmico.

Entonces, como la temperatura deberá -- permanecer constante, no deberá haber cambio en la energía interna del sistema, por lo que, la ecuación de la primera ley, se expresará así:

$$0 = Q + W$$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

pues $\Delta U = 0$, al no haber cambio en la energía interna del sistema.

Por lo tanto: $W = - Q$

que quiere expresar lo siguiente: El trabajo que se efectue sobre el sistema, se transformará en energía calorífica o viceversa, sin cambio en la energía interna del sistema.

1-16 EQUIVALENTE MECANICO DEL CALOR.- Acabamos de ver que la ecuación característica de un proceso isotérmico es: $Q + W = 0$, o bién: $W= -Q$; en estas ecuaciones, el calor Q y el trabajo W se encuentran relacionadas entre sí. Esto indicará, que la energía empleada para realizar un trabajo mecánico, se transformará a energía calorífica. Esto quiere decir, que debe existir una equivalencia entre la energía mecánica y la energía calorífica.

Joule encontró experimentalmente en su aparato (un tanquecito con compartimientos conteniendo agua, agitada por paletas fijas a un eje vertical, accionado por un tambor conectado a dos poleas, por las cuales pasan cuerdas en cuyos extremos cuelgan masas, que al

bajar, pierden energía potencial gravitacional, que se convierte en trabajo mecánico para hacer mover a las paletas, agitando el agua, aumentando así su temperatura: La pérdida de energía mecánica de las masas se ha transformado a través del trabajo mecánico, en energía interna del agua, al aumentar su temperatura) que existe una relación mecánica entre la energía mecánica y la energía calorífica:

1 Joule	= .238 Cal	=	$.238X10^{-3}$	Kcal
1 Kcal	= 1000 Cal	=	4,186	Joules
1 BTU	= 252 Cal	=	777.9	Lb_f-Pie
1 Lb_f-Pie	= $1.28X10^{-3}$ B.T.U.	=	.324	Cal

Recuerda: El Joule y la Lb_f-Pie, son unidades de energía mecánica, mientras que el B.T.U., la Kcal y la Cal, son unidades de energía calorífica.

Entonces, a la relación entre una unidad de energía mecánica y una unidad de energía calorífica, se le llama: Equivalente mecánico del calor; como las relaciones numéricas anteriores, una más: 1 Cal = 4.186 Joules.

1-17 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA.-

A.- La primera ley de la termodinámica dice que la energía se conserva en todo proceso termodinámico.

Ahora bien, existen muchos procesos termodinámicos que conservan la energía pero que nunca ocurren. Por ejemplo: Cuando se ponen en contacto un cuerpo caliente y uno frío, simplemente no ocurre que el cuerpo caliente se ponga más caliente ni que el cuerpo frío se ponga más frío; y sin embargo no se ha violado la primera ley. En forma semejante, la primera ley no limita la posibilidad de convertir trabajo en calor o calor en trabajo, salvo que la energía debe conservarse en el proceso. Y, sin embargo, en la práctica, aun cuando podemos convertir una cantidad dada de trabajo totalmente en calor, nunca se ha podido convertir una cantidad dada de calor completamente en trabajo. La segunda Ley de la termodinámica se ocupa de esta clase de cuestiones, o sea, de qué procesos, considerando que sean compatibles con la primera ley, ocurren en la naturaleza y cuales no tienen lugar.

B.- PROCESOS REVERSIBLES E IRREVERSIBLES.-

Un sistema en equilibrio termodinámico, puede pasarse a otro equilibrio termodinámico, por diferentes procesos, pero aquí se mencionarán dos procesos que son completamente opuestos: Los procesos reversibles y los irreversibles.

Un proceso reversible es aquel que, mediante cambios muy pequeños, se puede hacer que el sistema recorra una trayectoria en la que se puedan hacer mediciones de las variables en juego; presión, volumen y temperatura, al ir de un estado de equilibrio inicial a un estado de equilibrio final. De tal forma que al volver del estado de equilibrio final, al estado de equilibrio inicial, se siga la misma trayectoria. Como se puede apreciar en la siguiente gráfica:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

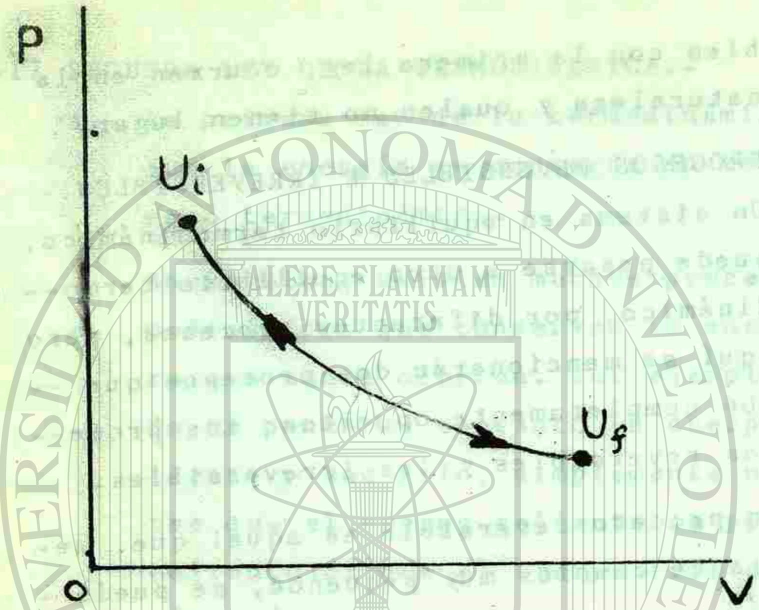


Fig. 1-17-1

Los procesos reversibles tienen la característica de que son muy lentos, para poder ser reproducibles. En la curva de la figura 1-17-1, cada punto de la trayectoria relaciona un valor de presión y de volumen, representando cada punto: un estado de equilibrio termodinámico.

La U_i y la U_f, representan las energías internas inicial y final del sistema, respectivamente.

Las dos flechas sobre la curva indican que la trayectoria a seguir será la misma, al ir de un estado de equilibrio al otro.

Los procesos reversibles son ideales. En cambio, los procesos irreversibles son aquellos en que, los cambios son muy rápidos, creándose una serie de estados no equilibrados, por lo que, no se puede asignar una trayectoria definida al pasar el sistema de su estado de equilibrio inicial al final. La siguiente figura, muestra un proceso irreversible:

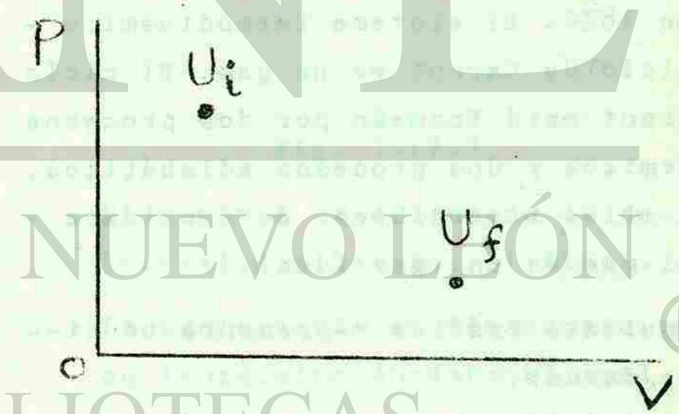


Fig. 1-17-2

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Observa que no aparece ninguna trayectoria que relacione a los estados de equilibrio termodinámico: inicial y final del sistema. En la práctica, todos los procesos son irreversibles.

C.- CICLO DE CARNOT.-

Un ciclo es una sucesión de procesos, tales que el sistema vuelva a su estado de equilibrio original.

Si los procesos que intervienen son todos ellos reversibles, el ciclo será: Un ciclo reversible.

Un ciclo reversible importante es el ciclo de Carnot, introducido por Sadi Carnot en 1824. El sistema termodinámico del ciclo de Carnot es un gas. El ciclo de Carnot está formado por dos procesos isotérmicos y dos procesos adiabáticos, todos ellos reversibles. Se considera que el gas es un: gas ideal.

La siguiente gráfica representa un ciclo de Carnot:

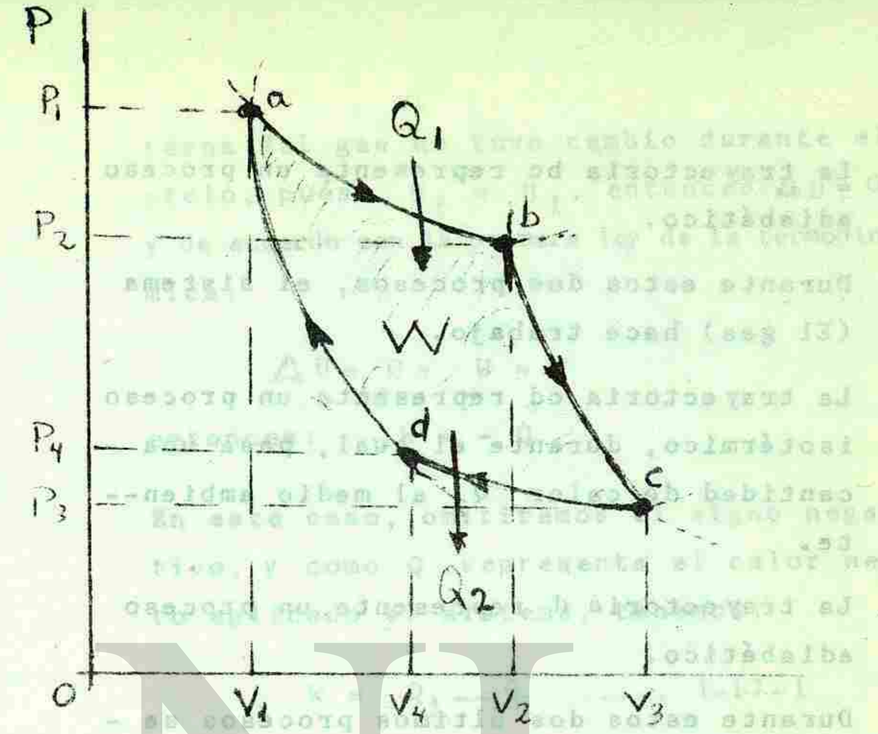


Fig. 1-17-3

El punto a es el estado de equilibrio inicial y a la vez, el final.

La trayectoria ab representa un proceso isotérmico durante el cual se aplica al sistema una cantidad de calor Q_1.

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La trayectoria bc representa un proceso adiabático.

Durante estos dos procesos, el sistema (El gas) hace trabajo.

La trayectoria cd representa un proceso isotérmico, durante el cual, pasa una cantidad de calor Q_2 al medio ambiente.

La trayectoria d representa un proceso adiabático.

Durante estos dos últimos procesos se hace trabajo sobre el sistema.

El trabajo neto hecho por el sistema sobre el medio ambiente está representado por W, y es igual al área encerrada dentro del ciclo, limitado por las trayectorias: ab-bc-cd-da.

Observa que la presión y el volumen del gas o sistema, estuvieron variando durante el ciclo.

La cantidad neta de calor recibida por el sistema durante el ciclo está dada por: $Q_1 - Q_2$, y como la energía in-

terna del gas no tuvo cambio durante el ciclo, pués: $U_f = U_i$, entonces: $\Delta U = 0$, y de acuerdo con la primera ley de la termodinámica:

$$\Delta U = Q + W = 0$$

entonces: $W = - Q$

En este caso, omitiremos el signo negativo, y como Q representa el calor neto aplicado al sistema, tenemos:

$$W = Q_1 - Q_2 \quad ..... \quad 1\text{-}17\text{-}1$$

Entonces diremos, que el trabajo neto W hecho por el sistema sobre el medio ambiente, está dado por la ecuación 1-17-1.

El ciclo de Carnot representa el trabajo neto hecho por una máquina térmica. Se le dá el nombre de máquina térmica, a todo dispositivo que convierte a la energía calorífica en trabajo.

En el ciclo de Carnot se usó como sistema a un gas, pero dicho sistema puede -

ser: Vapor de agua, una mezcla de combustible y aire, o combustible y oxígeno. El calor Q_1, se puede obtener mediante la combustión de: gasolina, o carbón, o bién de algún reactor nuclear. El calor Q_2 puede descargarse por el escape o a un condensador. Aún cuando las máquinas térmicas reales, no funcionan con un ciclo reversible, el ciclo de Carnot que es reversible sirve para dar información util relativa al funcionamiento de una máquina térmica cualquiera.

La eficiencia e de una máquina térmica está dada por la relación del trabajo neto W realizado por la máquina durante un ciclo, al calor tomado por ella, de la fuente de temperatura elevada:

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \ldots 1\text{-}17\text{-}2$$

La experiencia demuestra que la eficiencia e de toda máquina térmica es menor que 1, o menor que 100%.

La ecuación 1-17-2, se puede expresar

también en función de temperaturas, si partimos que el calor Q en general, es directamente proporcional a la temperatura, por lo que, Q_1 y Q_2 podrán ser sustituídos por T_1 y T_2, respectivamente:

$$e = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \ldots 1\text{-}17\text{-}3$$

Esta ecuación es más útil porque las medidas de las temperaturas T_1 y T_2, son más fáciles de efectuar que las medidas de Q_1 y Q_2.

En base a las eficiencias de las máquinas térmicas, se puede dar una primera definición de la segunda Ley de la termodinámica dada por Kelvin-Planck:

Es imposible transformar en trabajo el calor extraído de una fuente, sin tener pérdidas caloríficas.

Carnot enunció su teorema que dice: La eficiencia de todas las máquinas reversibles que operan entre las mismas dos temperaturas, es la misma, y no hay ma-

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

quina irreversible que trabaje entre -- las mismas dos temperaturas que pueda - tener una eficiencia mayor que esa.

Nótese que el teorema de Carnot, no menciona para nada a la sustancia de trabajo, dando a entender que la eficiencia de una máquina reversible es independiente de la sustancia de trabajo, dependiendo solamente de las temperaturas.

D.- REFRIGERADORES.-

Si el ciclo de Carnot se recorre en sentido opuesto al de las flechas de la figura 1-17-3, entonces se extraerá calor Q_2 de la parte fría T_2 y se proporciona calor Q_1 a la parte caliente T_1, algún agente exterior deberá hacer trabajo sobre el sistema (en lugar de que el -- sistema haga trabajo) que extrae calor de la parte de menor temperatura T_2 y - expulsarlo a la parte de mayor temperatura T_1.

En este caso, el sistema trabaja como - un refrigerador. El trabajo proporcionado al sistema (un gas refrigerante) -- por un motor, para que extraiga una -- cantidad de calor Q_2 de la parte fría (interior del refrigerador) que se encuentra a una temperatura T_2 y lo expulse al medio ambiente que se encuentra a una temperatura T_1, está dado -- por la siguiente expresión:

$$W = Q_2 \frac{T_1 - T_2}{T_2} \quad \ldots . \quad 1\text{-}17\text{-}4$$

En base a lo expuesto, Clausius enunció la segunda ley de la termodinámica así:

Es imposible que una máquina cíclica - pase calor continuamente de un cuerpo a otro que se encuentre a una temperatura más elevada, sin el consumo de -- energía externa.

E.- LA ENTROPIA.

Así como la temperatura es fundamental en la ley cero de la termodinámica y - la energía interna es fundamental en - la primera ley, así también, la entropía es fundamental en la segunda ley.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La entropía, así como la energía interna, es también una función punto, es decir, que depende solamente del estado inicial y del estado final, pero no depende de la trayectoria seguida.

De la misma manera que la energía interna se mide por sus cambios: ΔU, también la entropía se mide por sus cambios: ΔS, siendo S la letra que representa a la entropía.

La ecuación general de la entropía está dada por:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad \ldots\ldots \quad 1\text{-}17\text{-}5$$

Siendo dS un elemento diferencial de la entropía que representa un cambio infinitesimal en su valor, de un sistema dado.

dQ es un elemento diferencial del calor ganado o perdido por el sistema con respecto a la temperatura absoluta T.

La importancia de la entropía radica -

en que, la segunda ley de la termodinámica se puede definir en términos de ella:

Un proceso natural que comienza en un estado de equilibrio y térmica en otro, se desarrollará en el sentido que haga que aumente la entropía del sistema más su medio ambiente.

De ésta manera, la segunda ley predice que proceso termodinámico es posible y cual no, según, si la entropía aumenta o disminuye, de un sistema termodinámico dado, respectivamente.

Como la ecuación 1-17-5, de la entropía está fuera del alcance de ésta unidad, se dará por terminada la teoría de la segunda ley de la termodinámica.

1-18 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- Efectuar las siguientes conversiones de energía mecánica y energía térmica.

Se sugiere usar los factores de conversión de la sección 1-16.

a) 500 Lb_f-Pie a BTU

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Solución.-

$$500\ Lb_f\text{-Pie} = X\ BTU$$

$$500\ \frac{Lb_f\text{-Pie}}{BTU} = X$$

$$500\ \frac{\cancel{Lb_f\text{-Pie}}}{777.9\ \cancel{Lb_f\text{-Pie}}} = X$$

$$\frac{500}{777.9} = X$$

$$X = .642$$

o sea: $500\ Lb_f\text{-Pie} = .642\ BTU$

b) 400 Cal a Joules

Solución.-

$$400\ Cal = X\ Joules$$

$$400\ \frac{Cal}{Joules} = X$$

$$400\ \frac{4.186\ \cancel{joules}}{\cancel{Joules}} = X$$

$$X = 1674.4$$

por lo tanto: 400 Cal = 1674.4 joules

c) 20 Kcal a Lb_f-Pie

Solución.-

$$20\ Kcal = X\ Lb_f\text{-Pie}$$

$$20\ \frac{Kcal}{Lb_f\text{-Pie}} = X$$

$$20\ \frac{1000\ \cancel{cal}}{.324\ \cancel{cal}} = X$$

$$\frac{20000}{.324} = X$$

$$X = 61728.3$$

o sea: $20\ Kcal = 61,728.3\ Lb_f\text{-Pie}$

d) 50 joules a B.T.U.

Solución.-

$$50\ joules = X\ B.T.U.$$

$$50\ \frac{joules}{B.T.U.} = X$$

$$50\ \frac{.238\ \cancel{cal}}{252\ \cancel{cal}} = X$$

$$\frac{50\ X\ .238}{252} = X$$

$$X = .47$$

por lo tanto: 50 joules = .47 B.T.U.

2.- Un bulto de 100 kg se levanta de la primer planta a la segunda. Si la segunda planta está a 3 metros de la primera, calcular la energía consumida, expresada en Kcal.

Solución.- Usando la ecuación de la energía potencial gravitacional: $U_g = mgh$, tenemos:

$$U_g = 100 \times 9.8 \times 3 = 2{,}940 \text{ joules}$$

Las unidades de m, g y h, son del sistema M.K.S. según los datos del problema, por eso se obtienen joules.

Enseguida se transforman los joules a Kcal, de acuerdo con la sección anterior, obteniéndose:

$$U_g = .702 \text{ Kcal}$$

3.- Una bala lleva una velocidad de $1500 \frac{\text{Pies}}{\text{seg}}$ si la masa de la bala es 5.44×10^{-3} slug, calcular su energía expresada en B.T.U.

Solución.- Empleando la ecuación de la

energía cinética: $K = \frac{1}{2} mV^2$ y sustituyendo:

$$K = \frac{1}{2} (5.44 \times 10^{-3}) (1500)^2 = 2.72 \times 10^{-3} \times 2.25 \times 10^6$$

$$K = 6.12 \times 10^3 \text{ Lb}_f\text{-Pie}$$

Como las unidades de la masa y de la velocidad pertenecen al sistema inglés: masa en slugs y velocidad en $\frac{\text{Pies}}{\text{seg}}$, las unidades de la energía cinética serán: Lb_f-Pie.

Ahora, transformando estas unidades a B.T.U., resulta que:

$$6.12 \times 10^3 \text{ Lb}_f\text{-Pie} = 7.86 \text{ B.T.U.}$$

4.- Un block se arrastra sobre un piso horizontal, una distancia de 30 pies. Si la fuerza de fricción cinética es de 50Lb_f pie, calcular el calor generado por la fricción, durante el movimiento del block.

Solución.- El trabajo hecho por la fuerza de fricción cinética: f_K, sobre el block es de:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$T = f_K\ d = 50(30) = 1500\ Lb_f\text{-Pie}$$

Como las unidades del trabajo son energía mecánica, convertiremos estas unidades a unidades de energía calorífica, por lo tanto:

$$1500\ Lb_f\text{-Pie} = 1.93\ \text{B.T.U., o bién,}$$

$$1500\ Lb_f\text{-Pie} = 481.5\ \text{Cal}$$

5.- Un pistón realiza un trabajo de 3000 Lb_f-Pie sobre un gas, que a su vez se expande, efectuando un trabajo sobre sus alrededores de 2500 Lb_f-Pie ¿cuál es el cambio de la energía interna del gas, en B.T.U.?

Solución.- Como no se menciona la energía calorífica se considerará que el proceso es adiabatico, es decir: $Q = 0$. Además, como el gas recibe trabajo, pero también hace trabajo, entonces el trabajo neto que recibió es: ---------- $W = 3000 - 2500 = 500\ Lb_f$ - pie. Como $Q = 0$, la primera Ley de la termodinámica se reduce a: $\Delta U = W$, en la cual, W será el trabajo neto desarrollado sobre el gas, así es que:

$$\Delta U = 500\ Lb_f\ \text{- pie}$$

que equivalen a: 0.643 B.T.U.

6.- Durante la expansión isotérmica de un gas ideal, se obsorben 3 B.T.U. de energía térmica. El embolo o pistón pesa 2000 Lb_f. ¿A que altura se elevará por arriba de su posición inicial?.

Solución.- Como el proceso es isotérmico, la temperatura del gas ha de permanecer constante, por lo que, su energía interna permanecerá invariable, es decir: $\Delta U = 0$, y aplicando la ecuación de la primera Ley: $\Delta U = Q + W$, y como $\Delta U = 0$ entonces, $Q + W = 0$, o bién: $W = -Q$ que quiere decir, que el calor aplicado al gas, se transformó en trabajo:

$$W = Q = 3\ \text{B.T.U.} = 3 \times 777.9 = 2{,}333.7\ Lb_f\text{-pie}$$

y, como $W = F.d$, que representa el trabajo hecho por la fuerza F al mover a un cuer

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

po una distancia d en dirección de la -- fuerza, que en éste caso: F = Peso del - pistón = 2,000 Lb_f, despejamos d, y sustituyendo:

$$d = \frac{W}{F} = \frac{W}{Peso} = \frac{2,333.7}{2000} = 1.16 \text{ Pies}$$

esta será la altura a que se elevará el pistón.

7.- En un proceso termodinámico se suministran 2000 Cal de energía térmica a un -- sistema, y se permite que éste realice - un trabajo externo de 3,350 Joules. ---- ¿Cuál es el cambio en la energía interna del sistema?

Solución.- Este representa un proceso en el que: Q, W y U, son variables, es decir, ninguno es constante.

Entonces, usaremos la ecuación completa - de la primera Ley: $\Delta U = Q + W$, pero antes de sustituir, hemos de convertir el - trabajo W desarrollado por el sistema a Cal, es decir: W =3350 Joules= 797.3 Cal, --- siendo negativo éste valor, porque el -- sistema hace trabajo, por lo tanto: ---- W = - 797.3 Cal, y sustituyendo:

$$\Delta U = 2000 - 797.3 = 1202.7 \text{ Cal}$$

Como el resultado fué positivo, quiere - decir que el sistema aumenta su energía interna y por lo tanto, también aumentó su temperatura.

8.- Un litro de agua se calienta, de 25°C a 75°C, dentro de un recipiente cerrado. - Si el C_p del agua es de $1 \frac{cal}{gr - {}^oC}$, calcular el cambio en su energía interna.

Solución.- Este es un proceso Isocórico, pués el volumen del sistema es constante y por lo tanto, no hará ningún trabajo - durante el calentamiento, por lo que: -- W = 0, simplificándose la ecuación de la primera Ley: $\Delta U = Q$, y como:

$Q = mC_p(T - T_o)$, entonces, $\Delta U = mC_p(T-T_o)$, un litro de agua equivale a una masa de 1000 - gr, y sustituyendo, tenemos:

$$\Delta U = 1000 \times 1 \; (75 - 25) = 50,000 \text{ Cal}$$

El resultado es positivo porque se agregó calor al agua, aumentó por lo tanto -

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

su energía interna y su temperatura.

9.- Una máquina térmica opera con vapor como sustancia de trabajo, con una eficiencia de 12% ¿qué cantidad de calor debe suministrarse a la máquina, por cada hora, para que desarrolle una potencia de 4 HP?.

Solución.- Los datos son: $e = 12\% = \frac{12}{100} = .12$, y como la potencia P es: $P = \frac{W}{t}$ entonces: $W = Pt$, pero la potencia está expresada en HP, hay que transformarla a $\frac{\text{Joules}}{\text{seg}}$, por lo tanto: $P = 4\text{ HP} = 4X746 = 298\ 4\ \frac{\text{Joules}}{\text{seg}}$, y como el tiempo es una hora, entonces: $t = 1 X 3600 = 3600$ seg, sustituyendo los valores de P y t encontrados:

$$W = Pt = 2984X3600 = 1.074X10^7 \text{ Joules}$$

La eficiencia de una máquina térmica está dada por:

$e = \frac{W}{Q_1}$, despejando Q_1 tenemos:

$$Q_1 = \frac{W}{e} = \frac{1.074X10^7}{0.12} = 8.9X10^7 \text{ Joules}$$

Este resultado lo transformamos a unidades de calor:

$$Q_1 = 8.9X10^7 \text{ Joules} = 8.44X10^3 \text{Kcal} = 8.44X10^4 \text{B.T.U.}$$

10.-Una máquina térmica, toma vapor de un recalentador a 200 °C y lo expulsa directamente al aire a 100°C. Calcular su eficiencia.

Solución.- Los datos son: $T_1 = 200°C$, $T_2 = 100°C$ y como la ecuación de la eficiencia se puede expresar también así:

$e = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, y sustituyendo:

$$e = \frac{200 - 100}{200} = 0.5$$

El resultado de la eficiencia al multiplicarlo directamente por 100, estará expresado en porciento, es decir:

$$e = .5\ (100) = 50\%$$

11.- Una máquina de Carnot absorbe calor de un recipiente a 500°K y expulsa calor a un recipiente a 300°K; en cada ciclo la máquina recibe 1,200 Cal de calor del recipiente a alta temperatura. a) ¿Cuál es

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

el rendimiento del ciclo de Carnot? b) ¿Qué cantidad de calor expulsará al recipiente de baja temperatura, expresada en cal? c) ¿Cuánto trabajo realiza la sustancia usada en el ciclo de Carnot?.

Soluciones.- (a) Con los datos: $T_1 = 500^oK$ y $T_2 = 300^oK$, calcularemos el rendimiento o eficiencia de la máquina, o sea: -

$$e = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{500 - 300}{500} = .400, \text{ o bién}$$

$$e = .400 \times 100 = 40.0\%$$

(b) En este caso, los datos son: $Q_1 = 1200$ Cal, $e = .666$ (obtenido en el inciso anterior), y como: $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, despejando Q_2:

$$Q_1 - Q_2 = eQ_1, \ - Q_2 = eQ_1 - Q_1$$

$Q_2 = (Q_1 - eQ_1) = Q_1(1 - e)$, y sustituyendo:

$$Q_2 = 1200\ (1 - .400) = 1200 X .600 = 720$$

o sea, $Q_2 = 720$ Cal

(c) Ahora, como también: $e = \frac{W}{Q_1}$

despejamos W: $W = eQ_1$ y sustituyendo:

$$W = .4(1200)\ (4.186) = 2009.3 \text{ Joules}$$

4.186 es el factor de conversión para pasar de cal a Joules.

12.- Si la máquina del problema anterior se opera inversamente, actuando como un refrigerador y extrae 1,200 Cal de calor, del recipiente a baja temperatura ¿Cuántas calorías ingresaran al recipiente de alta temperatura? ¿cuánto trabajo mecánico de entrada es necesario?

Solución.- El rendimiento máximo de un refrigerador está dado por: $e = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

y sustituyendo: $e = \frac{300}{500-300} = 1.5$

El rendimiento de un Refrigerador también se expresa así: $e = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$, por lo tanto, despejamos Q_1,

$$Q_1 - Q_2 = \frac{Q_2}{e}, \quad Q_1 = \frac{Q_2}{e} + Q_2$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$Q_1 = Q_2(\frac{1}{e} + 1)$, y sustituyendo:

$Q_1 = 1200\ (\frac{1}{1.5} + 1) = 1999.2$ Cal

Este será el calor que ingresará al recipiente de alta temperatura: 500°K.

El rendimiento de un refrigerador está expresado también por: $e = \frac{Q_2}{W}$, entonces: $W = \frac{Q_2}{e}$ antes de sustituir a Q_2, debemos convertir su valor a Joules, o sea:

$Q_2 = 1200$ Cal = 5023.2 Joules, ahora sí,

Sustituyamos: $W = \frac{Q_2}{e} = \frac{5023.2}{1.5} = 3{,}348.8$ J

Por lo tanto, el trabajo de entrada será de: 3,348.8 Joules.

13.-En un refrigerador mecánico el serpentín de baja temperatura del evaporador está a -30°C, y el gas comprimido en el condensador tiene una temperatura de 60°C ¿cual es el máximo coeficiente de funcionamiento posible?

Solución.- El rendimiento de un refrigerador y el coeficiente de máximo rendimiento, también llamado: Coeficiente de

ejecución, están dados por la misma ecuación

$e = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$ y sustituyendo, tenemos:

$$e = \frac{60 - (-30)}{30} = \frac{60 + 30}{30} = 3$$

14.- ¿Cuántos Jaules de trabajo debe realizar un compresor en un refrigerador a fin de cambiar 1 Kg de agua a 20°C a hielo a - 10°C. El coeficiente de ejecución es 3.5

Solución.- Partiendo de la ecuación: $e = \frac{Q_2}{W}$ despejamos W y tenemos: $W = \frac{Q_2}{e}$

Ahora, calcularemos Q_2:

$$Q_2 = Q_E + Q_c + Q_s$$

Siendo Q_E el calor que perderá el agua al enfriarse desde 20°C hasta 0°C, o sea: $Q_E = mC_p(T-T_o) = 1 \times 1(0-20) = -20$ Kcal

Q_c es calor que liberará el agua al congelarse, o sea:

$Q_c = -mL_f = -1 \times 80 = -80$ Kcal, y

Q_S es el calor que liberará el hielo al enfriarse desde $0°C$ hasta $-10°C$, por lo tanto:

$Q_S = mC_p(T - T_o) = 1 \times 0.5(-10-0) = -5$ Kcal

por lo tanto:

$Q_2 = -20 + (-80) + (-5) = -105$ Kcal

Este será el calor total que perderá el agua, desde $20°C$ hasta $-10°C$. Este calor lo convertimos a energía mecánica; 105 Kcal $= 105 \times 4186 = 439,530$ J y usando la ecuación: $W = \dfrac{Q_2}{e} = \dfrac{439,530}{3.5}$

$W = 1.25 \times 10^5$ Joules = trabajo desarrollado por el motor del compresor.

UNIDAD 2

ELECTROSTATICA Y ELECTRODINAMICA

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$Q_c = -mL_f = -1 \times 80 = -80$ Kcal, y

Q_S es el calor que liberará el hielo - al enfriarse desde 0^oC hasta -10^oC, -- por lo tanto:

$Q_S = mC_p(T - T_o) = 1 \times 0.5(-10-0) = -5$ Kcal

por lo tanto:

$Q_2 = -20 + (-80) + (-5) = -105$ Kcal

Este será el calor total que perderá el -- agua, desde 20^oC hasta -10^oC. Este calor lo convertimos a energía mecánica; 105 Kcal $= 105 \times 4186 = 439{,}530$ J y usando la ecuación: $W = \frac{Q_2}{e} = \frac{439{,}530}{3.5}$

$W = 1.25 \times 10^5$ Joules = trabajo desarrollado por el motor del compresor.

UNIDAD 2

ELECTROSTATICA Y ELECTRODINAMICA

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

OBJETIVOS ESPECIFICOS

El alumno:

- Describirá las partes del átomo que tienen carga positiva y negativa respectivamente.
- Enunciará las principales formas de electrificar los cuerpos.
- Enuciará las conclusiones que se obtienen cuando se interaccionan dos cargas eléctricas.
- Definirá los conceptos de conductores y aisladores.
- Expresará la Ley de Coulumb y su expresión algebraica.
- Utilizará la Ley de Coulumb en la solución de problemas.
- Definirá los conceptos de corriente eléctrica, corriente directa y corriente alterna.
- Explicará los efectos de la corriente eléctrica.
- Enunciará la Ley Ohm y la unidad para medir la resistencia.
- Explicará el funcionamiento del amperímetro y del voltímetro.
- Resolverá problemas aplicando la Ley Ohm.
- REsolverá problemas aplicando las Leyes de Kirchhoff

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIDAD 2

ELECTROSTATICA Y ELECTRODINAMICA

2-1 INTRODUCCION.- En esta unidad estudiaremos una rama más de la Física: LA ELECTRICIDAD, la cual se ha dividido para su estudio en: ELECTROSTATICA Y ELECTRODINAMICA.

La Electrostática trata de las partículas eléctricas en reposo, y de sus propiedades.

La Electrodinámica trata de las partículas eléctricas en movimiento y sus propiedades.

Entonces, podemos decir que la Electricidad es el estudio de las partículas eléctricas y sus propiedades.

Las primeras observaciones que se hicieron sobre las propiedades eléctricas de la materia, datan del año 600 A.C. cuando Tales de Mileto frotó un trozo de ambar (Resina fosil de origen animal) y observó que atraía pedacitos de paja, papel, pelo etc. Posteriormente, según Plinio (Historiador y escritor Latino) en el año 23 de nuestra era, Magnes, un pastor del Asia menor, sintió un día la atracción que ejercía una piedra oculta en

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

el suelo, sobre los claros de sus sandalias y también sobre la punta de su cayado (Especie de bastón largo), explicándose que la piedra tenía propiedades magnéticas, de ahí el nombre dado a dicha piedra: Piedra Imán.

Mucho después, aproximadamente en 1800, Hans Christian Oersted, observó que, entre las propiedades magnéticas y las eléctricas de la materia existía una relación, pués al circular corriente eléctrica por un alambre, la aguja magnética de una brújula era desviada de su posición original, al colocarse cerca del alambre. Posteriormente, investigadores como: Michel Faraday y Ampere, contribuyeron también en el desarrollo del Electromagnetismo, de gran aplicación en la actualidad.

2-2 NATURALEZA ELECTRICA DE LA MATERIA.- Comenzaremos diciendo que; materia es todo aquello que tiene masa. La materia puede ser: Homogénea y Heterogénea, presentándose cualesquiera de estos casos como: Sólidos, Líquidos o Gases.

Pués bién, en general, la materia está constituída por átomos y por moléculas.

Las moléculas son la combinación de dos o más átomos, iguales o distintos. Cuando los átomos son iguales, las moléculas corresponden a un elemento, como el hidrógeno, el bromo, el azufre, etc. y cuando los átomos son diferentes, las moléculas corresponden a un compuesto, como el gas natural: CH_4, el agua: H_2O, el yeso; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, etc.

Los átomos son las partículas más pequeñas de la materia, consideradas indivisibles hasta principios de este siglo, pués después se descubrió que podían ser divididas, por medio del proceso llamado: Fisión Nuclear.

Cada átomo está constituído por dos partes: El núcleo y la estructura electrónica. El núcleo a su vez consta en su interior de protones y de neutrones. Los protones son partículas con carga eléctrica positiva, mientras los neutrones son partículas sín carga eléctrica. La estructura electrónica está dividida en regiones llamadas: Niveles de energía, dentro de los cuales se mueven los electrones con diferentes velocidades y por lo tanto con diferentes energías. Los electrones

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

son partículas con carga eléctrica negativa. A continuación se muestra un dibujo representando un átomo, según la teoría de Rutherford:

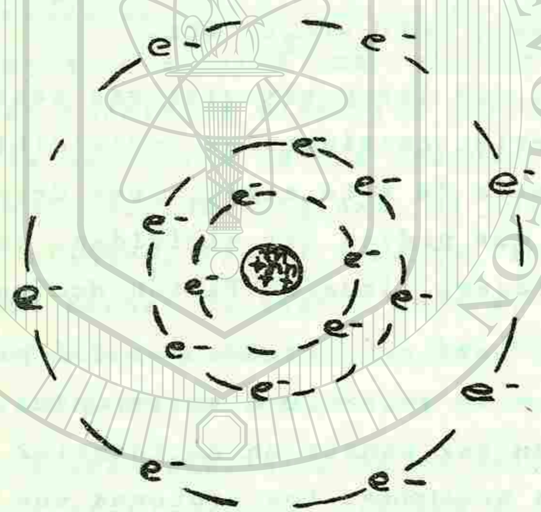


Fig. 2-2-1

Los protones se han representado con cruces

dentro del núcleo y los neutrones con la letra n, mientras que a los electrones se les ha representado así: e^-, todo lo que está fuera del núcleo es la corteza electrónica o estructura electrónica. Las circunferencias discontinuas muestran los niveles de energía en que se mueven los electrones. El diámetro de un átomo es de; 2×10^{-10} M aproximadamente y el del núcleo es de: 5×10^{-15} M. A partir de estos datos, nos podemos dar idea, del inmenso espacio en que se mueven los electrones, comparado con el reducido espacio que ocupa el núcleo, dentro del cual se encuentran apretados o muy juntos los protones y los neutrones.

Entonces, en el átomo, la carga positiva reside dentro del núcleo y la negativa se localiza fuera del núcleo.

El núcleo es la parte más densa del átomo, pués los protones y los neutrones tienen masas muy superiores a la de los electrones.

La carga eléctrica del electrón y la carga eléctrica del protón, son iguales en magnitud, pero de signo contrario, pués como ya

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

se dijo, la carga del electrón es negativa y la del protón es positiva. En un átomo estable electricamente, es decir, electricamente neutro, el número de electrones es igual al número de protones, es decir, la carga total negativa será igual a la carga total positiva, eliminándose entre si por parejas, resultando una carga total cero.

Si por algún medio se le quita un electrón o más electrones a un átomo neutro, quedará electrizado, pués tendrá carga positiva en exceso, en la misma cantidad que la carga correspondiente a los electrones quitados. Por lo tanto, dicho átomo quedará cargado positivamente.

Ahora, si por algún medio, un átomo adquiere electrones, quedará electrizado, pero con carga negativa en exceso, igual a la carga total de los electrones adquiridos. Por lo tanto, el átomo quedará cargado negativamente.

Lo anterior, lo podemos expresar mediante las siguientes ecuaciones:

$$\overset{o}{A} - Xe^{-} = A^{X+} \quad ..... \; 2\text{-}2\text{-}1$$

$$\overset{o}{B} + Ye^{-} = B^{Y-} \quad ..... \; 2\text{-}2\text{-}2$$

En la ecuación 2-2-1, el átomo A en el miembro izquierdo está electricamente neutro, por eso, tiene un cerito arriba que indica: Cero carga.

$-Xe^{-}$, significa que el átomo A perdió una cantidad X de electrones.

A^{X+} significa que el átomo tiene X carga positiva, en igual número a la carga negativa perdida en los electrones.

En la ecuación 2-2-2, el átomo B del miembro izquierdo también se encuentra neutro.

$+Ye^{-}$, significa que el átomo B ganó Y electrones.

B^{Y-} indica que el átomo tiene Y carga negativa, en igual número a la carga negativa ganada en los electrones.

Recuerda: X,Y, pueden tener cualesquier valor numérico.

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A los átomos cargados electricamente como: - A^{x+} y B^{y-}, se les llama en general: Iones.

A lôs que tienen carga positiva, reciben el nombre particular de iones positivos o cationes, y a los que tienen carga negativa: Iones negativos o aniones.

En soluciones líquidas, por ejemplo: Sal en agua, los cationes y aniones presentan movimientos al azar: El ion sodio Na^{+} o catión, y el ion cloruro Cl^{-} o anión. La sal de comer o cloruro de sodio: NaCl, al fundirse, - da lugar, a que los iones Na^{+} y Cl^{-}, presenten también movimiento al azar. Como la sal da lugar a iones en soluciones acuosas o al fundirse, recibe el nombre de electrolito. - Las sustancias electrolíticas o electrolitos, tienen gran aplicación en electroquímica.

También en el estado gaseoso a muy baja presión y, bajo la acción de descargas eléctricas de alto voltaje, se forman iones positivos y negativos, presentando un movimiento - orientado, no al azar.

En cambio, en el estado sólido, ni los cationes, ni los aniones, presentan movimiento.

2-3 CONDUCTORES Y AISLADORES.- En la unidad 1, se habló sobre conductores y aisladores térmicos, tomando como referencia los valores - de sus conductividades térmicas para identificar unos de otros.

En electricidad, también los materiales se - clasifican en conductores y aisladores eléctricos, en base a la facilidad con que conducen o transportan la electricidad.

Tomando en cuenta la conductividad eléctrica da cada material, lo podremos incluir dentro del grupo de los conductores o dentro del -- grupo de los aisladores, pero ésto lo haremos más delante.

Por el momento se establecerá que, los conductores eléctricos en su estado sólido, se caracterizan por tener en su estructura, una gran cantidad de electrones libres, que bajo el influjo de una diferencia de potencial -- eléctrico o voltaje, los electrones libres - se moverán siguiendo una misma dirección: -- del extremo negativo (alto voltaje) al extremo positivo (bajo voltaje).

En cambio, los aisladores eléctricos, tam---

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

bién llamados Diélectricos, carecen de electrones libres en su estructura, por lo que no conducirán facilmente a la electricidad.

En el estado sólido, los metales son los mejores conductores de la electricidad, siendo los electrones los encargados de transportar la electricidad dentro de ellos, por lo que se dice, que la corriente eléctrica en los metales consiste en un flujo de electrones: Los electrones libres. Los iones positivos existen en los metales durante el flujo de electrones, pero no se mueven, permaneciendo fijos en sus posiciones. Entre los metales mejores conductores de la electricidad se cuentan a: La plata, el cobre y el aluminio.

En el extremo opuesto al de los conductores, está el de los aisladores o dielectricos, los cuales carecen de electrones libres en su estructura, que son los responsables del flujo eléctrico. Entre los dieléctricos se cuenta: El cuarzo fundido, la cerámica, la bakelita, la cera, los aceites, el papel, etc.

Hay una clase de materiales, llamados: Semi-

conductores que es intermedia entre los conductores y los aisladores, por lo que se refiere a su capacidad para conducir la electricidad. De entre los elementos, tenemos como ejemplo, al Silicio y al Germanio. En los semiconductores la conductividad eléctrica puede aumentarse a menudo considerablemente agregando contidades muy pequeñas de otros elementos; al Silicio se le agregan a menudo con ese fin trozos de arsénico o de boro. Los semiconductores tienen muchas aplicaciones prácticas, por ejemplo en la construcción de transitores.

2-4 CUANTIZACION DE LA CARGA ELECTRICA.- Max Planck, iniciador de la teoría cuántica, estableció que los cuerpos emiten energía radiante constituída por corpusculos de cierta frecuencia ondulatoria, a los cuales llamó: fotones o cuantums, viajando uno tras de otro en línea recta y en todas direcciones. Esta teoría vino a revolucionar el pensamiento científico de ese entonces; hasta antes del año de 1900, en que se creía que la energía era continua.

La teoría atómica de Bohr, también establece,

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

que los niveles de energía en que se mueven los electrones dentro del átomo, están cuantizados, es decir, el electrón no se mueve en cualesquier región del espacio atómico, sino solamente en aquellos niveles que cumplan con ciertas condiciones mecánico-energéticas.

La materia también está cuantizada, porque no es continua, ya que cuenta con grandes espacios vacios, para comenzar, la materia está constituida por moléculas y éstas por átomos. Entre molécula y molécula hay espacios vacios y entre átomo y átomo. Además como acabamos de ver, en el mismo átomo hay un gran espacio vacio, en el cual se mueven los electrones. Es por todo esto que se dice que la materia no es continua, estando por lo tanto integrada por partículas diminutas: Moléculas y átomos.

Para tener una idea más clara de la cuantización, supongamos que dejamos caer libremente una pelota de hule desde una altura h_1, de modo que la pelota al pegar en el suelo, de cinco rebotes, según la figura: 2-4-1,

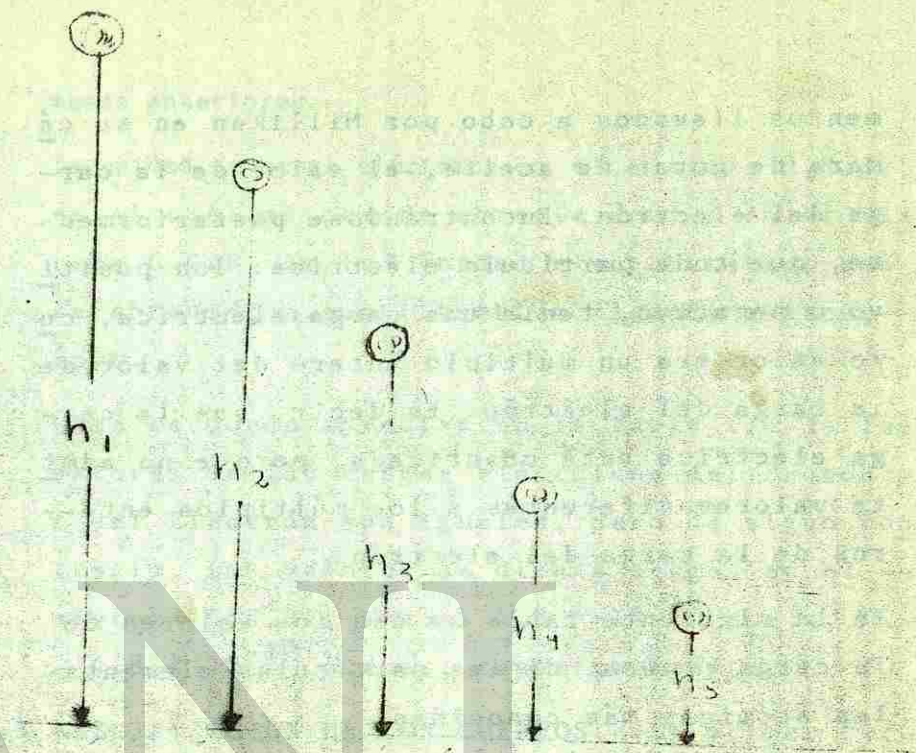


Fig. 2-4-1

En este caso diremos, que las alturas a que rebota la pelota, están cuantizadas, porque al dejarla caer desde la primer altura h_1, siempre rebotará a las alturas h_2, h_3, h_4 y h_5, y nunca a otras alturas intermedias.

En lo referente a la carga eléctrica, se encontró también, gracias a numerosos experi--

mentos llevados a cabo por Millikan en su cámara de gotas de aceite, el valor de la carga del electrón. Encontrándose posteriormente, que toda partícula eléctrica: Ion positivo o negativo, tenía una carga eléctrica, cuyo valor era un múltiplo entero del valor de la carga del electrón. Es decir, que la carga eléctrica está cuantizada, porque no admite valores diferentes a los múltiplos enteros de la carga del electrón.

En la siguiente tabla se dán los valores de la carga y masa, de las partículas elementales atómicas más conocidas.

T A B L A 2-4-1

Partícula	Simbolo	Carga	Masa
Neutrón	n	0	$1.67482 X 10^{-27}$ Kg
Protón	p	$+ 1.6 X 10^{-19}$ coul	$1.67252 X 10^{-27}$ Kg
Electrón	e	$- 1.6 X 10^{-19}$ coul	$9.1091 X 10^{-31}$ Kg

Observa en esta tabla, que las masas del Neutrón y del Protón son casi iguales, sin embargo, la masa del Protón es ligeramente superior. En cuanto a la masa del Electrón, su valor es muy pequeño comparado a las

masas anteriores.

La unidad de carga eléctrica en el sistema M.K.S., es el coulomb que se abrevia coul y en el sistema C.G.S. es la: Unidad electrostática que se abrevia: u.e.s., también llamada statcoulomb.

Como se puede apreciar en la tabla 2-4-1, los valores de las cargas eléctricas del Protón y del Electrón son iguales, pero de signo contrario. Los valores de dichas cargas en el sistema C.G.S., son: $+ 4.8 X 10^{-10}$ u.e.s. y $- 4.8 X 10^{-10}$ u.e.s., respectivamente.

2-5 ELECTRIZACION DE LOS CUERPOS.- La primer forma de electrizar la materia fué la que descubrió Tales de Mileto: Por frotamiento del ambar.

Posteriormente se generalizó el método, pués se encontró que cualesquier material puede adquirir carga eléctrica por frotamiento; tanto el cuerpo frotado como el que frota, se cargan mutuamente con signo contrario. Los materiales más comunmente usados en electrostática son: Varillas de vidrio, de ebonita (hule o caucho vulcanizado), de ambar, de plástico,

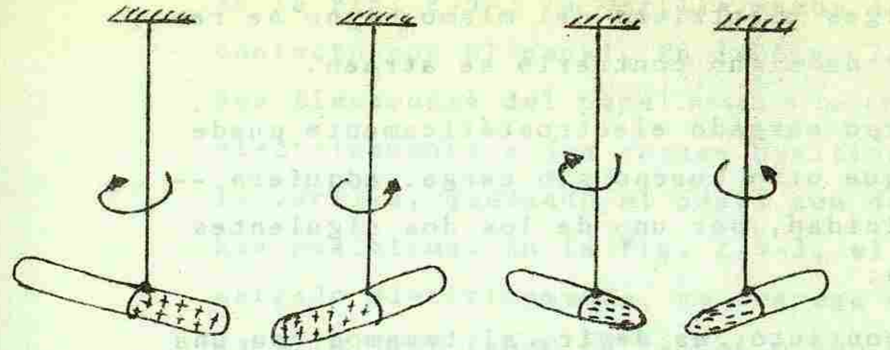
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

seda, franela, pieles, poliester, etc. Todos estos materiales son dieléctricos o malos -- conductores de la electricidad.

Benjamin Franklin determinó, que al frotar - una varilla de vidrio con una tela de seda, adquiría carga positiva, mientras que la seda adquiría carga negativa. También se encontró, que al frotar una varilla de ebonita -- con piel de gato, esta adquiría carga positiva y la varilla de ebonita adquiría carga negativa. Durante el frotamiento hay una transferencia de cargas eléctricas (unicamente se transfieren los Electrones) de un cuerpo a - otro. Por ejemplo, en el caso del par: Vi--- drio-seda, los Electrones pasan del vidrio a la seda, cargándose negativamente ésta y quedando cargado positivamente el vidrio. En el caso del par: Ebonita-piel, durante el frotamiento, los Electrones pasan de la piel a la ebonita, cargándose negativamente a la ebonita y positivamente la piel.

Se encontró experimentalmente, que si se --- cuelgan dos varillas de vidrio cargadas electricamente, sufran una mutua repulsión, así

como si fueran de ebonita.



Varillas de Vidrio   Varillas de Ebonita

En cambio, si se cuelgan dos varillas, una - de vidrio y otra de ebonita, ambas dos cargadas electricamente, se observó que se atra-- ían entre sí:

Varilla de Ebonita   Varilla de Vidrio

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Con estos experimentos se estableció el siguiente principio de las cargas eléctricas: Dos cargas eléctricas del mismo signo se repelen y de signo contrario se atraen.

Un cuerpo cargado electrostáticamente puede hacer que otro cuerpo sin carga, adquiera electricidad, por uno de los dos siguientes métodos:

a) De contacto, es decir, si tocamos con una varilla de vidrio que ha sido frotada con seda, a un recorte de papel, notaremos que el papel queda pegado a la varilla, pero un instante después se desprende solo, debido a que el papel ha adquirido carga eléctrica del mismo signo que la del vidrio y en igual cantidad, según aparece a continuación:

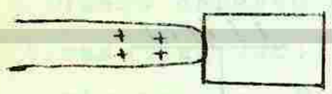


FIG. 2-5-1

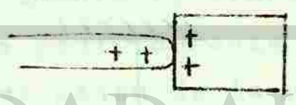


FIG. 2-5-2

FIG. 2-5-3

En la Fig. 2-5-1 la varilla acaba de hacer contacto con el papel. En la fig. 2-5-2, dos Electrones del papel pasan a neutralizar electricamente a dos cargas positivas de la varilla, quedando el papel con dos cargas positivas. En la Fig. 2-5-3, el papel cargado electricamente, se despega de la varilla, por tener carga del mismo signo que la varilla: Se produjo la repulsión.

Si la varilla hubiese sido de ebonita, el papel se hubiera cargado negativamente, pasando electrones de la varilla al papel, hasta que la carga total de la ebonita y del papel fueran igual.

Como se acaba de ver, durante el contacto, la carga eléctrica del cuerpo cargado originalmente, se reduce a la mitad de su valor, quedando finalmente los dos cuerpos con la misma carga en magnitud y en signo como se observó en las tres figuras anteriores.

b) De inducción. En éste método, no es necesario que los dos cuerpos se pongan en contacto, sino que simplemente, uno

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

de los dos se acerque al otro. De ésta manera, el cuerpo cargado inducirá a que el otro cuerpo se cargue también. La característica de este método es que, el cuerpo original sin carga, al cargarse por inducción, tendrá dos cargas iguales en magnitud pero de signo contrario. El valor de dichas cargas será igual al valor de la carga del cuerpo cargado electricamente. Por ejemplo, si acercamos una varilla de ebonita frotada con piel, a un trocito de corcho, éste adquirirá carga en igual cantidad a la carga de la varilla, pero de signo contrario por el extremo que está más cerca de la varilla, y de signo contrario en su otro extremo:

Fig. 2-5-4

Durante el proceso, los electrones del extremo izquierdo del corcho, emigran al extremo derecho porque son repelidos por los electrones de la varilla, quedando cargado positivamente el extremo izquierdo del corcho.

Al retirar la varilla, los electrones del extremo derecho del corcho, vuelven a emigrar a su extremo original, neutralizando a las cargas positivas del extremo izquierdo, quedando finalmente de nuevo sin carga.

Los métodos mencionados para obtener electricidad estática o en reposo: Por frotamiento, por contacto y por inducción son los principales.

Para tener buenos resultados en los métodos anteriores se debe contar con una atmósfera seca, pués el aire húmedo favorece la descarga de los cuerpos con carga estática. Además, se debe contar con un buen equipo de aislamiento electrónico.

Hay otros métodos para electrizar como son: a) Usando el generador de Van Der

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Graff y b) Usando la Máquina Voltana, ambas máquinas reciben el nombre genérico de: Máquinas Electrostáticas, y usan el principio del frotamiento para obtener cargas estáticas.

Finalmente, existen otros procedimientos para producir cargas estáticas en los cuerpos como son:

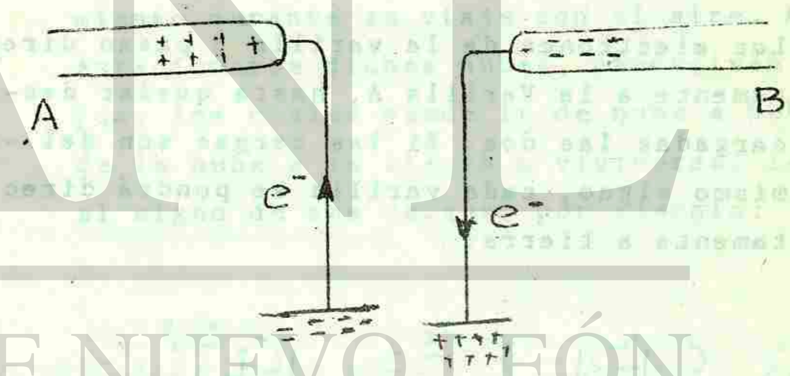
1.- Por presión, 2.- Por calor, 3.- Por acción de la luz, 4.- Por acción química y 5.- Por acción magnética.

2-6 DESCARGAS DE CARGAS ESTATICAS.- Hay tres formas de que los cuerpos cargados electrostáticamente, se desagan de sus cargas:

a) Usando un coductor que conecte a los dos extremos con carga, por ejemplo, si se tienen dos varillas con carga opuesta:

Por el conductor, que puede ser un alambre de cobre, viajarán los electrones de la varilla B hacia la varilla A, hasta neutralizar por completo a toda la carga positiva, hasta quedar finalmente sin carga las dos varillas.

Si las dos varillas tienen carga del mismo signo, cada una mediante el conductor se conectará a tierra, la cual puede actuar como donadora de electrones o aceptora de electrones, según las siguientes figuras:



La varilla A, recibirá electrones de la tierra hasta quedar neutralizada su carga positiva y la varilla B, proveerá de elec-

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

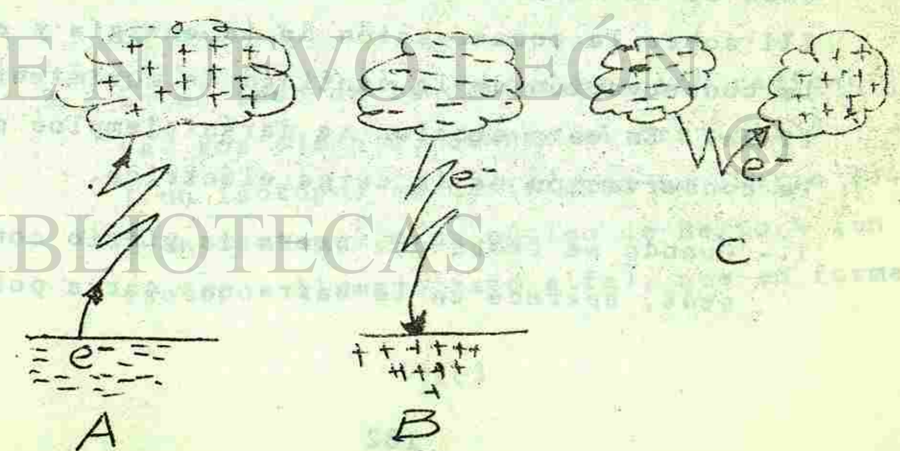
trones a la tierra hasta quedar sin ellos.

b) Por contacto.- En este caso, si las varillas o cuerpos tienen cargas opuestas se pueden poner en contacto directamente:

Los electrones de la varilla B pasan directamente a la Varilla A, hasta quedar descargadas las dos. Si las cargas son del mismo signo, cada varilla se pondrá directamente a tierra:

La varilla A, recibirá electrones de la tierra y la varilla B, dará sus electrones en exceso a la tierra. Ambas dos, hasta quedar descargadas.

c) Por Arco.- Cuando existe una gran concentración de carga, la descarga se puede producir a través del aire libremente, produciéndose un arco eléctrico, el cual consiste en un chorro de electrones. Este fenómeno se observa durante las tormentas eléctricas, en que las nubes que se han cargado electrostáticamente, por el rosamiento durante su viaje con el aire. Al estacionarse dichas nubes, producirán rayos, los cuales puede ir de nube a nube o de la nube a la tierra o viciversa, según el signo de sus cargas, por ejemplo:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En la figura A, el rayo o arco eléctrico, va de la tierra a la nube y en la figura B, el fenómeno es inverso. En la figura C, la existencia de dos nubes cercanas con carga opuesta, da lugar a que entre ellas se produsca el arco eléctrico.

Recuerda, el arco eléctrico o el rayo, son electrones a gran velocidad, que al pasar a travez del aire, ioniza a las moléculas de oxígeno y nitrógeno, dando lugar a la luz que acompaña al rayo o arco. La trayectoria zigzageante del rayo se debe a los obstáculos que se presentan al chorro de electrones durante su viaje a travez del aire.

2-7 CONSERVACION DE LA CARGA ELECTRICA.- En el libro de Física I se trató sobre la conservación de la materia y en el libro de Física III sobre la conservación de la energía y de la conservación de la cantidad de movimiento lineal. En esta sección se darán ejemplos de la conservación de la carga eléctrica.

1.- Cuando se frota una barra de vidrio con seda, aparece en la barra una carga positiva. Las medidas muestran que aparece en la seda una carga negativa de igual magnitud. Esto hace pensar que el frotamiento no crea la carga sino simplemente la transporta de un cuerpo al otro, alterando la neutralidad eléctrica de los dos cuerpos. Antes del frotamiento la carga total era cero y después también lo es.

2.- Cuando un electrón e^- y un positron e^+ (El positrón es una partícula de igual masa que el electrón pero con carga de signo opuesto) se ponen en contacto, las dos partículas desaparecen convirtiéndose en dos rayos, semejantes a los rayos X. En éste ejemplo, la carga total antes de ponerse en contacto las dos partículas es igual a cero, y después, cuando se convierten en rayos, la carga total también es cero.

3.- En el caso de la desintegración radioactiva, Por ejemplo, cuando el Uranio 238 (un isotopo) se desintegra en Thorio 234 (un isotopo) y un núcleo de Helio 4 (un isotopo, llamado rayo alfa), que en forma de ecuación se puede representar así:

$$_{+92}U^{238} = _{+90}Th^{234} + _{+2}He^{4}$$

Antes de la desentigración, la carga total corresponde al núcleo del Uranio -- 238: 92 Protones. Después de la desintegración, la carga total es también: 92 Protones, 90 del Thorio 234 y 2 del Helio 4. Como se puede apreciar, este es otro ejemplo de la conservación de la carga.

4.- Un ejemplo final de la conservación de la carga, se encuentra en la siguiente reacción nuclear:

$$_{+20}Ca^{44} + _{+1}P^{1} = _{+21}Sc^{44} + _{0}n^{1}$$

La carga total antes de la reacción es la suma de la carga positiva del calcio 44 y la carga positiva del protón, o sea: 21, - después de la reacción la carga total - positiva es 21, pués es la carga del Escandio 44.

CONCLUSIONES: En el primer ejemplo se demostró que la carga no se crea, sino que se transfiere de un cuerpo a otro cuerpo, durante el frotamiento, conservándose la carga total.

En el ejemplo 2, se demostró que la carga no se destruye, y en los ejemplos 3 y 4, se demostró que la carga total antes de un proceso es igual a la carga total después del proceso mismo.

2-8 LEY DE COULOMB.- Charles Augustin de Coulomb, en 1785, midió por primera vez numericamente las atracciones y repulsiones eléctricas y - dedujo la ley que las rige. El aparato usado por Coulomb en sus experimentos, es una balanza de torsión, semejante a la usada por - Cavendish para medir las atracciones gravitacionales.

Coulomb usó en su balanza, dos esferas metálicas de igual tamaño, y siguiendo la técnica de cargar electrostaticamente a una de -- ellas, luego ponerla en contacto con la ---- otra, la carga de la primera se dividirá por igual entre las dos esferas. En seguida las

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

separaba a diferentes distancias, para medir luego las fuerzas de repulsión.

Coulomb llegó así, a la siguiente proporcionalidad: (Ley de Coulomb).

$$F \propto \frac{q_1 \, q_2}{r^2}$$

Que establece: La fuerza F entre dos cargas q_1, q_2 separadas una distancia r, es directamente proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional, al cuadrado de la distancia que las separa.

Si el signo de la fuerza F es negativo, la fuerza será de atracción, y si el signo es positivo, la fuerza será de repulsión.

Las cargas a que se refiere la proporcionalidad de Coulomb, deben ser puntuales, o si están distribuídas en cuerpos, como las esferas metálicas que usó Coulomb, deberán de ser de un tamaño pequeño, comparado con la distancia que los separa.

Referente a la distancia que separa a las dos cargas, debe ser la más corta, es decir,

una recta.

Mediante el siguiente esquema, se presentarán las características de la proporcionalidad:

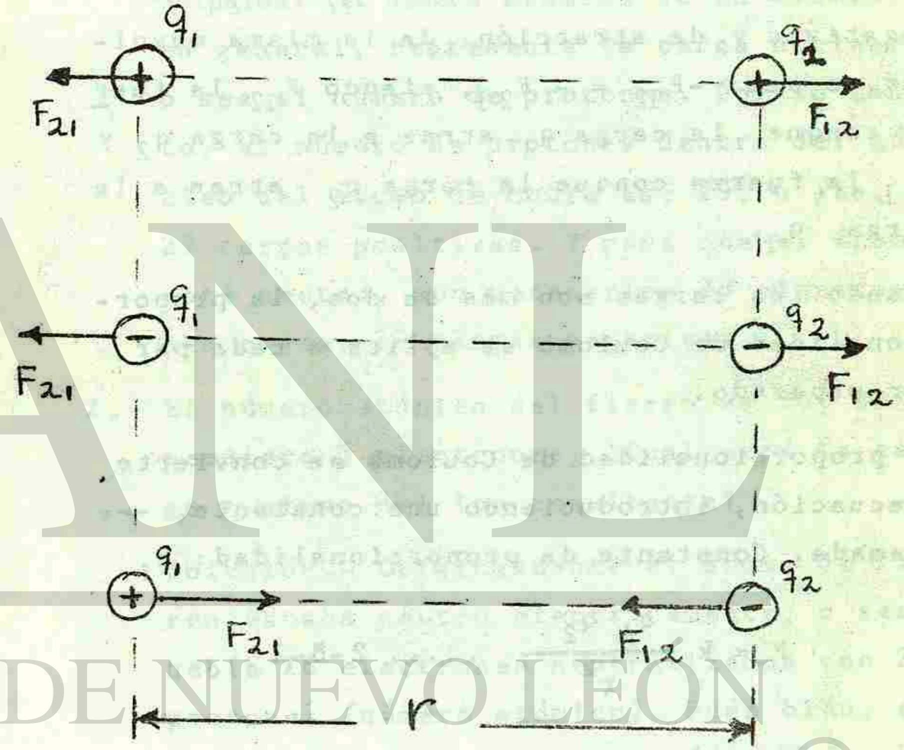


Fig. 2-8-1

En los esquemas A y B, por ser del mismo sig

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

no las cargas q_1 y q_2, las fuerzas serán positivas y de repulsión: F_{12} será la fuerza con que la carga q_1 repele a la carga q_2. La magnitud de las dos fuerzas será la misma, es decir, $F_{12} = F_{21}$.

En el esquema C, las fuerzas F_{12} y F_{21} son negativas y de atracción, de la misma magnitud, o sea: $-F_{12} = -F_{21}$, siendo F_{12} la fuerza conque la carga q_1 atrae a la carga q_2 y F_{21} la fuerza conque la carga q_2 atrae a la carga q_1.

Cuando las cargas son más de dos, la proporcionalidad de Coulomb se aplica a cada par por separado.

La proporcionalidad de Coulomb se convierte a ecuación, introduciendo una constante, --- llamada: Constante de proporcionalidad: k,

$$F = k \frac{q_1 \, q_2}{r^2} \quad ..... \; 2\text{-}8\text{-}1$$

Esta es la ecuación de la ley de Coulomb. -- El valor de k en el sistema M.K.S. es:

$$9 \times 10^9 \; \frac{N - M^2}{Coul^2}$$

2-9 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- El número atómico del cobre es 29. Para que éste átomo sea neutro electricamente, ¿cuantos electrones deben girar en la corteza electrónica del átomo?.

Solución.- El número atómico de un elemento, en general, representa la carga nuclear o sea el número de protones. Por lo tanto, el número de protones dentro del núcleo del átomo de cobre es: 29, o sea, 29 cargas positivas. Y para que el átomo esté neutro, son necesarios 29 electrones o sea, 29 cargas negativas.

2.- El número atómico del fierro es 26, si perdiera 3 electrones, ¿Cual será la carga y signo del ion resultante?

Solución.- Originalmente el átomo de fierro estaba neutro electricamente, o sea, había 26 electrones neutralizados con 26 protones (número atómico). Pués bién, al perder 3 electrones, restarían; 26-3 = 23 electrones. Estos 23 electrones estarían en desventaja con los 26 protones, es decir, habrá: 3 Protones de sobra, igual a

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

los 3 electrones perdidos. Por lo tanto, el ion fierro, tendría una carga de: + 3.

3.- Un átomo de carbono gana 4 electrones, - si su carga nuclear es 12, ¿Cuál será la carga eléctrica y signo del átomo resultante?.

Solución.- Bajo el razonamiento del problema 2, la carga del átomo de carbono es de: - 4, pués ha ganado 4 electrones, -- que sobrepasan a los 12 protones del núcleo, ya que antes de ganar los 4 electrones, había 12, al estar neutro el --- átomo.

4.- En los problemas 2 y 3, se obtuvieron -- las cargas de los átomos en base a: los protones sobrantes (problema 2) y a los electrones sobrantes (problema 3). Expresar en cada caso, la carga en coulombs y en u.e.s.

Solución.- Como la carga del protón y -- del electrón, según la tabla 2-4-1, son iguales pero de signo contrario, tomaremos solamente el valor: 1.6×10^{-19} coul o 4.8×10^{-10} u.e.s.

Entonces para el ion fierro, su carga será: $+ 3(1.6 \times 10^{-19}) = + 4.8 \times 10^{-19}$ coul

$+ 3(4.8 \times 10^{-10}) = +14.4 \times 10^{-10}$ u.e.s.

Para el átomo de carbono con carga:

$- 4(1.6 \times 10^{-19}) = - 6.4 \times 10^{-19}$ Coul

$- 4(4.8 \times 10^{-10}) = - 19.2 \times 10^{-10}$ u.e.s.

5.- Con ayuda de los razonamientos de los -- problemas anteriores encuentra:

a) La carga total de un átomo de Silicio
b) El signo y valor, de la carga del átomo de Silicio al ganar 4 electrones, en coul y en u.e.s.
c) El signo y valor de la carga del átomo de Silicio al perder 2 electrones.

El número átomico del Silicio es: 14.

Soluciones.- (a) La carga total de un -- átomo de Silicio es cero, pués el número de protones (14) debe ser igual al número de electrones (14) para que esté neutro electricamente, o sea:

carga total = - 14e + 14p = 0, pués la carga del electrón y del protón son iguales en valor absoluto.

b) Al ganar 4 electrones, habrá exceso de ellos, por lo que, la carga será negativa y su valor es:

$$-4 \times 1.6 \times 10^{-19} = -6.4 \times 10^{-19} \text{ coul}$$

$$-4 \times 4.8 \times 10^{-10} = -19.62 \times 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

c) Al perder 2 electrones, habrá 2 protones en exceso, por lo que, la carga será positiva y su valor es:

$$+2 \times 1.6 \times 10^{-19} = +3.2 \times 10^{-19} \text{ coul}$$

$$+2 \times 4.8 \times 10^{-10} = +9.6 \times 10^{-10} \text{ u.e.s.}$$

6.- Si la carga de un material es de + 2.4X10^{-4} coul, ¿Cuántos protones tiene en exceso?

Solución.- Si usamos la siguiente relación:

$$\frac{2.4 \times 10^{-4}\ \cancel{\text{coul}}}{1.6 \times 10^{-19}\ \frac{\cancel{\text{coul}}}{\text{protón}}}$$

se eliminarán los coul de la relación quedando solamente protones, o sea:

$$1.5 \times 10^{15} \text{ protones}$$

7.- ¿Cuántos electrones debe ganar una partícula para que adquiera una carga de -1.92 X 10^{-6} coul?

Solución.- Usando la siguiente relación:

$$\frac{-1.92 \times 10^{-6}\ \cancel{\text{coul}}}{-1.6 \times 10^{-19}\ \frac{\cancel{\text{coul}}}{\text{electrón}}}$$

Se eliminarán los coul de la relación, quedando electrones, por lo tanto:

$$1.2 \times 10^{13} \text{ electrones}$$

8.- ¿Cuántos electrones son necesarios para una carga de - 1.0 coul?

Solución.- De nuevo, usando la relación:

$$\frac{-1\ \cancel{\text{coul}}}{-1.6 \times 10^{-19}\ \frac{\cancel{\text{coul}}}{\text{electrón}}} = 6.25 \times 10^{-17} \text{ electrones}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

9.- ¿Cuántas veces más grande es la masa de un protón, con respecto a la masa de un electrón?

Solución.- Tomando las masas de la tabla 2-4-1:

$$m_p = 1.67252 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$m_e = 9.1091 \times 10^{-31} \text{ Kg}$$

y dividiendo la m_p entre la m_e:

$$\frac{m_p}{m_e} = \frac{1.67252 \times 10^{-27} \cancel{\text{Kg}}}{9.1091 \times 10^{-31} \cancel{\text{Kg}}} = .1836 \times 10^4$$

o sea: $m_p = 1836\, m_e$

es decir, que la masa del protón es 1836 veces más grande que la masa del electrón.

10.-Expresar en el sistema: C.G.S., el valor de la constante de proporcionalidad de la ecuación de coulomb.

Solución.- En el sistema M.K.S., la constante, $k = 9 \times 10^9 \frac{N - M^2}{coul^2}$, entonces, en el sistema C.G.S. la unidad de fuerza son las dinas, la unidad de longitud son los cms y la unidad de carga es la unidad electrostatica: U.E.S. y usando el Modelo de conversión de unidades:

$$9 \times 10^9 \frac{N - M^2}{coul^2} = X \frac{dinas - Cm^2}{u.e.s^2}$$

$$9 \times 10^9 \frac{N}{DINAS} \frac{M^2}{Cm^2} \frac{u.e.s^2}{coul^2} = X$$

$$9 \times 10^9 \frac{10^{+5} \cancel{dinas}}{\cancel{dinas}} \frac{10^4 \cancel{cm^2}}{\cancel{Cm^2}} \frac{u.e.s^2}{(3X10^9 \text{ u.e.s})^2} = X$$

$$\frac{9 \times 10^{18} \cancel{ues^2}}{9 \times 10^8 \cancel{ues^2}} = X$$

$$1 \times 10^{10} = X$$

Entonces: $9 \times 10^9 \frac{N - M^2}{coul^2} = 1X10^{10} \frac{dinas\text{-}cm^2}{ues^2} = k$

Recuerda que: $1 \text{ N} = 10^5$ dinas

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$1\ M^2 = 10^4\ cm^2$$

$$1\ coul = 3 \times 10^9\ u.e.s.$$

11.- Una carga punto de $+5 \times 10^{-5}$ coul se coloca a 5 cm de una segunda carga punto de $+4 \times 10^{-5}$ coul.

Calcular la magnitud, dirección y sentido de la fuerza que obra sobre cada carga.

Solución.- Anotemos los datos; -------- $q_1 = +5 \times 10^{-5}$ coul, $q_2 = +4 \times 10^{-5}$ coul, $r = 5$ cm $= .05$ M.

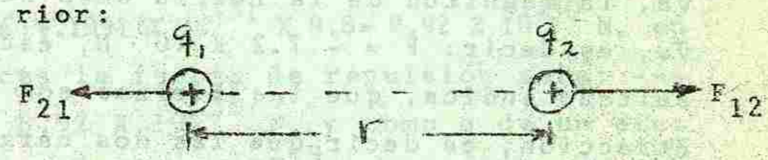
Para calcular la magnitud de la fuerza, hay que tener cuidado de que las unidades de los datos estén en el mismo sistema; M.K.S., usando la ecuación de Coulomb y sustituyendo:

$$F = k\frac{q_1\ q_2}{r^2} = 9 \times 10^9\ \frac{(+5 \times 10^{-5})(+4 \times 10^{-5})}{(.05)^2}$$

$$F = \frac{180 \times 10^{-1}}{25 \times 10^{-4}} = 7.2 \times 10^3\ N \text{ (magnitud)}$$

La dirección de ésta fuerza, es la de la recta imaginaria que une a q_1 y q_2.

El sentido de cada fuerza es opuesta a la otra, pués son fuerzas de repulsión. La siguiente figura aclarará lo anterior:



F_{21} = a la fuerza con que q_2 repele a la q_1		Sentidos de las dos fuerzas
F_{12} = a la fuerza con que q_1 repele a q_2		

Por la tercera Ley de Newton:

$$F_{21} = F_{12} = 7.2 \times 10^3\ N$$

Si q_1 y q_2 fuesen negativas, los resultados y figura serían los mismos.

12.- Calcular la magnitud, dirección y sentido de cada fuerza del problema anterior si,

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$q_1 = + 5 \times 10^{-5}$ coul y $q_2 = - 4 \times 10^{-5}$ coul

Solución.- Los datos son: $q_1 = + 5\times10^{-5}$ coul, $q_2 = - 4 \times 10^{-5}$ coul y $r = .05$ M.

Como los datos son los mismos numerica-- mente hablando, excepto que q_2 es negati va, la magnitud de la fuerza será negati va, es decir: $F = - 7.2 \times 10^3$ N, éste re sultado indica, que las fuerzas son de - atracción, es decir que las dos cargas - se atraerán:

F_{21} = La fuerza con que q_2 atrae a q_1

F_{12} = La fuerza con que q_1 atrae a q_2

} Sentidos de las --- fuerzas

y: $F_{21} = F_{12} = - 7.2 \times 10^3$ N (Magnitud)

La dirección de cada fuerza es a lo lar- go de la recta imaginaria que une a q_1 y q_2.

13.- ¿Qué separación debe haber entre dos -- electrones para que la fuerza de repul- sión sea igual al peso de uno de ellos?

Solución.- De acuerdo con la tabla ---- 2-4-1, la masa de un electrón es: ----- 9.1091×10^{-31} Kg, entonces su peso --- será: $9.1091 \times 10^{-31} \times 9.8 = 8.92 \times 10^{-30}$ N, en tonces la fuerza de repulsión será: --- $F = 8.92 \times 10^{-30}$ N, y como q de un elec trón es: 1.6×10^{-19} coul, usaremos la ecuación de coulomb, despejamos r y sus tituimos:

$$F = k\,\frac{q_1\,q_2}{r^2}\ ,\quad r^2 = \frac{k\,q_1\,q_2}{F}$$

$$r = \sqrt{\frac{k\,q_1\,q_2}{F}}\ ,\quad r = \sqrt{\frac{9\times10^9 \times (-1.6\times10^{-19})(-1.6\times10^{-19})}{8.92 \times 10^{-30}}}$$

$$r = \sqrt{\frac{23.04 \times 10^{-29}}{8.92 \times10^{-30}}} = \sqrt{2.58 \times 10^1} = \sqrt{25.8}$$

$r = 5.08$ M

Problema y resultado los representaremos en el siguiente esquema:

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

14.- Encontrar la magnitud y signo de la carga, que obra sobre una carga de $+ 3 \times 10^{-6}$ coul, si la fuerza entre las dos es de $- 2 \times 10^5$ N y la distancia que las separa es de 10 cm.

Solución.- Anotemos los datos:

$q_1 = + 3 \times 10^{-6}$ coul, $q_2 = ?$ $F = -2\times10^5$ N,

$r = 10$ cm $= .10$ M y $k = 9 \times 10^9 \dfrac{N - M^2}{coul^2}$

Como todos los datos anotados tienen sus unidades en el sistema M.K.S. al igual que las unidades de k y usando la ecuación de coulomb, despejando q_2 y sustituyendo:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad F r^2 = k q_1 q_2, \quad q_2 = \frac{F r^2}{k q_1}$$

$$q_2 = \frac{- 2 \times 10^5 \ (.10)^2}{9 \times 10^9 \ (+ 3 \times 10^{-6})}$$

$$q_2 = \frac{- 2 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-2}}{27 \times 10^3}$$

$$q_2 = - 7.4 \times 10^{-2} \text{ Coul}$$

Como la fuerza era negativa, q_2 debía ser negativa, pués q_1 es positiva y entre las dos debe existir una fuerza de atracción.

15.- Dos cargas iguales y del mismo signo, separadas una distancia de 20 cm, ejercen fuerzas de repulsión mutua de: 6×10^3 N. Calcular el valor de las cargas.

Solución.- Los datos son: $r = 20$ Cm $= .20$ M, $F = 6\times10^3$ y $k = 9\times10^9 \dfrac{N - M^2}{coul^2}$ y como $q_1 = q_2 = q$ pués las cargas son iguales:

$$F = \frac{k q_1 q_2}{r^2} = \frac{k q q}{r^2} = \frac{k q^2}{r^2} \text{ y despejando q:}$$

$$F r^2 = k q^2, \quad q^2 = \frac{F r^2}{k}, \quad q = \sqrt{\frac{F r^2}{k}},$$

Sustituyendo:

$$q = \sqrt{\frac{6 \times 10^3 (.20)^2}{9 \times 10^9}} = \frac{6 \times 10^3 \times 4 \times 10^{-2}}{9 \times 10^9}$$

$$q = \sqrt{\frac{24 \times 10^1}{9 \times 10^9}} = \quad 2.66 \times 10^{-8}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$q = 1.66 \times 10^{-4} \text{ coul}$$

Este será el valor de cada carga,

o sea: $q_1 = q_2 = q = 1.66 \times 10^{-4}$ coul

16.- Tres cargas se encuentran alineadas según la figura siguiente:

Si $q_1 = +4\text{X}10^{-3}$ coul, $q_2 = -5\text{X}10^{-3}$ coul y $q_3 = -8\text{X}10^{-4}$ coul

$r_1 = 3$ cm, $r_2 = 6$ cm.

Calcular la magnitud, dirección y sentido de la fuerza resultante que obra sobre la carga q_2.

Solución.- Cuando son más de dos cargas, se aplicará el siguiente criterio: La carga problema será, aquella sobre la cual actúen dos o más fuerzas, cuyos sentidos se determinarán analisando los signos de todas las cargas incluyendo la carga problema.

En el presente caso, la carga problema es: q_2, el sentido de la fuerza F_{12} será hacia la izquierda, pués q_1 q_2 son de signo contrario. El sentido de la fuerza F_{32} es también de sentido hacia la izquierda, pués q_3 es del mismo signo que q_2.

Es decir, q_1 atrae a q_2, mientras que q_3 repele a q_2.

Observa que las fuerzas F_{21} y F_{23} no son tomadas en cuenta, pués corresponden a las fuerzas que ejerce q_2 sobre q_1 y q_3 respectivamente.

Entonces, el diagrama vectorial de fuerzas que obran sobre q_2, es:

Una vez que se han determinado los sentidos de las dos fuerzas actuantes: F_{12} y F_{32}, los signos de q_1, q_2 y q_3, ya no se incluyen en la ecuación de Coulomb, por lo tanto:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$F_{12} = \frac{k\, q_1\, q_2}{r_1^2} \quad y \quad F_{32} = \frac{k\, q_2\, q_3}{r_2^2}$$

Como las dos fuerzas apuntan a la izquierda, la fuerza resultante será igual a la suma:

$$F_R = F_{12} + F_{32} = \frac{k\, q_1\, q_2}{r_1^2} + \frac{k\, q_2\, q_3}{r_2^2}$$

Sacando como factor común a k y q_2:

$$F_R = k\, q_2 \left(\frac{q_1}{r_1^2} + \frac{q_3}{r_2^2}\right),$$ y sustituyendo:

$$F_R = 9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-3} \left(\frac{4 \times 10^{-3}}{(.03)^2} + \frac{8 \times 10^{-4}}{(.06)^2}\right)$$

$$F_R = 45 \times 10^6 \left(\frac{4 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-4}} + \frac{8 \times 10^{-4}}{36 \times 10^{-4}}\right)$$

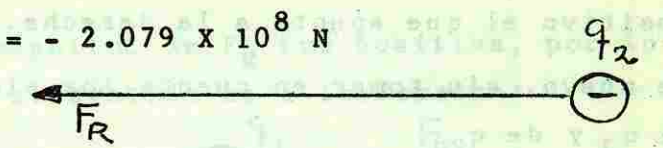
$$F_R = 45 \times 10^6 \,(.44 \times 10^1 + .22 \times 10^0)$$

$$F_R = 45 \times 10^6 \times 4.62 = 207.9 \times 10^6$$

$$F_R = 2.079 \times 10^8 \text{ N (Magnitud)}$$

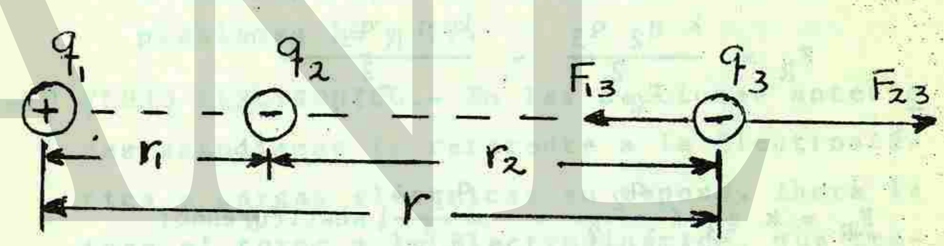
La dirección y sentido de la fuerza resultante será a la izquierda (F_R será negativa por esta razón):

$$F_R = -\,2.079 \times 10^8 \text{ N}$$



17.- ¿Qué fuerza actuaría sobre la carga 3 del problema anterior?

Solución.- Ahora, la carga problema es q_3, y el diagrama vectorial de fuerzas es el siguiente:



F_{13} apuntará a la izquierda, pués como q_1 es positiva trata de atraer a q_3 que es negativa, mientras que F_{23} apunta a la derecha porque q_2 es negativa y trata de alejar a q_3.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Entonces la fuerza resultante será:

$F_R = F_{23} - F_{13}$, recuerda que todo vector que apunta a la izquierda es negativo y positivo el que apunta a la derecha.

De nuevo, sin tomar en cuenta los signos de q_1 y de q_2:

$$F_{23} = \frac{k\, q_2\, q_3}{r_2^{\,2}} \quad \text{y} \quad F_{13} = \frac{k\, q_1 q_3}{r^2}$$

y sustituyendo en la ecuación de la fuerza resultante:

$$F_R = \frac{k\, q_2\, q_3}{r_2^{\,2}} - \frac{k\, q_1\, q_3}{r^2}$$

$$F_R = k\, q_3 \left(\frac{q_2}{r_2^{\,2}} - \frac{q_1}{r^2}\right), \text{ sustituyendo;}$$

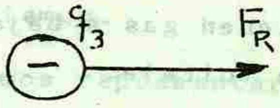
$$F_R = 9 \times 10^9 \times 8 \times 10^{-4} \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{(.06)^2} - \frac{4 \times 10^{-3}}{(.03 + .06)^2}\right)$$

$$F_R = 72 \times 10^5 \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{36 \times 10^{-4}} - \frac{4 \times 10^{-3}}{81 \times 10^{-4}}\right)$$

$$F_R = 72 \times 10^5\ (.138 \times 10^1 - .049 \times 10^1)$$

$$F_R = 72 \times 10^5 \times .089 \times 10^1 = 6.4 \times 10^6\ \text{N}$$

La magnitud de F_R fué positiva, por lo -- que su sentido es a la derecha:



Y, si te pidieran la fuerza resultante sobre la carga 1 del problema 16, ¿la encontrarás?. Inténtalo, siguiendo el razonamiento aplicado en la solución de los --- problemas 16 y 17.

2-10 FLUJO ELECTRONICO.- En las secciones anteriores estudiamos lo referente a la Electrostática o cargas eléctricas en reposo. Ahora le toca el turno a la Electrodinámica, que trata sobre las cargas eléctricas en movimiento.

Comenzaremos por dar el concepto de corriente eléctrica en su sentido más amplio, diciendo: Es el movimiento de los portadores de carga eléctrica.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Decimos en su sentido más amplio, porque los portadores de carga pueden ser: electrones, protones, iones positivos o iones negativos.

Todos los portadores de carga mencionados, forman la corriente eléctrica dentro de tubos que contienen gas a baja presión, sometidos a un alto voltaje.

En el caso de soluciones electrolíticas, los iones positivos o cationes y los iones negativos o aniones, integran la corriente eléctrica, así como en las sales fundidas.

En los conductores sólidos como son los metales, la corriente eléctrica está constituida por electrones en movimiento, de aquí que, a la corriente eléctrica en sólidos se le llame: Flujo Electrónico, de acuerdo con la teoría electrónica.

Nuestro estudio versará precisamente sobre el flujo electrónico a través de conductores sólidos, como son: alambres y cables.

Hay dos tipos de corriente eléctrica: La corriente directa y la corriente alterna.

La corriente directa consiste en; el movimiento de portadores de carga en un solo sentido.

La corriente alterna consiste en: el movimiento de portadores de carga en un sentido y en otro, es decir, que el sentido cambia con respecto al tiempo.

Graficamente podemos representar los dos conceptos anteriores de la siguiente manera:

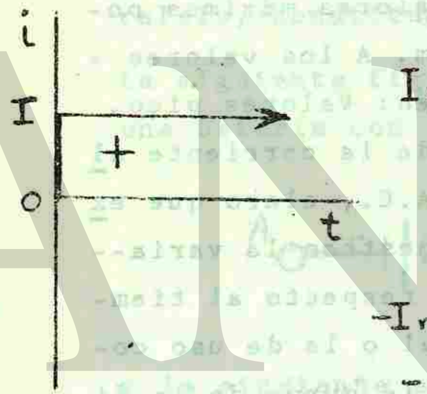


Fig. 2-10-1

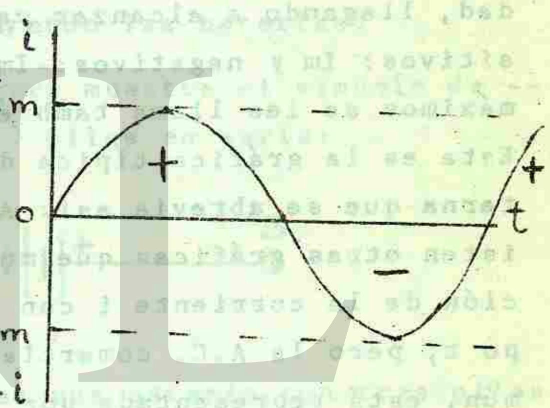


Fig.2-10-2

En las figuras; 2-10-1 y 2-10-2, en el eje Y se ha colocado la i que representa a la corriente instantánea y en el eje X al tiempo t.

Se puede apreciar en la figura 2-10-1, que i adquiere un solo valor; I, el cual no cam-

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

bia de valor y polaridad a través del tiempo, viajando en un solo sentido como lo indica la flecha. Esta es la gráfica característica de la corriente directa, la cual se abrevia así: C.D.

En la gráfica de la figura 2-10-2, se puede apreciar que la corriente i está cambiando continuamente de valor y de signo o polaridad, llegando a alcanzar valores máximos positivos: Im y negativos: -Im. A los valores máximos se les llama también: Valores pico. Esta es la gráfica típica de la corriente alterna que se abrevia así: A.C., claro que existen otras gráficas que muestran la variación de la corriente i con respecto al tiempo t, pero la A.C. comercial o la de uso común, está representada por la curva de la figura 2-10-2.

Las unidades de la corriente en el sistema M.K.S. son los amperes, ya sea C.D. o A.C.

Las fuentes o manantiales de la corriente directa son: Las pilas secas, las baterías secas, los acumuladores, los generadores y los alternadores con rectificador.

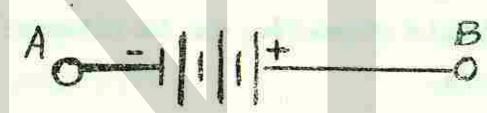
A las pilas secas y baterías secas se les llama también: Pilas y baterías primarias, respectivamente.

A los acumuladores que están constituídos por una o más pilas húmedas se les llama: Pilas secundarias.

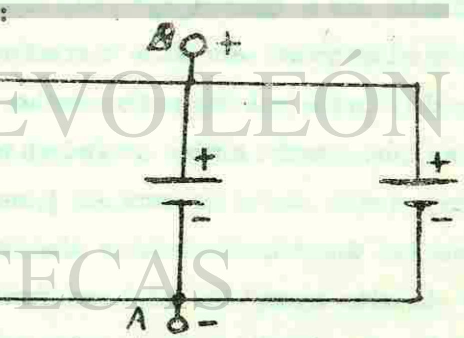
El símbolo de una pila es:

Las pilas pueden conectarse en serie o en paralelo, constituyendo las baterías.

La siguiente figura muestra el símbolo de una batería con 3 pilas en serie:



y la siguiente es una batería con tres pilas en paralelo:

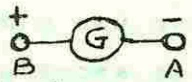


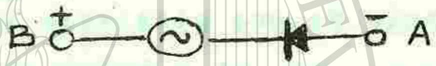
Los símbolos anteriores pueden representar a

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

las pilas y baterías secas, y húmedas.

Los extremos A y B de cada símbolo, son las conexiones también llamadas: contactos, terminales o bornes.

El símbolo de un generador es:  y el de un alternador con rectificador es: ---



Otro nombre muy común que reciben las terminales de; una pila, batería, generador o alternador con rectificador, es el de: Polos, y así se habla de un polo positivo como B y de un polo negativo como A, por eso a la corriente directa también se le llama: corriente polarizada.

La corriente alterna se obtiene de Máquinas electromecánicas llamadas: Alternadores, cuyo símbolo es: , los cuales no -- tienen polaridad en sus terminales o bornes, porque durante su funcionamiento, las polaridades están cambiando continuamente. Por --- ejemplo, la A.C. comercial puede ser de una frecuencia de 60 ciclos o de 50 ciclos, ésto quiere decir que, la polaridad o sentido de la corriente cambia 60 veces cada segundo o

50 veces cada segundo. La obtención de corriente directa a partir de estos alternadores, se logra conectándoles uno o más dispositivos llamados: Rectificadores.

El estudio del flujo electrónico se reducirá exclusivamente a la corriente directa.

2-11 FUERZA ELECTROMOTRIZ Y DIFERENCIA DE POTENCIAL.- Se dijo que las fuentes de corriente directa, sean pilas o baterías, cuentan con dos bornes o polos, uno positivo y el otro - negativo, pués bién, se ha establecido que - el borne positivo está a un potencial eléctrico superior al potencial eléctrico del -- borne negativo.

Cuando la pila o la batería están en uso, entre sus bornes existe una diferencia de potencial eléctrico, gracias a la cual, la --- fuente de corriente directa surte de electricidad a los elementos eléctricos conectados a ellos, que pueden ser: un foco, una plancha, un motor, un radio etc. Si representamos al potencial eléctrico con la letra V en general, entonces, la diferencia de potencial eléctrica se puede expresar así: $V_b - V_a$ o

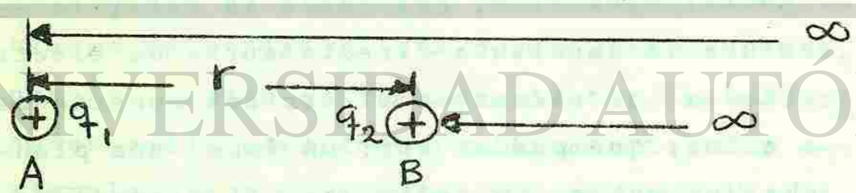
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

o bién $V_a - V_b$, indicando a y b, a los bornes - positivo o negativo.

La fuerza electromotriz, es el nombre espe-- cial que se le dá a la diferencia de poten-- cial eléctrico de una pila o bateria, cuando no está en operación o en funcionamiento. La fuerza electromotriz la representaremos así: Fem y Eo.

Las unidades del potencial eléctrico, de la diferencia de potencial eléctrico o de la -- Fem, son los Voltios o Volts, en el sistema M.K.S.

El potencial eléctrico se define como: La -- energía gastada para traer una carga unidad positiva desde el infinito hasta un punto de terminado del espacio. Por ejemplo;



La carga q_1 está a un potencial eléctrico -- V_A y la carga q_2 está a otro potencial eléc- trico V_B. Las dos cargas fueron traídas des-

de el infinito: ∞

Entre las cargas q_1 y q_2, existe una diferen cia de potencial eléctrico dada por: $V_A - V_B$. Naturalmente que $V_A - V_B$ se hará más pequeña - a medida que la distancia r que las separa, se hace cada vez menor de modo que: $V_A - V_B = 0$, cuando q_1 y q_2, coinciden o se empalmen.

La energía gastada en cada carga para traer- la desde el infinito hasta el punto A o B, - se puede expresar en términos del trabajo me cánico empleado para traerlas, dividido en-- tre el valor de la carga, o sea:

$$V = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Carga}} = \frac{\text{Energía}}{\text{Unidad de Carga}}$$

Si operamos en el sistema M.K.S., las unida- des del trabajo mecánico serán los joules y de la carga serán los Coulombs, de modo que las unidades del potencial eléctrico en di-- cho sistema serán: $\frac{\text{Joules}}{\text{Coul}}$, estableciéndose que:

$$1\ \frac{\text{Joule}}{\text{Coul}} = 1\ \text{Volt}$$

La Fem de una batería construída con pilas - en serie, es igual a la suma de las Fem de -

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

cada una de las pilas, o sea:

$$Fem = (Fem)_1 + (Fem)_2 + (Fem)_3 + \ldots \quad 2\text{-}11\text{-}1$$

La siguiente figura muestra una batería con dos pilas en serie y sus Fem:

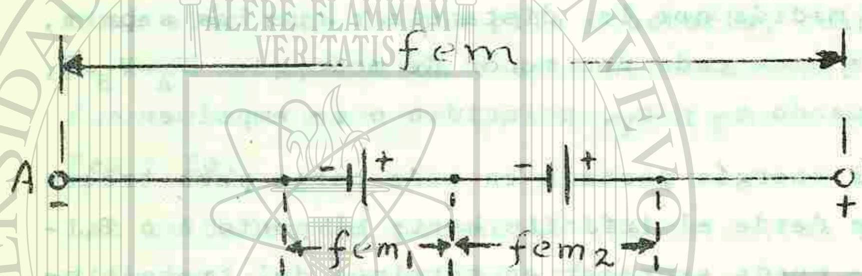


Fig. 2-11-1

Cuando se conectan 2 o más pilas en paralelo, deberán de ser de la misma Fem, de tal manera que la Fem de la batería resultante será la misma que la Fem de cualesquiera de las pilas:

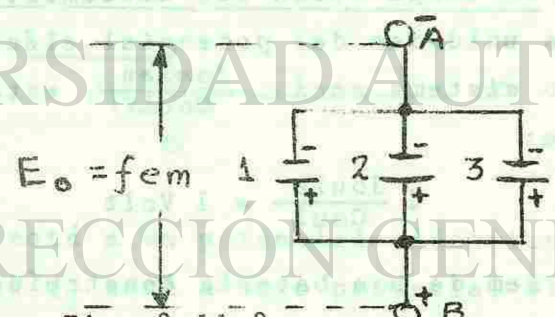


Fig. 2-11-2

En ésta figura: $Fem = (Fem)_1 = (Fem)_2 = (Fem)_3$, siendo la Fem, la fuerza electromotriz de la batería con sus pilas en paralelo.

Al conectar las pilas en serie es con el fin de obtener mayor Voltaje de salida o mayor Fem.

Al conectar las pilas en serie es con el fin de aumentar o contar con suficiente suministro de electricidad o energía eléctrica.

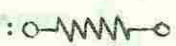
Recuerda que la Fem o Eo, es el Voltaje de una pila o de una batería, sin operar o sin trabajar., y que la diferencia de potencial: $V_B - V_A$ representa la diferencia de potencial o Voltaje entre los bornes de la pila o de la batería en operación.

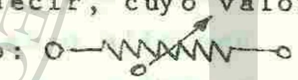
2-12 RESISTENCIA ELECTRICA.- Todos los materiales presentan cierta oposición al paso de la corriente eléctrica, unos más que otros, pero no existe un material que a condiciones ordinarias permita el paso libre a la electricidad. Sin embargo, a muy bajas temperaturas se ha observado este fenómeno: El mercurio abajo de 4 ^oK, permite el paso libre de la corriente eléctrica, por lo que se dice que

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

actúa como un superconductor.

La resistencia eléctrica es una propiedad general de la materia, que se define así: Es la oposición al paso de la corriente eléctrica.

La resistencia eléctrica se representa con la letra R y su símbolo general es: , aunque también se usa éste otro:  .

Cualesquiera de los dos símbolos representa a una resistencia fija, es decir, cuyo valor no cambia. Este otro símbolo:  o éste otro:  , representan a una resistencia variable, es decir, una resistencia cuyo valor puede cambiarse, según las necesidades.

Las unidades de la resistencia eléctrica en el sistema M.K.S., es el ohm, representándose con la letra griega omega: Ω .

La resistencia específica llamada: Resistividad, se representa con la letra griega ρ , siendo sus unidades: ohm-metro. Esta resistencia varía su valor conla temperatura, de una manera apreciable, es decir, que la temperatura influye notablemente en su valor, de ahí la necesidad de mencionar la temperatura en que se hace la medición de una resistencia. Por lo general, la resistividad aumenta con la temperatura, por lo que, también aumentará la resistencia.

En esta unidad no trataremos el caso del cambio de la resistencia con la temperatura.

La siguiente tabla, muestra los valores de la resistividad eléctrica ρ , de diferentes materiales a 20°C.

T A B L A 2-12-1

MATERIAL	RESISTIVIDAD: ρ ohm - metro
Aluminio	2.8×10^{-8}
Cobre	1.7×10^{-8}
Hierro	1.0×10^{-7}
Manganina	4.4×10^{-7}
Niquel	7.8×10^{-8}
Plata	1.6×10^{-8}
Acero	1.8×10^{-7}
Tungsteno	5.6×10^{-8}

La resistencia eléctrica de un conductor ---

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

eléctrico depende de: su longitud, de su resistividad y de su área de flujo eléctrico, o sea;

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad \text{......} \quad 2\text{-}12\text{-}1$$

En el sistema M.K.S., R estará expresada en ohms, ℓ en metros y A en metros cuadrados.

Las resistencias pueden conectarse en serie o en paralelo, como las pilas.

a) Resistencias en serie: Se colocan una tras otra, según la siguiente figura:

Fig. 2-12-1

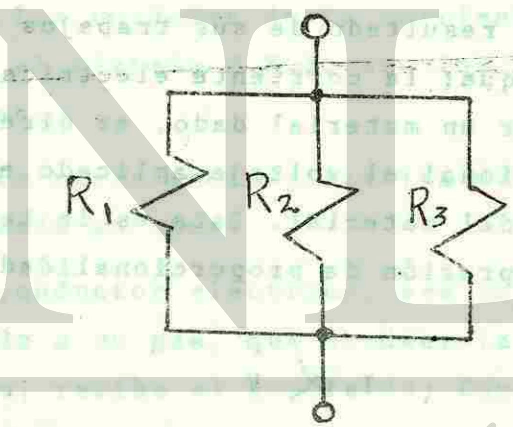
Las tres resistencias pueden ser sustituidas por una sola, llamada: Resistencia equivalente. Esta resistencia equivalente debe trabajar igual que las tres resistencias que sustituye.

La resistencia equivalente en serie está dada por la ecuación:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \text{.......} \quad 2\text{-}12\text{-}2$$

Esta es una suma escalar.

b) Resistencias en Paralelo: Se colocan igual que las pilas en paralelo, según la siguiente figura:



La ecuación para encontrar el valor de la resistencia equivalente de dos o más resistencias en paralelo es:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \quad \text{....} 2\text{-}12\text{-}3$$

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Recuerda que la resistencia equivalente, es aquella resistencia que hace el mismo trabajo que las resistencias que sustituye.

Las resistencias eléctricas no tienen polaridades, por tal motivo no hay cuidado en sus conexiones, como sucede con las pilas.

2-13 LEY DE OHM.- El investigador Simon Ohm, obtuvo como resultado de sus trabajos experimentales, que: la corriente eléctrica I que circula por un material dado, es directamente proporcional al voltaje aplicado en los extremos del material. Esta es la Ley de Ohm, cuya expresión de proporcionalidad está dada por:

$$I \propto V$$

Esta proporcionalidad se convierte en ecuación al introducir una constante de proporcionalidad: $\frac{1}{R}$, que resultó ser, el inverso de la resistencia del material, o sea:

$$I = \frac{1}{R} V$$

Esta ecuación es más comunmente conocida en ésta otra forma:

$$V = I\ R \quad .... \quad 2\text{-}12\text{-}4$$

V representa el voltaje, que no es otra cosa que, la diferencia de potencial aplicada entre los extremos del material, expresada en Volts.

I es la corriente que circula por el material. Las unidades de la corriente eléctrica en el sistema M.K.S. son los: Amperios o Amperes.

R es la resistencia eléctrica del material expresada en ohms.

Todo conductor eléctrico, sea un sólido, un líquido o un gas, que obedece la ecuación de ohm, recibe el nombre de: Conductor ---- ohmico.

2-14 CIRCUITOS ELECTRICOS.- Un circuito eléctrico simple está constituído por: Una pila o una batería, un conductor eléctrico, un interruptor o switch y una carga eléctrica como lo es la resistencia de un foco o de una

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ® DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

plancha. El siguiente esquema muestra un circuito eléctrico simple:

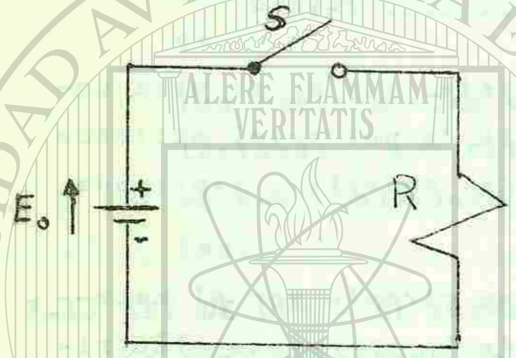


Fig. 2-14-1

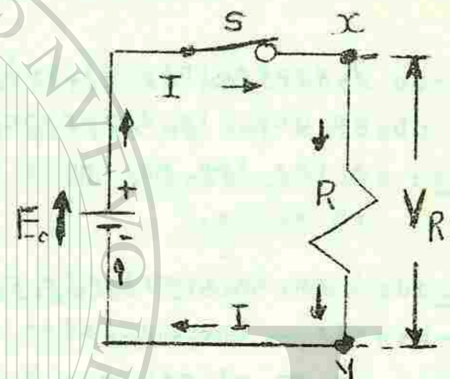


Fig. 2-14-2

En la primer figura el circuito está abierto, pués el interruptor S así lo demuestra. La pila está sin trabajar.

En la segunda figura, al cerrar el interruptor S, fluye la corriente I la cual sale del polo positivo dela pila, pasa por el interruptor y por la resistencia para regresar al polo negativo de la pila.

El paso de la corriente I por la resistencia R ocasiona un voltaje: V_R, dado por la ecuación de ohm:

$$V_R = I\ R$$

En el circuito simple, el voltaje en la resistencia es igual a la Fem de la pila o de la batería. Entonces:

$$V_R = E_o = \text{Fem}$$

El paso de la corriente eléctrica a través de cualquier resistencia produce un calentamiento en ella, es decir, hay una transformación de energía eléctrica a energía calorífica en la resistencia.

La rapidez con que se caliente una resistencia eléctrica con respecto al tiempo, se llama: Efecto de Joule o efecto de calentamiento de joule. Este efecto representa una potencia eléctrica, dada por las ecuaciones:

$$P = I^2 R \ \ldots\ldots\ 2\text{-}14\text{-}1$$

$$P = \frac{V^2}{R} \ \ldots\ldots\ 2\text{-}14\text{-}2$$

Cuando I está dada en Amperes, V en Volts

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

y R en ohms, las unidades de la potencia P serán los Watts. Recuerda, I es la corriente que circula por la resistencia R y V es el voltaje en la resistencia también llamado: Caida de Voltaje de la resistencia.

En el circuito simple de las figuras 2-14-1 y 2-14-2, se ha considerado que la pila no tiene resistencia en su interior. Esto es válido cuando la pila o la batería son nuevas. Sin embargo, durante su uso la resistencia interna va en aumento, dando lugar a que la diferencia de potencial entre los bornes de la pila o de la batería disminuya con el uso, quedando finalmente inservible. Sin embargo la Fem o E_o, no es afectada.

El siguiente circuito muestra a la pila -- con su resistencia interna r. El circuito ya no se considera simple, pués ya cuenta con dos resistencias, r y R: En serie con la pila.

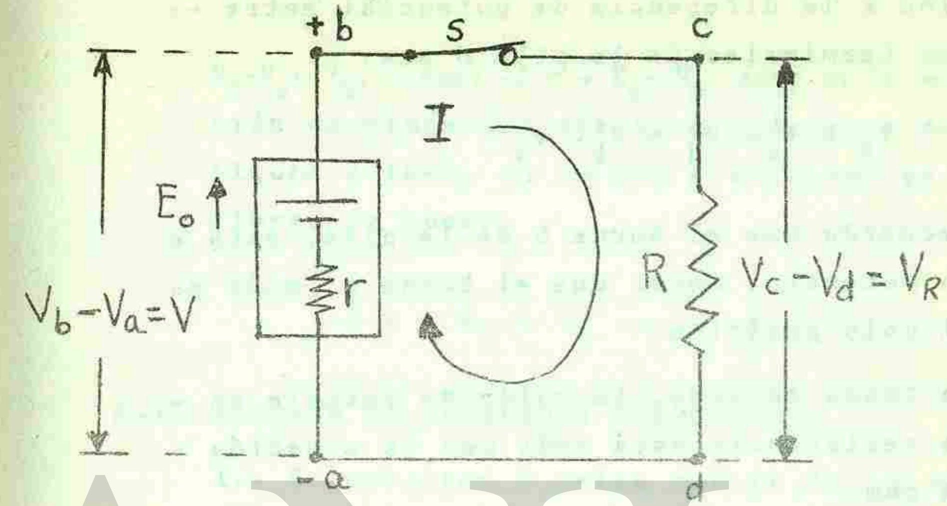


Fig. 2-14-3

Ahora, la corriente I que circula por todo el circuito a favor de las manecillas del reloj, pasa por el interior de la resistencia interna r de la pila y por la resistencia R del circuito.

Como se puede apreciar, el circuito se complicó por la presencia de la resistencia - interna r de la pila.

Ahora, la caida de voltaje en la resistencia R ya no es igual a la Fem de la pila,

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

sino a la diferencia de potencial entre -- las terminales de la pila o sea:

$$V_R = V_c - V_d = V_b - V_a$$

Recuerda que el borne b de la pila, está a un potencial mayor que el borne a, pués es el polo positivo.

De todas maneras, la caida de voltaje en - la resistencia está dada por la ecuación - de ohm:

$$V_R = I\ R$$

Como la resistencia interna r de la pila - y su Fem están en serie, entonces sus voltajes se pueden sumar para obtener la diferencia de potencial entre sus polos, o --- sea:

$$-I\ r + E_o = V_b - V_a$$

-I r es una caida de voltaje en la resis-- tencia interna de la pila y E_o es su Fem. $V_b - V_a$, nos dá la diferencia de potencial - entre los bornes de la pila.

Igualando el voltaje de la resistencia R -

con $V_b - V_a$, tenemos:

$V_b - V_a = V_R$, o sea: $-I\ r + E_o = V_R$, ésta es la ecuación completa del circuito eléctrico de la figura 2-14-3, en lo que a voltajes se refiere. De nuevo:

$$-I\ r + E_o = V_R \ \ldots\ldots\ 2\text{-}14\text{-}3$$

2-15 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.-

1.- Se conectan 5 pilas nuevas de 1.5 Volts cada una, en serie. Calcular la Fem de la batería resultante:

Solución.- Como la Fem resultante de - una batería formada por pilas en se--- rie, es igual a la suma escalar de las Fem de cada una de ellas; entonces:

Fem = 1.5+ 1.5+ 1.5+ 1.5+1.5=7.5 Volts

2.- Se tienen dos baterías, una de 6 Volts y otra de 9 Volts, ¿Qué voltaje o Fem de salida, se tendrá al conectarse en serie?

Solución.- De nuevo:

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Fem = $(Fem)_1 + (Fem)_2 = 6 + 9 = 15$ Volts

3.- ¿Qué resistencia eléctrica tendrá un alambre de aluminio cuya longitud es de 50 metros, con un diámetro de 0.5 cm a 20°C?

Solución.- Los datos son: ℓ=50M D=0.5 cm, y acudiendo a la tabla 2-12-1, encontramos que la resistividad ρ del Aluminio a 20°C es: $2.8 \times 10^{-8}\ \Omega$ - M.

Podemos aplicar la ecuación: $R = \rho \frac{\ell}{A}$ pero antes, hemos de convertir los centímetros del diámetro a metros, o sea: D= .5 cm = 5×10^{-3} M, pués recuerda que solamente trabajaremos con el sistema M.K.S., en todos los problemas.

Ahora calcularemos el área A de flujo eléctrico. Como se nos dá un diámetro, quiere decir que el área A es circular, por lo tanto, el área de un circulo está dado por: $A = \frac{\pi D^2}{4}$ y sustituyendo:

$$A = \frac{3.1416\ (5X10^{-3})^2}{4} = 1.963 \times 10^{-5}\ M^2$$

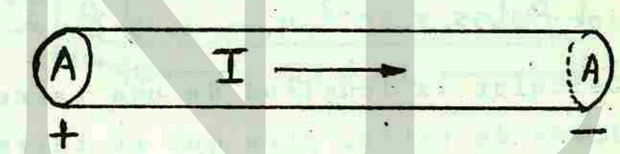
y empleando la ecuación: $R = \rho \frac{\ell}{A}$, sustituyendo:

$$R = 2.8 \times 10^{-8}\ \frac{50}{1.963X10^{-5}} = 7.132X10^{-2}\ \Omega,$$

o bién, $R = .07132\ \Omega$

Esta será la resistencia del alambre de Aluminio. Como se puede notar, es una resistencia muy pequeña.

El alambre puede representarse así, haciendo resaltar su área de flujo A, por la cual circula la corriente eléctrica:



4.- ¿Qué diámetro ha de tener un alambre de hierro de 300 metros, para que su resistencia sea de 0.10 ohms a 20°C?.

Solución.- Datos: ℓ = 300 M, R = .10 Ω, la resistividad ρ del hierro de acuerdo con la tabla 2-12-1, es: $\rho = 1X10^{-7}\ \Omega$ -M., usando la ecuación: $R = \rho \frac{\ell}{A}$ y despejando el área A de flujo: $A = \frac{\rho \ell}{R}$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

y sustituyendo:

$$A = \frac{1 \times 10^{-7} \times 300}{0.10} = 3 \times 10^{-4}\ M^2$$

El área de un circulo es: $A = \frac{\pi D^2}{4}$, despejando; $4A = \pi D^2$, $\frac{4A}{\pi} = D^2$, ---------

$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$, y sustituyendo:

$$D = \sqrt{\frac{4\ (3 \times 10^{-4})}{3.1416}} = 3.82 \times 10^{-4} = 1.95 \times 10^{-2}\ M$$

El diámetro del alambre de hierro ha de --- ser: 1.95×10^{-2} M, o 1.95 Cm.

5.- Calcular la longitud de una barra cuadrada de cobre, para que su resistencia sea de $0.05\,\Omega$ a 20°C, si su área de flujo tiene 1 Cm de lado.

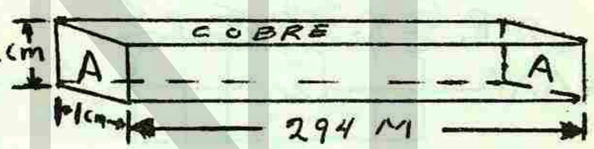
Solución.- Datos: $R = 0.05\,\Omega$, la resistividad ρ del cobre a 20°C es de ------ $1.7 \times 10^{-8}\,\Omega$-M, de acuerdo con la tabla 2-12-1, como el área de flujo es cuadrada, la fórmula del área de un -- cuadrado es: $A = l^2$ siendo l la longitud de uno de sus lados, entonces: -

$A = l^2 = (1\ Cm)^2 = 1\ Cm^2 = 1 \times 10^{-4}\ M^2$

Usando la ecuación, $R = \rho \frac{l}{A}$, y despejando $l = \frac{RA}{\rho}$ y sustituyendo:

$$l = \frac{.05 \times 1 \times 10^{-4}}{1.7 \times 10^{-8}} = .0294 \times 10^4\ M = 294\ M$$

es decir, la barra de cobre debe tener una longitud de 294 M., su representación es:



6.- Se tienen 4 resistencias eléctricas: - $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 60\,\Omega$, $R_3 = 100\,\Omega$ y - $R_4 = 40\,\Omega$. Encontrar la resistencia equivalente al conectarse (a) En serie (b) En paralelo.

Soluciones: (a) Como las resistencias - están en serie, se aplicará la ecua---

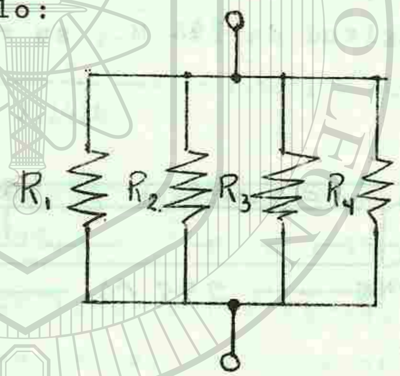
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ción 2-12-2:

$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$, y sustituyendo:

$R_{eq} = 10 + 60 + 100 + 40 = 210\ \Omega$

(b) Al conectarse las cuatro resistencias en paralelo:



usaremos la ecuación 2-12-3:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$ y sustituyendo:

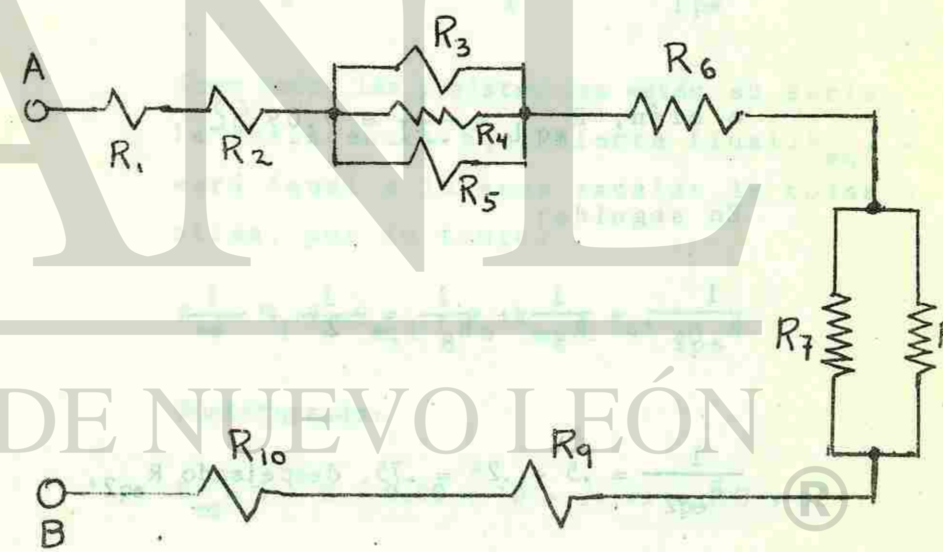
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{60} + \frac{1}{100} + \frac{1}{40}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = 0.10 + .0166 + .010 + .025$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = .1516, \text{ despejando } R_{eq};$$

$$R_{eq} = \frac{1}{.1516} = 6.596\ \Omega$$

7.- Simplificar el siguiente circuito de resistencias en serie-paralelo:



$R_1 = 5\ \Omega$, $R_2 = 8\ \Omega$, $R_3 = 20\ \Omega$, $R_4 = 50\ \Omega$, $R_5 = 25\ \Omega$

$R_6 = 10\ \Omega$, $R_7 = 2\ \Omega$, $R_8 = 4\ \Omega$, $R_9 = 100\ \Omega$, y --

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$R_{10} = 50\ \Omega$

Solución.- Primero se calculan las resistencias equivalentes de los circuitos de resistencias en paralelo:

$$\frac{1}{R_{eq\,1}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{20} + \frac{1}{50} + \frac{1}{25}$$

$$\frac{1}{R_{eq\,1}} = .05 + .02 + .04 = .11$$

o bién, $R_{eq\,1} = \frac{1}{.11} = 9.09\ \Omega$

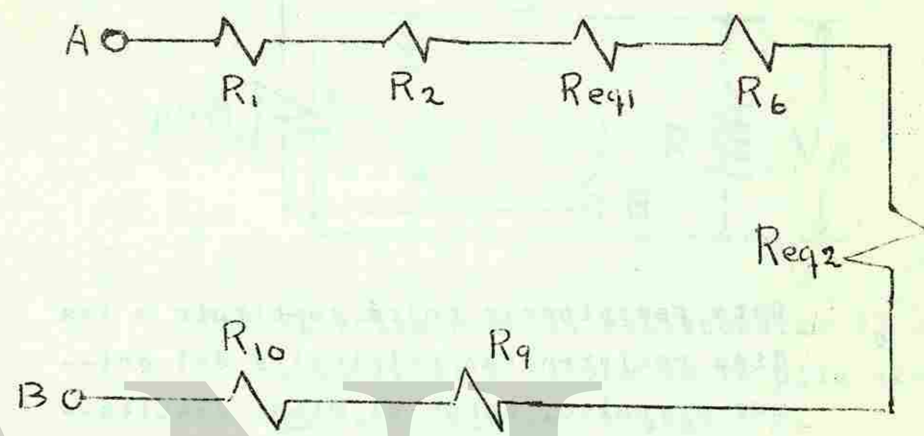
En seguida:

$$\frac{1}{R_{eq2}} = \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4}$$

$\frac{1}{R_{eq2}} = .5 + .25 = .75$, despejando R_{eq2},

$$R_{eq2} = \frac{1}{.75} = 1.333\ \Omega$$

El circuito original se simplificará así:



Como todas las resistencias están en serie, la Resistencia equivalente final: R_{eq}, - será igual a la suma escalar de todas - ellas, por lo tanto:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_{eq\,1} + R_6 + R_{eq2} + R_9 + R_{10},$$

Sustituyendo:

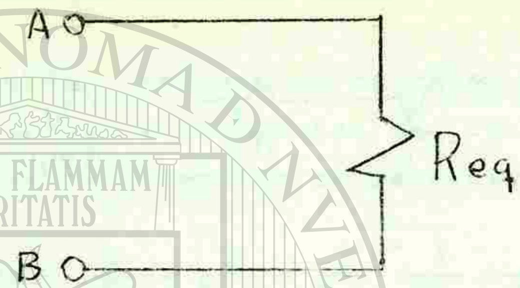
$$R_{eq} = 5 + 8 + 9.09 + 10 + 1.333 + 100 + 50$$

$$R_{eq} = 183.423\ \Omega$$

El circuito anterior se podrá representar

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ahora:

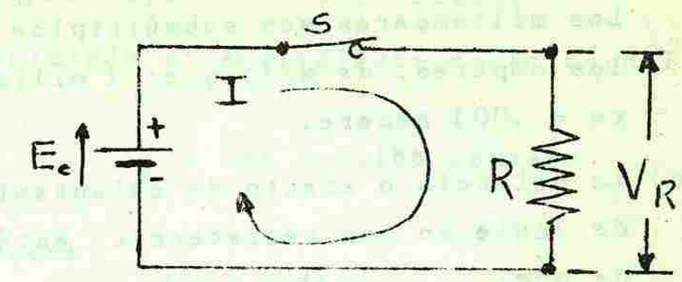


Esta resistencia podrá sustituir a las diez resistencias originales del primer circuito, dando el mismo resultado.

8.- Una resistencia de 20 ohms se conecta a una pila seca de 1.5 Volts constituyendo un circuito simple.

Calcular (a) El voltaje en la resistencia, (b) la corriente que circula por la resistencia (c) la potencia de la resistencia (d) la energía calorífica transmitida por la resistencia durante 4 horas.

Solución.- Como se trata de un circuito simple, no se considerará la resistencia interna r, de la pila, o sea, el circuito será:



(a) El voltaje en la resistencia: V_R será igual a la Fem de la pila según el circuito, o sea:

$$V_R = E_o = 1.5 \text{ Volts}$$

(b) Para calcular la corriente que pasa por la batería, usaremos la ecuación de ohm: V = I R, y despejando: I, y sustituyendo:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1.5}{20} = .075 \text{ Amperes},$$

o también I = 75 miliamperes

Recuerda que en el sistema M.K.S. la unidad de corriente eléctrica

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

son los Amperes.

Los miliamperes son submúltiplos de los amperes, de modo que: 1 miliampere = .001 Ampere.

(c) La potencia o efecto de calentamiento de Joule en una resistencia, está dada por:

$P = I^2 R$ o bién, $P = \frac{V^2}{R}$, se puede usar cualquiera de las dos fórmulas, pués tenemos los datos necesarios, dando el mismo resultado.

Pués bién, se usará la primera y sustituyendo:

$P = (.075)^2 (20) = .1125$ Watts

Recuerda que la corriente debe estar expresada en Amperes.

(d) Como la potencia en general está dada por: $P = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{Energía Mecánica}}{\text{Tiempo}}$, entonces despejamos Energía Mecánica:

Energía Mecánica = P tiempo, el tiempo debe estar en segundo, sustituyendo:

Energía mecánica = Pt = .1125 X 4 X 3600

Energía mecánica = 1620 Joules

y empleando el equivalente mecánico del calor:

1 Cal = 4.186 Joules

entonces:

$$\frac{1620 \text{ Joules}}{4.186 \frac{\text{Joules}}{\text{Cal}}} = 387 \text{ Cal}$$

Por lo tanto, la Energía Mecánica transformada a energía calorífica en la resistencia será igual a: 387 calorías.

9.-Una batería seca y usada cuya Fem es de 6 Volts, hace circular por una resistencia externa de 11 ohms, una corriente de 0.5 Amperes. Determinar el valor de su resistencia interna así como la potencia total gastada por la batería.

Soluciones.- Datos: $E_o = 6$ Volts, $R = 11\Omega$, I = 0.5 Amp. usando la ecuación 2-14-3: $-I r + E_o = V_R$, y despejando r: $-I r = V_R - E_o$, $I r = E_o - V_R$, $r = \frac{E_o - V_R}{I}$, pero $V_R = IR$, en tonces:

$$r = \frac{E_o - IR}{I} = \frac{6-0.5(11)}{0.5} = \frac{6-5.5}{0.5} = \frac{0.5}{0.5} = 1$$

La resistencia interna de la batería será de 1.0 ohms.

Ahora calcularemos la potencia de cada resistencia:

$$P_r = I^2 r = (0.5)^2\ 1 = .25 \text{ Watts}$$

$$P_R = I^2 R = (0.5)^2\ 11 = 2.75 \text{ Watts}$$

La potencia total será la suma de las dos potencias;

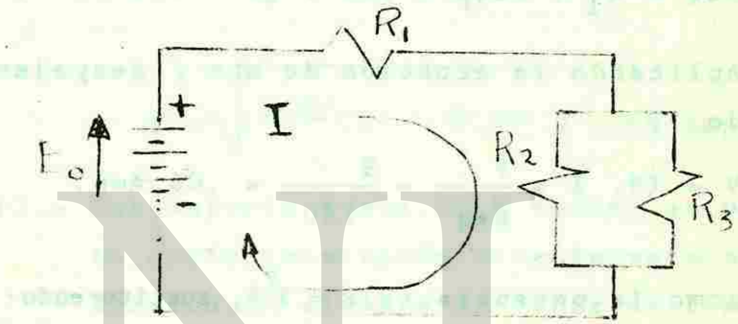
$$P = P_r + P_R = .25 + 2.75 = 3.0 \text{ Watts}$$

10.-¿De que Wattaje o potencia ha de ser una resistencia de 750 Ω, para poder conectar a un acumulador nuevo de 12 Volts?

Solución.- Datos: R = 750 Ω, Fem=12 Volts, P = ? con estos datos es suficiente, pués; $P = \frac{V^2}{R}$, y sustituyendo:

$$P = \frac{(12)^2}{750} = \frac{144}{750} = 0.192 \text{ Watts}$$

11.- Calcular la potencia consumida en una batería nueva de 9 Volts, en el siguiente circuito serie paralelo:



Sí $R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = 100\ \Omega$ y $R_3 = 100\ \Omega$

Solución.- Calcularemos primero la resistencia equivalente del circuito. Como R_2 y R_3 están en paralelo;

$$\frac{1}{R_{eq\,1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{R_{eq\,1}} = 0.01 + 0.01 = 0.02$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

$$Req1 = \frac{1}{0.02} = 50\ \Omega$$, ésta resistencia ---- equivalente estará en serie con R_1, por lo tanto, la resistencia equivalente final será la suma escalar de R_1 y $Req1$; -

$$Req = R_1 + Req1 = 100 + 50 = 150\ \Omega \quad .$$

Aplicando la ecuación de ohm y despejando I;

$$V = IR, \quad I = \frac{V}{Req} = \frac{9}{150} = .06 \text{ Amp.}$$

como la potencia es: $P = I^2R$, sustituyendo:

$$P = (.06)^2\ 150 = 0.54 \text{ Watts.}$$

12.- Un foquito de 2.5 Watts se conecta a -- una pila nueva de 1.5 Volts (a) ¿De --- cuánto es la resistencia del filamento de tungsteno de que está hecho el foquito? (b) ¿Qué corriente circula por la - resistencia del filamento?

Solución.- (a) Datos: $E_o = 1.5$ Volts, ------ $P = 2.5$ Watts, usando la ecuación ----- $P = \frac{V^2}{R}$ y despejando R:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(1.5)^2}{2.5} = \frac{2.25}{2.5} = 0.9\ \Omega$$

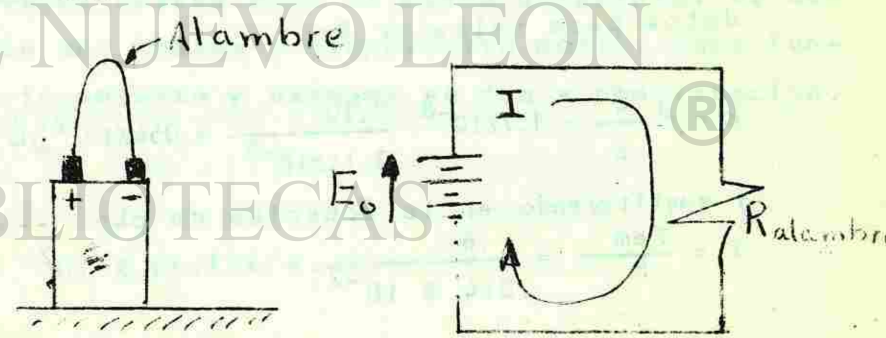
(b) Como: $P = I^2R$, despejaremos I:

$$I^2 = \frac{P}{R}, \quad I = \sqrt{P/R} \quad \text{y sustituyendo:}$$

$$I = \sqrt{2.5/.9} = 2.77 = 1.66 \text{ Amp.}$$

13.- Una batería nueva de 6 Volts, se pone - en corto conectando directamente sus polos con un alambre de cobre de 2 mm de diámetro y una longitud de 10 Cm. Encontrar la corriente que circulará por el alambre.

Solución.- El circuito resultante al poner la batería en corto, es el siguiente:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Con la ecuación de ohm: V = IR y despejando I, $I = \frac{V}{R} = \frac{Fem}{R}$. Se tiene la -- Fem de la batería, falta el valor de la resistencia R del alambre.

R del alambre la calcularemos a partir de: $R = \rho \frac{\ell}{A}$, como se nos dá el diámetro del alambre, entonces el área A de flujo eléctrico estará dada por:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.1416(.002)^2}{4} = 3.14X10^{-6} \ M^2$$

El diámetro D dado en mm se ha convertido a -- metros. O sea: D = 2.0 mm = .002 M.

La longitud del alambre es de 10 Cm, -- que convertidos a metros será: -------- ℓ = 10 Cm = 0.10 M, y como la resistividad del cobre según la tabla 2-12-1 - es: $\rho = 1.7 \times 10^{-8}\ \Omega$-M, tenemos ya los datos para calcular R:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} = 1.7X10^{-8} \ \frac{0.10}{3.14X10^{-6}} = .054X10^{-2}\Omega,$$

y sustituyendo en la ecuación de ohm: ---

$$I = \frac{Fem}{R} = \frac{6}{.054 \times 10^{-2}} = 111.11 \times 10^2$$

o sea, la corriente será: 11,111 Amperes.

2-16 INSTRUMENTOS ELECTRICOS.- Hemos visto como - se puede calcular el valor de una resisten-- cia eléctrica, el valor de la corriente que circula por la resistencia, el valor del voltaje en una resistencia, la potencia eléctrica consumida por la resistencia y la F.e.m. o la diferencia de potencial eléctrico de -- una pila o batería. Pués bién, existen otros métodos que no nocesitan del cálculo para determinar dichos valores, que consisten en el uso de instrumentos eléctricos tales como: - Los ohmetros, los amperímetros, Voltímetros, Wattímetros y los potenciemetros, cuyos nombres o títulos dan a entender lo que mide cada uno, excepto el potenciámetro que determina la f.e.m. de una pila o batería.

Todos los instrumentos anteriores sin excepción, operan bajo el mismo principio: El uso de una bobina o dispositivo móvil, cuyo funcionamiento y esquema se dan a continuación.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

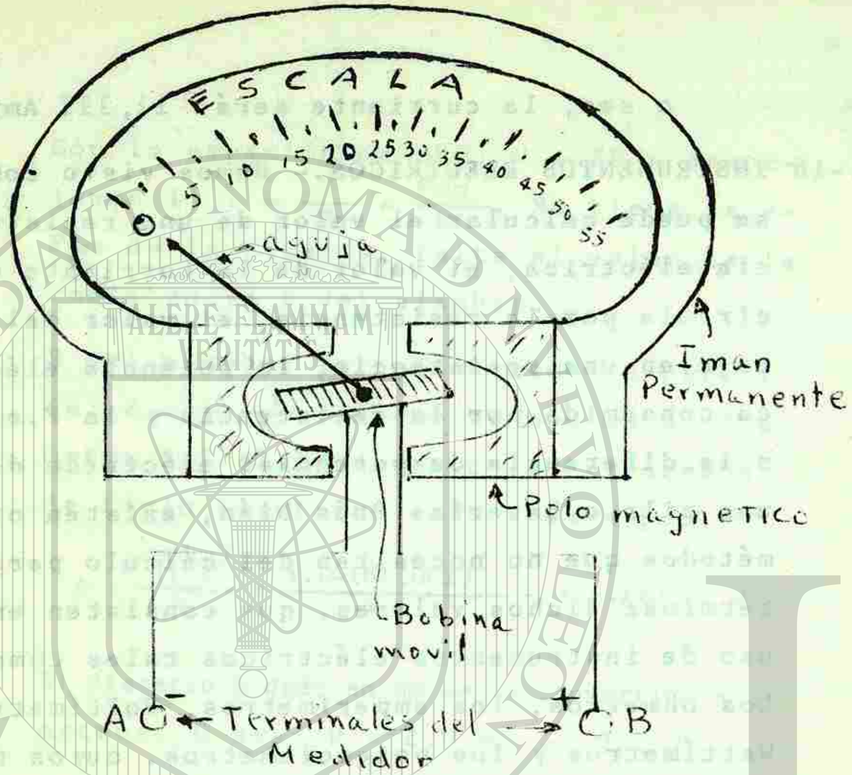


Fig. 2-16-1

La bobina en sí, consiste en un cilindro metálico permeable al flujo magnético, es decir, que permite el paso de las líneas magnéticas de un imán.

Alrededor del cilindro se arrolla un alambre muy fino de cobre cuyos extremos se conectan a las terminales o bornes del instrumento, los cuales actúan como polos eléctri

cos: A y B, en la figura 2-16-1. La bobina se puede representar así:

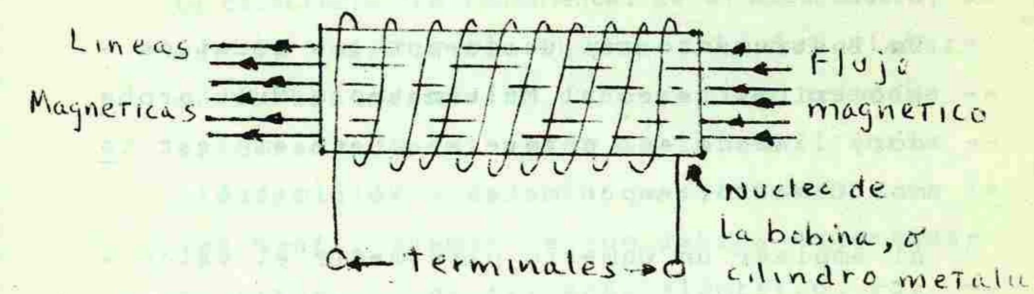


Fig. 2-16-2

Al conectarse el instrumento por sus polos a los extremos de un elemento eléctrico en general: Una resistencia, un foco, una pila, un motor, etc. Por la bobina pasará una débil corriente que hará que el núcleo de la bobina se magnetice y que interactúe magneticamente con los polos magnéticos del iman permanente de la figura 2-16-1, dando por resultado que la bobina gire así como la aguja que se encuentra fija a ella, indicando un valor dado en la escala de la carátu-

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

la del instrumento. Entre más sea la corriente que circula por el alambre de la bobina, mayor será el giro de ella y mayor será la lectura en su escala.

Un instrumento muy usado por los técnicos electricistas es el Multimetro o Multiprobador, llamado asi porque se puede emplear como: Ohmetro, amperímetro y Volfímetro.

Al emplear un Ohmetro para medir el valor de una resistencia eléctrica, debe tenerse cuidado de que esté desconectada del circuito o de que no pase corriente eléctrica por ella, es decir, que en sus extremos no haya una diferencia de potencial o voltaje, pués se deteriorará el aparato. Todo ohmetro debe traer en su interior sus propias pilas eléctricas para su funcionamiento. Como las resistencias eléctricas no tienen polaridad, nunca deberá pensarse en ésto al usar el ohmetro.

Al usar un amperímetro o un Voltímetro de C.D., deberá tomarse muy en cuenta la polaridad del elemento eléctrico a medir, pués de lo contrario el instrumento no dará lectura. Los amperímetros y Voltímetros traen marcadas las polaridades en sus terminales o bornes, para ser conectados correctamente.

La característica fundamental de un amperímetro, es que su resistencia interna: la del alambre de su bobina móvil, debe ser muy pequeña comparada con el valor de la resistencia eléctrica del elemento cuya corriente se desea medir. Además de que deberá conectarse en serie con el elemento eléctrico. Por ejemplo;

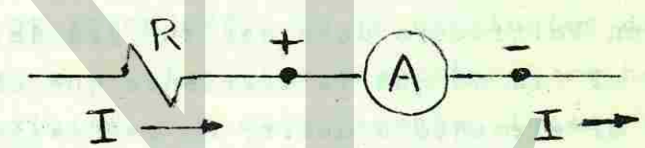


Fig. 2-16-3

La característica fundamental de un voltimetro es, que su resistencia interna deberá ser mucho mayor que la resistencia del elemento eléctrico cuyo voltaje se desea medir, además que deberá conectarse en paralelo con él. Por ejemplo:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

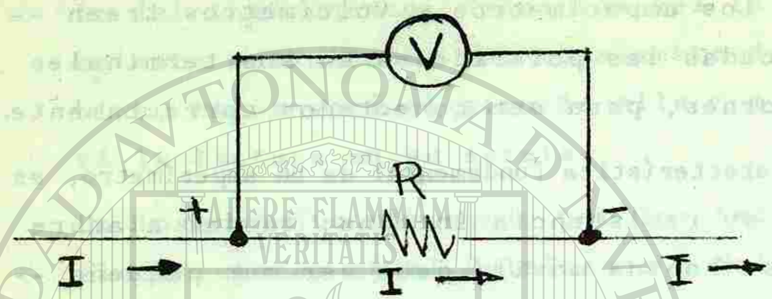


Fig. 2-16-4

La razón del porque la resistencia interna de un Voltímetro deba ser muy grande, es -- con el fin de que la corriente que circule por el elemento a medir, no se desvíe hacia el Voltímetro, pués de lo contrario la medición es incorrecta.

En el caso del amperímetro, su resistencia interna debe ser muy pequeña para permitir el fácil paso de la corriente que circula - por el elemento, pués de lo contrario la corriente disminuirá y la medición ya no sería la esperada.

Los ohmetros han de medir resistencias cu--

yos valores van desde décimas de ohms hasta millones de ohms.

En el caso de los medidores de corriente -- eléctrica, los hay que miden corrientes tan pequeñas como son: Microamperes (Microamperímetros), Miliamperes (Miliamperímetros), hasta amperes: Los amperímetros.

Los medidores de voltaje más comunes son: - Los milivoltímetros y los voltímetros, los primeros son para medir valtajes menores -- que la unidad y los segundos para medir voltajes entre 1 y 1000 Volts aprox.

2-17 LEYES DE KIRCHHOFF.- En la resolución de -- problemas de circuitos eléctricos, se hace necesario del uso de diferentes leyes, teorías y teoremas, encontrándose entre ellos las Leyes de Kirchhoff.

La primera Ley, llamada ley de las trayectorias o ley de Mallas, establece lo siguiente: La suma algebráica de los voltajes de - cada uno de los elementos eléctricos en una trayectoria cerrada, es igual a cero.

La trayectoria cerrada más sencilla es la -

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

que se sigue en un circuito simple.

Representamos una Malla o trayectoria cerrada con más elementos que en un circuito simple:

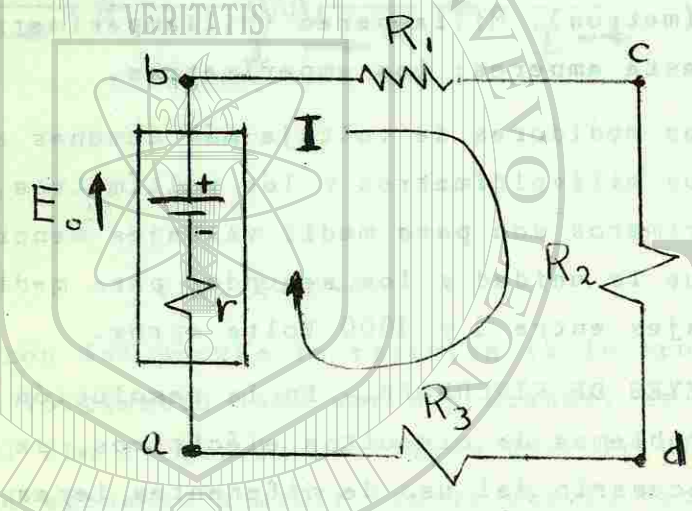


Fig. 2-17-1

Obsérvese que se está empleando una pila usada, porque se está incluyendo su resistencia interna: r.

El sentido de la corriente I ha de ser a favor de las manecillas del reloj, porque sale del polo positivo de la pila y ha de entrar por su polo negativo.

El punto b del circuito está cerca del polo positivo de la pila, por no decir que representa al borne o terminal positiva. Entre más cerca esté un punto del circuito, al polo positivo de la pila, su potencial eléctrico será más positivo o mayor. Así tenemos que el punto b es más positivo que el punto c, el c más que el d y así sucesivamente, de modo que al llegar al punto a, se dice ahora que es el menos positivo, pero será el más negativo. Recuerda que la corriente fluye de un potencial mayor (más positivo) a un potencial menor (menos positivo).

Cuando se pasa de un potencial positivo a un potencial menos positivo, se dice que hay una caída de voltaje o caída de potencial, por ejemplo: al pasar del punto b al c, del c al d, o del d al a.

En general, si vamos en el mismo sentido que la corriente, cada vez que pasemos por una resistencia habrá una caida de voltaje, pero al pasar por una pila: de su polo negativo al positivo, habrá una elevación de potencial o de voltaje, porque recuerda, que

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

al ir de menos a más significa: subir de -- voltaje.

De acuerdo a la ecuación de ohm: V=IR, V representa, al voltaje en la resistencia R al pasar a través de ella una corriente I. Pués bién, una caida de voltaje a través de una resistencia la representaremos así: -IR, y una caida de voltaje en una pila se representará así: $-E_o$.

Si vamos en sentido contrario al de la corriente (de menos a más), se tendrá una elevación de voltaje en una resistencia o sea: + IR. En una pila, una elevación de voltaje significa ir de su polo negativo al positivo, o sea: $+E_o$.

Todo lo anteriormente establecido lo aplicaremos en el circuito de la figura 2-17-1. - Comenzaremos en el punto b y seguiremos el sentido de la corriente, aplicando la primera ley de Kirchhoff:

$$-IR_1 - IR_2 - IR_3 - Ir + E_o = 0 \quad \ldots\ldots 2\text{-}17\text{-}1$$

Recuerda que el producto de IR es un voltaje, y como seguimos el sentido de la co----

rriente I, cada voltaje es una caida de potencial, por eso se usa el signo negativo - en cada voltaje, excepto que al llegar a la pila, tuvimos que pasar del polo negativo - al polo positivo, esto es: Una elevación de voltaje, por eso el signo positivo de la -- fem. E_o., toda la suma algebráica se hizo - igual a cero, porque así lo establece la -- primera ley de Kirchhoff, pués partimos del punto b y llegamos al punto b, es decir, se cerró la trayectoria.

Ahora sigamos un sentido en contra de la corriente, comenzando en el punto a, obteniéndose una ecuación semejante a la ecuación - 2-17-1, pero con los signos cambiados, es - decir:

$$IR_3 + IR_2 + IR_1 - E_o + Ir = 0 \quad \ldots\ 2\text{-}17\text{-}2$$

Como fuimos en contra de la corriente, en - cada resistencia hubo una elevación de voltaje, por eso los signos positivos, excepto en la pila que fué una caida de voltaje porque pasamos del polo positivo al negativo, al ir en contra de la corriente I.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Se puede partir de cualesquier punto del circuito y seğuir una trayectoria cerrada y obtendremos las mismas ecuaciones que las anteriores.

Una de las aplicaciones de la primera Ley de Kirchhoff es:

Encontrar la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualesquiera del circuito, por ejemplo, que se desea saber la diferencia de potencial entre los puntos b y a, de la pila o del circuito. Si comenzamos en el punto b y seguimos la corriente I hasta llegar al punto a, sin cerrar el circuito o la malla, tenemos:

$$V_b - IR_1 - IR_2 - IR_3 = V_a$$

o bién: $V_b - V_a = IR_1 + IR_2 + IR_3$ 2-17-3

también podemos comenzar en el punto a, seguir la corriente I y terminar en el punto b, pasando por r y por la pila:

$$V_a - Ir + E_o = V_b$$

o bién: $V_b - V_a = E_o - Ir$ 2-17-4

$V_b - V_a$ en una ecuación, es igual a $V_b - V_a$ de la otra ecuación, es decir que son iguales:

$$IR_1 + IR_2 + I_3 = E_o - Ir$$

Cuando el circuito es de una sola malla como el de la figura 2-17-1, basta con la primera ley para resolver cualesquier problema de carácter eléctrico.

La segunda Ley de Kirchhoff también llamada Ley de Nodos establece: La suma algebráica de las corrientes en un nodo o nudo, de un circuito eléctrico es cero.

Supongamos que se tiene una red eléctrica:

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

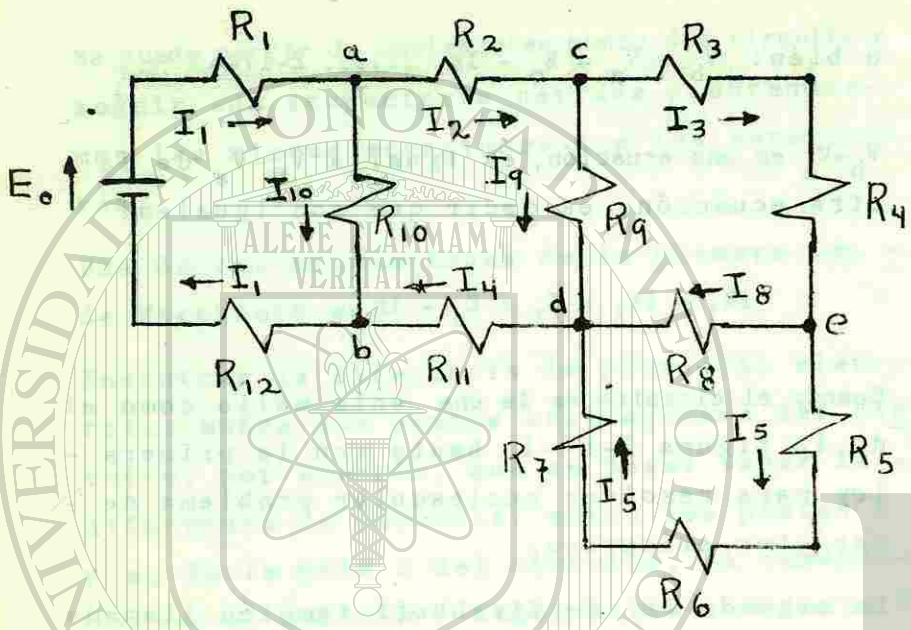


Fig. 2-17-2

Esta red eléctrica consta de 4 mallas. En ella hay nodos: a,b,c, d y e. Un nodo no es cualquier punto del circuito, será solamente aquel, en el que, la corriente que llega se divida, o bién, en el qué, las corrientes que llegan se junten y den lugar solamente una corriente.

Consideraremos que las corrientes que llegan a un nodo sean positivas y las que salen del nodo sean negativas. Con ésta base, apliquemos la segunda Ley de Kirchhoff a cada uno de los nodos de la red eléctrica anterior:

Nodo a: $I_1 - I_{10} - I_2 = 0$

Nodo b: $I_{10} + I_4 - I_1 = 0$

Nodo c: $I_2 - I_9 - I_3 = 0$

Nodo d: $I_5 + I_8 - I_4 = 0$

Nodo e: $I_3 - I_8 - I_5 = 0$

Estas ecuaciones, combinadas con las ecuaciones que se obtengan aplicando la primera Ley de Kirchhoff a cada una de las mallas, servirán para resolver problemas en redes eléctricas.

Recuerda que una resistencia eléctrica puede representar a: un foco, una plancha, un radio, un motor, una licuadora, una televisión, etc. Cada uno de estos elementos eléctricos recibe el nombre de: Carga eléctri--

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ca, en general.

2-18 SECCION DE PROBLEMAS RESUELTOS.

1.- Con el uso de un ohmetro se determinó el valor de las siguientes resistencias eléctricas: $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 20\Omega$ y $R_3 = 2\Omega$, encontrándose que la corriente eléctrica que circula por el siguiente circuito, al insertar en él un amperímetro es de 1.5 Amperes. Encontrar la Fem de la pila usada en dicho circuito.

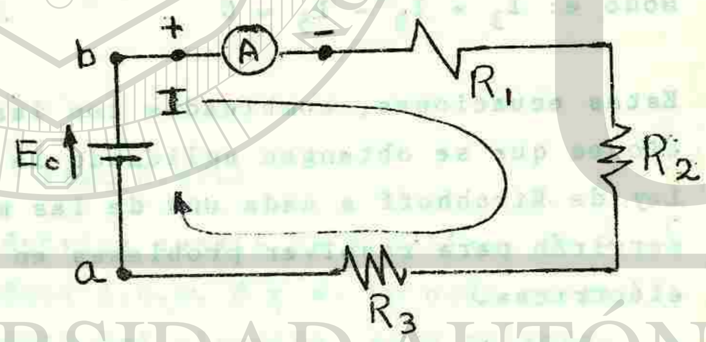


Fig. 2-18-1

Solución.- Como se trata de una sola Malla, apliquemos la primera Ley de Kirchhoff, partiendo del punto b y siguiendo la corriente:

$$-IR_1 - IR_2 - IR_3 + E_o = 0$$

despejando; E_o, tenemos:

$E_o = IR_1 + IR_2 + IR_3$, sacando como factor común a la corriente I y sustituyendo:

$$E_o = I\ (R_1 + R_2 + R_3) = 1.5\ (5 + 20 + 2)$$

$$E_o = 1.5\ (27) = 40.5$$

o sea que la Fem de la pila es de: 40.5 Volts.

Nota Importante.- Al aplicar la primera Ley de Kirchhoff al circuito anterior, observamos que los voltajes en las resistencias se suman al estar en serie. De ésto sacamos la siguiente conclusión: El voltaje total de resistencias eléctricas en serie, es igual a la suma de los voltajes de cada una de ellas.

En el caso del circuito en cuestión:

$$V\ Total = V_1 + V_2 + V_3$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Siendo: V_1, V_2 y V_3, el voltaje en cada resistencia, dado cada uno de ellos por: $V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$ y $V_3 = IR_3$.

2.- Se tiene el siguiente circuito serie paralelo, en el cual, $R_1 = 60\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$ y $R_3 = 50\,\Omega$.

(a) ¿Qué corriente se leerá en el amperímetro?

(b) ¿Qué voltaje indicará el voltímero?

(c) ¿Qué corriente circulará en cada resistencia?

si la Fem de la pila es de 12 Volts.

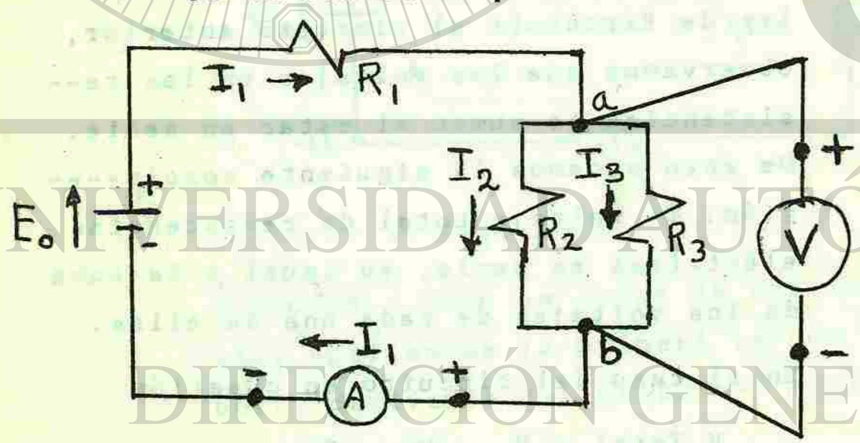


Fig. 2-18-2

Soluciones.- (a) En primer lugar calcularemos la Req1 de R_2 y R_3 que están en paralelo:

$$\frac{1}{Re_{q1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20} + \frac{1}{2} = .05 + .50$$

$$\frac{1}{Req1} = .55, \text{ y despejando Req1:}$$

$$Req1 = \frac{1}{.55} = 1.818$$

Como Req1 estará en serie con R_1, entonces:

$$Req = Req1 + R_1 = 1.818 + 5$$

$$Req = 6.818\,\Omega$$

y de acuerdo con la ecuación de ohm:

$$V = IR,\ I = \frac{V}{R} = \frac{E_o}{Req} = \frac{12}{6.818} = 1.76$$

o sea: $I_1 = 1.76$ Amperes

ésta será la corriente que se leerá en el ampèrímetro, pués es la corriente que llega al polo negativo de la pila, según la figura 2-8-2.

UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

b) Para saber que voltaje registra el vol-- tímetro, calcularemos la corriente que - circula en cada una de las resistencias - en paralelo en que está colocado. Apli-- cando la Ley de Nodos en el nodo a:

$I_1 - I_2 - I_3 = 0$, o bién:

$I_2 + I_3 = I_1$ ......(1)

Ahora apliquemos la primera Ley a la Ma- lla formada por R_2 y R_3, comenzando en - el nodo a, siguiendo por R_3 y regresando por R_2 al nodo a de nuevo para cerrar la Malla. Por lo tanto:

$- I_3R_3 + I_2R_2 = 0$, o bién:

$I_2R_2 = I_3R_3$, despejando I_2:

(2)... $I_2 = \dfrac{I_3R_3}{R_2}$, sustituyendo I_2 en la ecuación (1) por éste valor de I_2;

$\dfrac{I_3R_3}{R_2} + I_3 = I_1$, arreglando ésta - ecuación:

$I_3R_3 + I_3R_2 = I_1R_2$, sacando como factor común a I_3:

$I_3 (R_3 + R_2) = I_1R_2$, despejando I_3;

$I_3 = \dfrac{I_1 R_2}{R_3 + R_2}$ y sustituyendo:

$I_3 = \dfrac{1.76 (20)}{50 + 20} = \dfrac{35.2}{70}$

$I_3 = 0.503$ Amp.

Ahora, sustituyendo en la ecuación (2):

$I_2 = \dfrac{I_3 R_3}{R_2} = \dfrac{0.503 X 50}{20}$

$I_2 = 1.257$ Amp.

Como podrá apreciarse, hemos contestado primero el inciso c, o sea:

$I_2 = 1.257$ Amp.

$I_3 = 0.503$ Amp.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN ®
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Ahora, con éstas corrientes calcularemos el voltaje de cada resistencia en paralelo:

$$V_2 = I_2 R_2 = 1.257X20 = 25.14 \text{ Volts}$$

$$V_3 = I_3 R_3 = 0.503X50 = 25.15 \text{ Volts}$$

Como podrás observar los voltajes en cada resistencia son iguales practicamente, o sea, que el voltímetro indicará -- por decir un voltaje promedio: -------- <u>25.145 Volts</u>.

Conclusión: El voltaje de dos o más elementos eléctricos en paralelo es el mismo para cada uno de ellos.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
ALERE FLAMMAM VERITATIS
UAN
SIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO
CCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECA